

# 《清雲學報》第三十二卷 第二期

## ～～目 錄～～

### 工程類

- 使用適應分享粒子群優演算法為基礎之最佳化FACTS安裝於輸電系統承載力之增強  
Transmission System Loadability Enhancement with Fitness Sharing PSO Approach Based  
Optimal FACTS Installation  
張亞清-----1~14

### 商管類

- 整合獨立成分分析特徵萃取技術與支援向量迴歸建構匯率預測模式  
Integrating independent component analysis feature extraction with support vector regression  
for exchange rate forecasting  
李天行、呂奇傑、劉彥均-----15~38

- 利用特徵分層和權重相似性測量建置葉片檢索系統  
Leaf Retrieval Using Stratified Features and Weighting Similarity Measure  
魏嘉宏、林孟文、林秀貞、郭枝盈-----39~60

- 使用浮水印保護乳房X光影像  
Protection of Mammograms Using Watermarking  
郭枝盈、魏嘉宏、李岳、張隆君-----61~80

### 人文社會類

- 中亞諸國與列強在中亞的戰略關切與選擇  
The Strategic Concerns and Options of Central Asian Countries and the Great Powers in  
Central Asia  
顏建發-----81~94

- 論戴震的哲學體系  
Study on the System of Dai Zhen's Philosophy  
黃勇中-----95~114

### 附錄

- 《清雲學報》徵稿辦法



## 學報序

身處在學術圈中，教學、研究、行政、家庭四者要能兼顧者，常常會讓人恨不得有三頭六臂來處理瑣事，又常有升等、評鑑的壓力追趕，擔任大學的老師，其實一點都不輕鬆！因此，編輯委員會特別感謝努力於投稿本《學報》的老師們，也正因如此，更激勵《學報》編輯工作要更客觀公正，以報諸位投稿老師們的辛勞。

本期經過繁複審查作業，通過的有 6 篇論文，其中工程類 1 篇、商管類 3 篇、人文社會類 2 篇，通過率為 24%。本期《學報》所收稿件共 25 篇，其中校內投稿 12 篇，校外投稿 13 篇，校外投稿數已漸超越校內投稿數，意即《清雲學報》已在學術圈中，逐漸站穩腳步，也愈廣為學術圈所知，經統計，投稿者不乏國立大學及教授等級的老師們賜稿，可見《清雲學報》並非閉門造車的期刊，我們廣納百川，希冀未來可為學術界及社會注入新的活力。

《清雲學報》能有今日的穩定局面，居其首功者，當然為《學報》的編輯委員會，委員們身居要職，日理萬機，但對於頻繁往返的審查作業，諸位委員皆全力以赴，完全配合，尤其每期《學報》出刊前，皆須召開編輯委員會，校外委員們不辭辛勞，準時出席，提供許多寶貴意見，在此對所有委員們致上十二萬分的感謝！其次若無校長、教務長的大力支持，我們也無法有今日步上軌道的成績，感謝校長、教務長的深切期許，我們編輯工作人員將會以更兢兢業業的態度處理每一篇的投稿，以更高的標準、更遠的目標，鞭策我們繼續前進，諸多謝意，不能一一詳述，特在此銘誌感謝所有參與《學報》審查編輯作業的委員們。

俗語云：「校對如掃落葉，愈掃愈多落葉」，雖是如此，但編輯工作人員面對每一次《學報》的出刊，皆用如履薄冰的心情，期望可臻完美無誤之境，但往往仍有令人未詳察的細小錯誤，尚祈方家指正，也歡迎全校師生踴躍賜稿，以灌注屬於清雲師生的學術園地！

清雲學報編輯委員會 謹識

中華民國 101 年 4 月



# 使用適應分享粒子群優演算法為基礎之最佳化

## FACTS 安裝於輸電系統承載力之增強

### Transmission System Loadability Enhancement with Fitness Sharing PSO Approach Based Optimal FACTS Installation

張亞清

Ya-Chin Chang

正修科技大學電機系 副教授

ycchang@csu.edu.tw

#### 摘 要

在電力市場中，由於電力需求量及交易量的不斷增加導致電力潮流的巨大變動量，使得輸電系統承載能力的增強較以往變得更加迫切，而在網路中的最佳強化位置可使用一混合離散-連續最佳化問題(MDCP)來進行決定靜態乏補償器(SVC)及閘流體控制串連補償器(TCSC)兩種彈性交流控制系統(FACTS)裝置的位置及容量。本論文提出一由適應分享技術所修正的粒子群優(PSO)方法求解此一MDCP，藉由將適應分享方案與 PSO 之求解程序進行結合，粒子的搜尋區域得以盡量分散，而能大量提升了獲致最佳解的可能性。

**關鍵詞：**彈性交流控制系統、適應分享技術、網路壅塞、粒子群優、輸電系統承載力

## Abstract

As electricity demands and transactions in power markets constantly increase and incur huge changing power flows, enhancement of transmission system loadability is becoming more urgent than ever. Determination of the best reinforcement for networks can be formulated as a mixed discrete-continuous nonlinear optimization problem (MDCP) to determine the locations and capacities for installation of two types of flexible AC transmission systems (FACTS) devices, namely static var compensator (SVC) and thyristor controlled series compensator (TCSC). In the paper, a fitness sharing modified particle swarm optimization (PSO) method is proposed to solve the MDCP. By combining the fitness sharing scheme into the PSO process, the searching regions of the particles can be diversified as much as possible, consequently largely raising the possibility to achieve the optimal solution.

**Keywords:** FACTS, fitness sharing technique, network congestion, particle swarm optimization, transmission system loadability

## I. Introduction

In order to cope with the constantly increasing electricity demands or huge changing power flows resulted from economic development, and due to the difficulty to obtain right-of-way and environmental issues, some parts of the transmission network should be reinforced through installation of FACTS devices. As FACTS devices, TCSC, SVC and unified power flow controller (UPFC) can be used to balance the transmission line flows and system voltages, resulting in lower system losses and higher loadability. Effective methods for locating these equipments become essential in order to meet the transmission service requests in a competitive power market [1]. To determine suitable locations for FACTS device installation and their control settings, the problem can be formulated as an MDCP [2]-[5]; however, the computational requirement for this problem is high due to the large search space for a practical system.

Aiming at various objectives, different methods have been proposed to determine optimal locations and controls of FACTS devices. Continuation power flow (CPF) method was used in [6] and [7] to derive the control schemes of FACTS devices to improve system security and system loadability. Linear programming and mixed integer linear programming based optimal power flow (OPF) methods were used in [8] and [9] to determine FACTS controls and load shedding in order to relieve overload and irregular voltages after outages in pool and hybrid electricity markets.

When the network voltage magnitudes are poor and indicate possible voltage collapse, the eigen-vector analysis shown can be used to point out suitable locations for reactive power compensations. A novel method was proposed in [10] to determine the locations, size and control modes for SVC and TCSC to achieve a bifurcation point based maximum loadability. Tangent vectors based loss sensitivity analysis was used in [11] to determine which buses should be compensated under a competitive environment. With installed TCSC and UPFC and based on specific generation pattern, a sensitivity-based repetitive linear iterative approach (SRLIA) optimization algorithm was adopted to improve control performance and enhance real-time loadability [12], [13]. A two step approach was used by the authors in [14] to solve the problem. The locations suitable for SVC and TCSC installations are first determined by using analytical approaches, such as eigen-vector, tangent vector and real power flow performance index (PI) sensitivity factor. Then, OPF techniques are used to determine the best controls of the installed SVC and TCSC and other controllable devices to achieve maximum system loadability.

Because of the nonlinear, nonconvex or even discrete inherence of the planning problem, original Newton type optimization methods will have difficulties in obtaining the global optimum. Alternatively, evolutionary computation methods have been used for this purpose in system planning areas [15]. Evolutionary techniques such as genetic, hybrid tabu search, simulated annealing [16]-[18] and particle swarm optimization (PSO) algorithms are also proposed to solve the system loadability problem [19]-[21].

As described in [15], when PSO applied to power system planning, to ensure the search diversity of population seems to be the main difficulty when the algorithm is approaching the region of local or global optimum. While in the proposed method, the fitness sharing scheme is combined into the solution process such that the searching regions of the particles can be diversified as much as possible through the computation [22].

This paper is organized as follows: Section II presents the detailed formulation of the MDCP. Section III describes the PSO-based solution algorithm for the MDCP, in which all discrete variables are treated as continuous variables first and change to nearest discrete values upon convergence. The fitness sharing scheme combined into the solution process of PSO for updating particles is presented in Section VI. The performance of the proposed method is validated with the detailed studies for the modified IEEE-14bus test system in Section V and followed by the conclusion in Section VI.

## II. Problem Formulation

An SVC can be installed at a bus to provide reactive power and control local bus voltage, while a TCSC can be used to control the line flows by regulating the branch reactance. Let  $x_{ij,c}$  be a regulated reactance of the TCSC installed on transmission line  $i-j$ , and the range is set to  $-0.8x_{ij} \leq x_{ij,c} \leq 0.2x_{ij}$ , where  $x_{ij}$  is the reactance of line  $i-j$ . Real and reactive power flows of a compensated line  $i-j$  can be expressed as:

$$P_{ij,c} = V_i^2 g'_{ij} - V_i V_j (g'_{ij} \cos \theta_{ij} + b'_{ij} \sin \theta_{ij}) \quad (1)$$

$$Q_{ij,c} = -V_i^2 (b'_{ij} + b_{sh}) - V_i V_j (g'_{ij} \sin \theta_{ij} - b'_{ij} \cos \theta_{ij}) \quad (2)$$

where  $g'_{ij} = \frac{r_{ij}}{r_{ij}^2 + (x_{ij} + x_{ij,c})^2}$  and  $b'_{ij} = \frac{-(x_{ij} - x_{ij,c})}{r_{ij}^2 + (x_{ij} + x_{ij,c})^2}$  are the conductance and

susceptance with a TCSC on the line  $i-j$ ;  $\theta_{ij}$  is the phase angle difference between buses  $i$  and  $j$ .

Let  $Q_{ci}$  be a regulated reactive power supplied by an SVC installed at bus  $i$  with a range of  $-\bar{Q}_c \leq Q_{ci} \leq \bar{Q}_c$ , and let  $\lambda \geq 0$  be the factor of uniform increase of system bus load, then the real and reactive power balance equations at bus  $i$  can be expressed as:

$$\sum_{\forall j} P_{ij,c} - P_{Gio} - P_{Gi} + (1 + \lambda)P_{Dio} = 0 \quad (3)$$



$$\sum_{\forall j} Q_{ij,c} - Q_{Gio} - Q_{Gi} - Q_{ci} + (1 + \lambda)Q_{Dio} = 0 \quad (4)$$

where  $-P_{Gio} + P_{Dio}$  and  $-Q_{Gio} + Q_{Dio}$  are the real and reactive power injections of generator and load at bus  $i$  under base case condition ( $\lambda = 0$ ). Depending on the generation dispatch policy,  $P_{Gi}$  and  $Q_{Gi}$  are the additional real and reactive power generation at bus  $i$  when system load is changed. System operation constraints are expressed as:

$$\underline{h} \leq h(x, v) \leq \bar{h} \quad (5)$$

Equation (5) includes the bus voltage limits,  $\underline{V}_i \leq V_i \leq \bar{V}_i$ , generator output limits,  $0 \leq P_{Gio} + P_{Gi} \leq \bar{P}_{Gi}$  and  $\underline{Q}_{Gi} \leq Q_{Gio} + Q_{Gi} \leq \bar{Q}_{Gi}$ , line thermal ratings  $|S_{ij}| = \sqrt{P_{ij,c}^2 + Q_{ij,c}^2} \leq \bar{S}_{ij}$ , and the SVC and TCSC operation limits.  $x = [V \theta]^T$  is the vector of bus voltage magnitudes and phase angles. Control variable vector  $v = [P_G \ V_a \ a_b \ c_f]^T$ , where  $P_G$  is the vector of real power generations,  $V_a$  includes automatic voltage regulators variables,  $a_b$  includes variables of on load tap changing (OLTC) transformers and shunt capacitors (SC) and  $c_f$  represents the vector of loading factor  $\lambda$ , bus and branch numbers of SVC and TCSC installations and their control settings.

The MDCP to determine the locations and control settings of SVC and TCSC for system loadability enhancement is formulated as follows:

$$\begin{aligned} & \text{Max} \quad \lambda \\ & \text{s.t.} \quad g(x, v) = 0 \\ & \quad \underline{h} \leq h(x, v) \leq \bar{h} \\ & \quad \underline{v} \leq v \leq \bar{v} \end{aligned} \quad (6)$$

where  $g(x, v) = 0$  represents (3) and (4). After solving the problem, the maximum additional loading of the system,  $\lambda^* \sum_{\forall i} P_{Dio}$ , can be obtained.

### III. PSO-Based Solution Algorithm

In the paper, a PSO solution algorithm is directly used to solve the MDCP, where all discrete variables (including SVC and TCSC locations) are treated as continuous variables first and change to nearest discrete values upon convergence. In the original PSO algorithm, particle position and velocity can be updated using the following two equations [21]:

$$X_i(k+1) = X_i(k) + V_i(k+1) \quad (7)$$

$$v_{i,j}(k+1) = wv_{i,j}(k) + c_1r_{1,j}(pbest_{i,j} - x_{i,j}(k)) + c_2r_{2,j}(gbest_j - x_{i,j}(k)) \quad (8)$$

$X_i(k)$  and  $V_i(k)$  represent the position and velocity of particle  $i$  at iteration  $k$ .  $x_{i,j}$  is the  $j$ th entry of  $X_i(k)$ . In (6)  $X_i(k) = [P_G \ L \ Q_C \ X_C]^T$ , where vectors  $P_G$  containing the real power generations,  $L$  including the locations for SVC and TCSC installation, and  $Q_C$  and  $X_C$  being the capacity settings of the installed SVC and TCSC, respectively.  $v_{i,j}$  is the  $j$ th entry of  $V_i$  that denotes the velocity of  $X_i(k)$ ;  $0.9 \leq w \leq 0.4$  is an inertia weight to determine how much of the particle's previous velocity is preserved;  $c_1$  and  $c_2$  are two positive acceleration constants, they are set to 2.0 in the algorithm;  $r_{1,j}$ ,  $r_{2,j}$  are random numbers sampled from uniform distribution  $U(0,1)$ ;  $pbest_i$  and  $gbest$  are the personal best position of particle  $i$  and the best position in the entire swarm, respectively. The original PSO algorithm for the optimal FACTS installation is shown below:

1. Set iteration number to NT.
2. Narrow down the control variable adjustment ranges and generate a swarm with  $NP$  particles.
3. A load flow analysis is conducted for each particle  $i$  with  $X_i(k) = [P_G \ L \ Q_C \ X_C]^T$ . If no load flow solution exists in the swarm, return to step 2. Otherwise, set  $pbest_i$  and fitness  $f_i$  for each particle  $i$ . For particle  $i$  with a converged load flow solution,  $f_i = \lambda_i / (1 + pen\_i)$ , and for the particles without a load flow solution,  $f_i = -10$ , where

$pen\_i$  is a penalty that is proportional to the severity of security constraint violation and  $\lambda_i$  is the personal current loading factor. Restore the control variable adjustment range to the original problem. Set  $Ite\_num = 1$  and go to step 4.

4.  $gbest = the\ pbest$  of the particle with maximum fitness. Update the particles using (7) and (8).
5. Execute load flow for each particle and check security constraints. Update particle fitness ( $f_i = \lambda_i / (1 + pen\_i)$ ). If  $Ite\_num$  is lower than the NT,  $Ite\_num = Ite\_num + 1$  and go to step 4, otherwise, go to step 6.
6. Record SVC and TCSC capacity settings, generation outputs and the loading factor obtained.

In the early stages of the PSO solution procedure, the phenomenon of stagnation addressed in [23] might occur and could lead to prematurely converged solutions. It may lead to a high possibility of obtaining a local optimal solution if the diversity between the particles descends too fast during evolutionary process. Apart from improvement of PSO operators, the performance of PSO by incorporating different schemes is continuously exploited by researchers. These advances include Guaranteed Convergence PSO [23], Fitness-Distance-Ratio Based PSO [24], Pareto-Based Multi-objective PSO [22], and so forth.

#### IV. Fitness Sharing PSO Solution Method

The fitness sharing scheme is to distribute a population of particles along a set of resources [24]. When a particle  $i$  is sharing resources with other particles, its fitness  $f_i$  is degraded proportional to the number and closeness to particles that surround it. If maximum solution is the target of the problem, the fitness haring for particle  $i$  is defined as:

$$fs_i = \frac{f_i}{\sum_{k=1}^{NP} sh_i^k} \quad (9)$$

A bigger sharing fitness represents that the particle is distant from the swarm. On the other hand, while the target is to search for a minimum solution, the fitness sharing is defined as:

$$fs_i = f_i \cdot \sum_{k=1}^{NP} sh_i^k \quad (10)$$

where  $sh_i^k$  denoting the sharing factor that measures the similarity from particles  $i$  to  $k$  by a

distance function  $d_i^k$ . When the particle is averagely more distant from other particles, a smaller sharing factor takes place. In the paper, they are given as:

$$sh_i^k = \begin{cases} 1 - (d_i^k / \sigma)^2 & \text{if } d_i^k < \sigma \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

and

$$d_i^k = \sum_j \left( \frac{pbest_{i,j} - x_{k,j}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \right)^2 \quad (12)$$

where  $\sigma$  being the distance for the particles to remain distant from each other and  $j$  indexing variables in particle  $x$ .

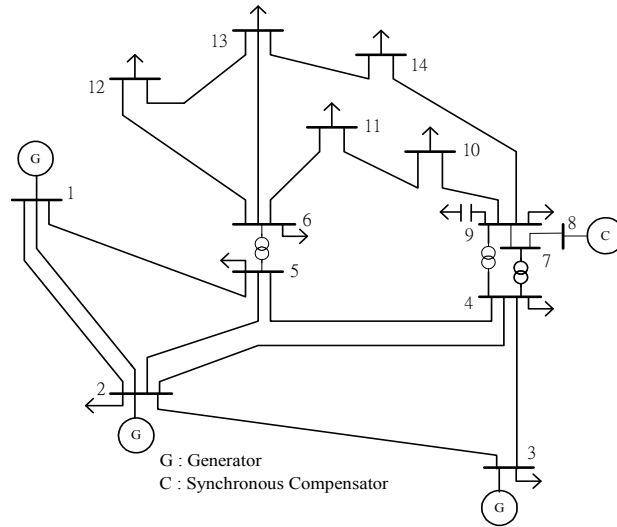
A particle with the best fitness sharing will take the position to guide the swarm into the next generation. With the fitness sharing scheme involved in the solution process, step 4 of the original PSO algorithm is changed to:

$$gbest = \text{the } pbest \text{ of the particle with maximum (or minimum) sharing fitness.} \quad (13)$$

The setting of  $\sigma$  is dealt with on a case-by-case basis and, in the test system, based on a specific number of simulation trials, the effects for various values of  $\sigma$  to achieving optimal solution are inspected.

## V. Test Results and Discussions

The base-case power flow solution for the modified IEEE-14 bus test system depicted in Fig. 1 is shown in Table I. Higher load demand is in the upper area of the network. The voltage limits are 0.95 p.u. and 1.05 p.u., and the line thermal limits are shown in the second column of Table II. Under the base load and without FACTS device installation, the system load can only be increased to  $\lambda^* \sum P_{Dio} = 0.42$  p.u. with  $\lambda^* = 0.18$ . The power flow and line flows are shown in Tables I and II, respectively. It can be seen that system loadability is impeded by transmission congestion at line 1-5 and voltage at bus 14.



**Fig. 1. Modified IEEE-14 bus test system**

**TABLE I:**  
**COMPARISON OF TWO BEST SOLUTIONS IN CANDIDATE SOLUTIONS**

$\lambda^*$	SVC		TCSC	
	Bus	pu.	Line	Comp.
0.55	4	0.026	2-5	-0.136
	6	0.437	3-4	-0.707

As shown in Table I, the optimal solution with system loadability at  $\lambda^* = 0.55$  as can be derived by either the original PSO or the proposed fitness sharing modified PSO. TCSC installed on lines 2-5 and 3-4 which are parallel with line 1-5, could change the direction of power flows and enable the network to accommodate more power flows from the lower area to the upper area, while the SVC installations at buses 4 and 6 would relieve low voltage problem at bus 14. Through this enhancement, the system load can be increased is  $\lambda^* \sum P_{Dio} = 1.31$  p.u. and the load flow under this installation is also shown in Tables II and III.

As can be seen from Table II that better profile of bus voltage magnitudes is achieved and the four transmission lines at lower part of the network which are found to be congested after the FACTS installation are better utilized.

TABLE II

POWER FLOWS OF BASE-CASE, AT  $\lambda^* = 0.18$  WITHOUT AND AT  $\lambda^* = 0.55$  WITH FACTS INSTALLATION

Bus	Base Case					Without FACTS			With FACTS		
	Vol.	$P_G$	$Q_G$	$P_L$	$Q_L$	Vol.	$P_G$	$P_L$	Vol.	$P_G$	$P_L$
1	1.080	0.168	0.788	-	-	1.080	0.522	-	1.080	0.156	-
2	1.045	0.521	-0.706	-	0.127	1.045	0.637	-	1.045	1.645	-
3	1.070	1.735	0.281	0.942	0.190	1.070	1.693	1.108	1.070	1.991	1.461
4	1.030	-	-	0.478	-0.039	1.023	-	0.562	1.020	-	0.742
5	1.031	-	-	0.076	0.016	1.023	-	0.089	1.024	-	0.118
6	0.991	-	-	0.112	0.075	0.974	-	0.132	1.024	-	0.174
7	1.034	-	-	-	-	1.025	-	-	1.026	-	-
8	1.090	-	0.345	-	-	1.090	-	-	1.090	-	-
9	1.003	-	-	0.295	0.166	0.988	-	0.347	0.992	-	0.458
10	0.994	-	-	0.090	0.058	0.977	-	0.106	0.985	-	0.140
11	0.989	-	-	0.035	0.018	0.971	-	0.041	0.999	-	0.054
12	0.977	-	-	0.061	0.016	0.957	-	0.072	0.999	-	0.095
13	0.974	-	-	0.135	0.058	0.953	-	0.159	0.991	-	0.209
14	0.971	-	-	0.149	0.050	0.950	-	0.175	0.961	-	0.231
Sum	-	2.424	0.708	2.373	0.735	-	2.852	2.791	-	3.792	3.682

\*MVA base = 100MVA

TABLE III

PARTS OF LINE FLOWS AT  $\lambda^* = 0.18$  WITHOUT AND AT  $\lambda^* = 0.55$  WITH FACTS INSTALLATION

Terminals	Limit	Without FACTS	With FACTS
1-5/5-1	0.40	0.397/0.400	0.397/0.400
2-4/4-2	0.56	0.444/0.433	0.560/0.544
3-4/4-3	0.80	0.541/0.522	0.800/0.762
5-6/6-5	0.64	0.507/0.483	0.639/0.639

The ability of the proposed method to derive the maximum system loadability through two SVC and two TCSC installations in the network is tested by 100 trials with iteration number and particle number set to 1000 and 30, respectively. When  $\sigma$  set to 5, the analysis for the results in the 100 trails solved using the proposed method is shown in Fig. 2. As seen in Fig. 2 that the  $\lambda$  equating 0.40, 0.52, and 0.55 are the worst, average, and maximum loading factor values, respectively. On the other hand, with the same parameters set and

solved using the traditional PSO, the  $\lambda$  obtained in the worst, average and optimal solutions are 0.22, 0.50, and 0.55, respectively. Obviously, the worst is due to the premature phenomenon that lowers the efficiency of the traditional PSO. Also, it is evident that the worst and average ones derived with the traditional PSO are all smaller than those derived with the proposed method as shown in Fig. 2, validating the performance of the proposed method.

For each  $\sigma \in [1, 5, 10, 15, 20]$ , respectively perform 100 trials by using the proposed method and make comparison with the results obtained from performing 100 trails by using the traditional PSO. The optimal solution numbers obtained with  $\sigma$  set to 1, 5, 10, 15 and 20 using the proposed method are 7, 31, 26, 27 and 26 respectively, while the optimal solution number derived using the traditional PSO is 24. Therefore, the proposed method with  $\sigma = 5$  behaves the most efficiently.

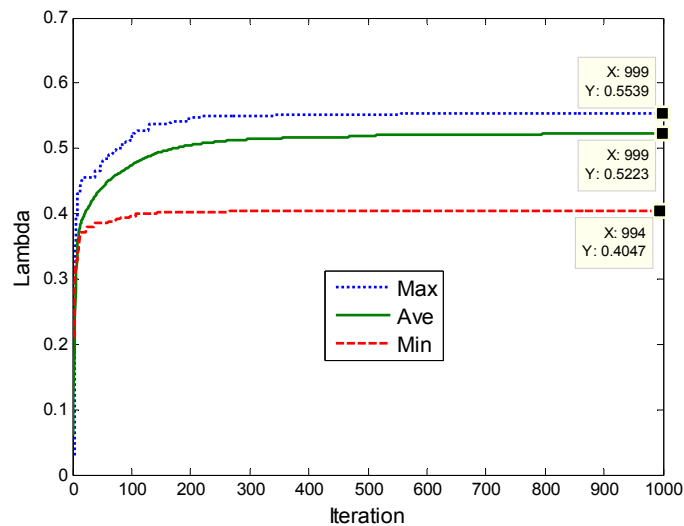
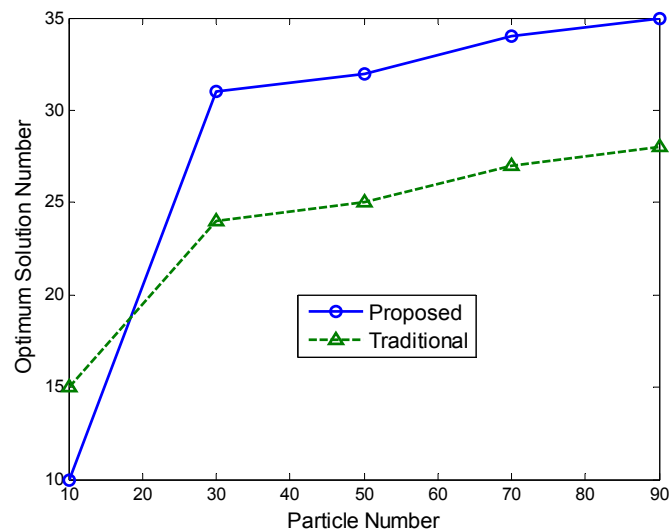


Fig. 2. Analysis of the proposed method

In addition, with particle numbers set to 10, 30, 50, 70 and 90, respectively, the optimal solution numbers derived from 100 trails with  $\sigma = 5$  by using the proposed and the traditional PSO methods are shown in Fig. 3. It can be seen that the number of the optimal solution derived with the proposed method is bigger than the traditional PSO as particle number set bigger than 20. Therefore, the effectiveness of the diversity by combining the fitness sharing factors into the PSO update process is validated. From the analysis, to validate the efficiency of solving this problem using the proposed method with  $\sigma = 5$ , a swarm with 30 particles is suggested.



**Fig. 3. Optimum solution numbers in the respective 100 trails for various particle numbers using the proposed and original PSO methods**

## VI. Conclusion

The problem to enhance the transmission system loadability by determining suitable locations and control settings for SVC and TCSC installations is formulated as an MDCP. In this paper, in order to improve the computational efficiency of solving the MDCP by using the proposed fitness sharing PSO algorithm, the fitness sharing factors are combined into the PSO update process to diversify the searching regions of the particles. The performance of the proposed method is validated with the test results that confirm the great ability to achieve the optimal SVC and TCSC installations,



## References

- [1] M. Santiago-Luna, J. R. Cedeno-Maldonado(2006), Optimal placement of FACTS controllers in power systems via evolution strategies, *Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America, 2006. TDC '06. IEEE/PES*, 15-18, pp. 1-6.
- [2] S. Y. Lin, Y. C. Ho, C. H. Lin(2004), An ordinal optimization theory-based algorithm for solving the optimal power flow problem with discrete control variables, *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol. 19, No. 1, pp. 276-286.
- [3] M. Xie, J. Zhong, F. F. Wu(2007), Multiyear transmission expansion planning using ordinal optimization, *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol. 22, No. 4, pp. 1420-1428.
- [4] T. W. Edward Lau, Y. C. Ho(1997), Universal Alignment Probabilities and Subset Selection for Ordinal Optimization, *Journal of Optimization Theory and Applications*, vol. 93, No. 3, pp. 445-489.
- [5] W. F. Tinney, J. M. Bright, K. D. Demaree, B. A. Hughes(1988), Some deficiencies in optimal power flow, *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol. 3, No. 2, pp. 676-682.
- [6] R. Rajaraman, et. al.(1998), Determination of location and amount of series compensation to increase power transfer capability, *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol. 13, No. 2, pp. 294-299.
- [7] A. R. Messina, M. A. Pe`rez, E. Herna`ndez(2003), Coordinated application of FACTS devices to enhance steady-state voltage stability, *Int. J. Elect. Power Energy Syst.*, Vol. 19, No. 2, pp. 259-267.
- [8] W. Shao, V. Vijay(2006), LP-based OPF for exact model FACTS control to relieve overloads and voltage violations, *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol. 21, No. 4, pp. 1832-1839.
- [9] A. Kumar, S. Chanana, S. Parida(2005), Combined optimal location of FACTS controllers and loadability enhancement in competitive electric markets, *IEEE PES Summer Meeting*, San. Francisco, 12-16.
- [10] A. Kazemi, B. Badrdeh(2004), Modeling and simulation of SVC and TCSC to study their limits on maximum loadability point, *Int. J. Elect. Power Energy Syst.*, Vol. 26, No. 5, pp. 381-388.
- [11] A. C. Z. de Souza, L. M. Honório, G. L. Torres, G. Lambert-Torres(2004), Increasing the loadability of power systems through optimal-local-control actions, *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol. 19, No. 1, pp. 188-204.
- [12] G. Li, M. Zhou, Y. Gao(2005), Determination of total transfer capability incorporating FACTS devices in power markets, *International Conference on Power Electronics and Drives Systems, PEDS*, pp. 1327-1332.
- [13] K. Audomvongseeree, A. Yokoyama(2004), Consideration of an appropriate TTC by probabilistic approach, *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol. 19, No. 1, pp. 375-383.
- [14] Y. C. Chang, R. F. Chang(2009), Utilization Performance based FACTS Devices Installation Strategy for Transmission Loadability Enhancement, *ICIEA 2009, 4th IEEE*

- Conference on Industrial Electronics and Applications*, 25-27, pp. 2661-2666.
- [15] G. Y. Yang, Z. Y. Dong, K. P. Wong(2008), A Modified Differential Evolution Algorithm With Fitness Sharing for Power System Planning, *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol. 23, No. 2, pp. 514-522.
- [16] T. T. Ma(2003), Enhancement of power transmission systems by using multiple UPFC on Evolutionary Programming, *IEEE Bologna Power Tech Conference*, Vol. 4.
- [17] S. Gerbex, R. Cherkaoui, A. J. Germond(2001), Optimal location of multi-type FACTS devices in a power system by means of genetic algorithm, *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol. 16, No. 3, pp. 537-544.
- [18] P. Bhasaputra, W. Ongsakul(2002), Optimal power flow with multi-type of FACTS devices by hybrid TS/SA approach, *Proc. of IEEE International Conference on Industrial Technology*, Vol. 1, pp. 285-290.
- [19] M. Saravanan, S. Mary Raja Slochanal, P. Venkatesh, Prince Stephen Abraham. J(2005), Application of PSO technique for optimal location of FACTS devices considering system loadability and cost of installation, *Power Engineering Conference, 2005 IPEC, The 7th International*, Vol. 2, pp. 716-721.
- [20] K. Y. Lee, M. Farsangi, H. Nezamabadi-pour(2007), Hybrid of analytical and heuristic techniques for FACTS devices in transmission systems, *IEEE PES General Meeting*, 24-28, pp. 1-8.
- [21] J. Kennedy, R. Eberhart, Particle swarm optimization, *Proc. of 1995 IEEE Int. Conf. on Neural Networks (ICNN'95)*, Vol. IV, pp. 1942-1948.
- [22] S. L. Maximino, E. R. Jonathan(2005), Particle Swarm Optimization and Fitness Sharing to Solve Multi-Objective Optimization Problems, *Congress on Evolutionary Computation, CEC 2005*, pp.1204-1211.
- [23] F. Van den Bergh, A. P. Engelbrecht(2002), A new locally convergent particle swarm optimiser, *Proc. of IEEE Conference on Systems, Man and Cybernetics (Hammamet. Tunisia)*, Vol. 3, 6-9.
- [24] T. Peram, K. Veeramachaneni, C. K. Mohan, Fitness-Distance-Ratio Based Particle Swarm Optimization, *Proc. of 2003 IEEE Swarm Intelligence Symposium (SIS)*, pp. 174-181.

# 整合獨立成分分析特徵萃取技術與支援向量迴歸 建構匯率預測模式

Integrating independent component analysis feature extraction with  
support vector regression for exchange rate forecasting

李天行<sup>1</sup>

Tian-Shyug Lee

輔仁大學管理學研究所  
教授

呂奇傑<sup>2\*</sup>

Chi-Jie Lu

清雲科技大學工業管理系  
副教授

jerrylu@cyu.edu.tw

劉彥均<sup>3</sup>

Yen-Chun Liu

輔仁大學管理學研究所  
研究生

## 摘 要

匯率長久以來在國際貿易上扮演重要角色，匯率波動嚴重影響企業的績效表現，且由於匯率是財務時間序列資料的一種，具有高頻率、非定態與混沌等性質，因此有關匯率預測的研究一直受到產業與學術界的重視。本研究整合獨立成分分析(independent component analysis, ICA)特徵萃取技術與支援向量迴歸(support vector regression, SVR)建構匯率預測模式，先利用ICA具有將混合訊號分離出個別獨立來源訊號之能力，將資料轉換到特徵空間，利用特徵空間中的獨立成分突顯出隱含在原始資料中的資訊以及降低原始資料特性的影響；接著針對每一個獨立成分，以SVR建立預測模型，得到獨立成分的預測值；最後，再將所求得之獨立成分預測值還原到原始空間得到最終的預測值。為驗證所提方法之有效性，本研究以新台幣兌美元匯率收盤價進行實證研究，並與整合ICA與自我迴歸(autoressive, AR)模式、單純SVR模式、單純AR模式及隨機漫步(random walk)模式之預測結果進行比較。實證結果顯示，所提之方法在趨勢預測準確度的表現上較其他四個方法為佳，並且整合ICA的預測模式，其預測績效均優於沒有整合ICA的預測模式，代表透過ICA的特徵萃取能提升預測績效。

**關鍵詞：**獨立成分分析、支援向量迴歸、特徵萃取、匯率預測、財務時間序列

## Abstract

Forecasting exchange rates is important to the investors and the government. In this study, we present the application of using ICA as a preprocessing tool before building SVR time series prediction model. In the proposed method, we first use ICA to transform the input space composed of original time series data into the feature space consisting of independent components representing underlying information of the original data. The hidden information of the original data could be discovered in these ICs. Then, the prediction models will be built by using SVR for each IC. Finally, the predicted value of each IC will be transformed back into the original space for time series prediction. The proposed model can improve the forecasting performance compared to the SVR model without using ICA as a preprocessing tool since the hidden information of the original time series data can be explored through ICA preprocessing. Experimental results on the forecasting of NTD/USD exchange rate have showed that the proposed method outperforms the integrated ICA and autoregressive (AR) model, single SVR model, single AR model and random walk model.

**Keywords:** independent component analysis, support vector regression, feature extraction, exchange rate forecasting, financial time series

## 壹、緒論

在國際金融自由化的風潮下，金融市場從交易的數量與範圍，到市場的結構和運作模式等，皆產生本質上的變化。雖然拜自由化之賜，包含外匯在內的金融商品有更多投資組合的選擇性，卻也因身處於更複雜的全球環境，而使其價格更加難以預測。在變動急遽的複雜環境下，如何迅速做出資產配置決策，掌握稍縱即逝的投資先機，將是獲取報酬的重要關鍵。因此，無論是產業界或學術界，都致力於尋求各種能產生良好績效的財務預測工具，以期能夠準確描繪市場的變化趨勢，做出立即回應。而匯率因長久以來在國際貿易上扮演重要角色，匯率波動嚴重影響企業的績效表現 (Kim & Hur 2009)，因此有關匯率預測的研究一直受到產業界與學術界的重視 (Shin & Han 2000; Nag & Mitra 2002; Ince & Trafalis 2006; Guo & Savickas 2008; Hussain et al. 2008; Leu et al. 2009; Majhi et al. 2009)。

傳統計量模型 (econometrics model)，如 ARIMA (autoregressive integrated moving average) 模型，受限於建構模型之資料須符合特定的假設，因此在財務時間序列具有非線性及不穩定的特性下，傳統計量模型易失去其實用性 (Lee & Chen 2002; Majhi et al. 2009)；相反地，人工智慧 (artificial intelligence) 方法，由於不須事先假設資料型態，並且能夠自動從大量的樣本資料中動態學習，找出隱含的非線性模式或特徵，進一步對母體做出推論，獲致更準確的預測結果，因此越來越受到重視 (Zhang et al. 1998; Kanas & Yannopoulos 2001; Nag & Mitra 2002; Chen & Leung 2004; Chen et al. 2003; Roh 2007)。支援向量迴歸 (support vector regression, SVR) 是近年來備受矚目的人工智慧預測方法 (Vapnik et al. 1997)，其為藉由極小化實驗風險 (empirical risk or training error) 追求結構風險 (structural risk) 最小化以求得全域 (global) 最佳解的新式學習機器，SVR 已廣泛地應用到各種預測領域，如股價、風速及工業產值等 (Cao & Tay 2003; Karras & Mertziotis 2004; Mohandes et al. 2004; Pai & Lin 2005b)。

匯率與其他如股價、利率等金融商品相同，屬於財務時間序列資料的一種，資料特性具有非線性及不穩定的特性 (Lesch et al. 1999)，因此研究者難以直接自觀察資料中獲取資訊，且直接利用收集到之匯率資料建構預測模式也往往無法得到良好的預測結果。為了處理上述問題，可以藉由特徵萃取工具 (feature extraction) 將匯率資料轉換到特徵空間 (feature space)。在特徵空間中，前述特性對匯率資料的影響會被降低，並且一些原本隱含在原始觀察資料中的有趣結構將會被突顯出來。因此若利用萃取出之特徵建構預測模式，將能改善預測績效。主成分分析 (principal component analysis, PCA) 是常用的特徵萃取工具 (Feeney & Hester 1967; Schneeweiss & Mathes 1995)，但其主要的問題在於 PCA 為二階的轉換法，只使用二階的統計資訊 (second order statistical information)，也就是共變異與相關係數矩陣 (covariance and correlation matrix) (Chan & Cha 2001)。然而二階轉換法僅是使其表徵值在均方誤差上盡可能地忠實 (faithful representation)，不如高階轉換法的表徵值是有意義的表徵 (meaningful representation) (Hyvärinen & Oja 2000)。據此，一些財務領域的研究提出以獨立成分分析 (independent component analysis, ICA) 取代 PCA 做為特徵萃取工具的預測方式。(Hyvärinen & Oja 2000; Hyvärinen et al. 2001)。

獨立成分分析是近來興起的特徵萃取工具，它經由高階轉換法找出近似統計獨立的非高斯表徵值，所以能提供更多的資訊給使用者。ICA 現在已廣泛地應用在未知來源訊號分離 (blind signal separation) 與特徵萃取的問題上 (Vigarito 1997; Biswall & Ulmer

1999; Zang et al. 2004)。但相對而言，ICA 較少被用於財務預測的相關研究上(Back & Weigend 1997; Kiviluoto & Oja 1998; Malaroiu et al. 2000; Gorriz et al. 2003; 呂奇傑等人 2007)，並且至目前為止，僅有呂奇傑等人(2007)整合 ICA 與 SVR 技術於財務時間序列預測的問題。然而，不管是文獻上或是呂奇傑等人(2007)在應用 ICA 模式於財務預測問題時，均以多個變數作為 ICA 之輸入變數。但在預測的議題上，有時因政策或是資料流通的限制，多個變數的資料取得不易；且在單一預測變數的資料已具有代表性，可提供充足之訊息時，利用單一變數之模型建構方式將具相當實用性。因此本研究與文獻上的不同處在於，將以單一變數做為 ICA 之輸入變數，以提供實務上操作上一個可用的模式。此外，不同於呂奇傑等人 (2007)利用 ICA 為建構預測模式時的雜訊過濾工具，並以去除雜訊後之還原資料在原始空間建立預測模型，本研究利用 ICA 做為特徵萃取工具，針對所萃取出之每一個獨立成分，在特徵空間即利用 SVR 建立獨立成份的預測模式以得到獨立成份的預測值，最後將獨立成份預測值整合並還原至原始空間以得到最後的預測結果。由於獨立成分能突顯出隱含在原始資料中的資訊，因此透過對獨立成份建構預測模式將有助於掌握潛在資料的特性，提高預測績效。

整體而言，本研究將建構一整合 ICA 特徵萃取技術與 SVR 的財務時間序列預測模式(簡稱 ICA-SVRs 模式)，並且應用於匯率預測的議題上。所提的 ICA-SVRs 預測模式首先將對單一變數資料進行重整，使其具有多變數資料之樣態，並透過 ICA 將重整後的資料轉換到特徵空間，利用特徵空間中的獨立成分凸顯出隱含在原始資料中的資訊；接著針對每一個獨立成分，以 SVR 建立預測模型，得到獨立成分的預測值；最後，再將所求得之獨立成分預測值還原到原始空間，進行財務時間序列之預測。為驗證所提方法有效性，本研究以新台幣兌美元匯率做為實證資料，將所提之 ICA-SVRs 模式的預測結果與其他四種預測模式進行比較，包括結合 ICA 與自我迴歸 (autoregressive, AR) 之預測模式，單純 SVR 模式、單純 AR 模式及隨機漫步(random walk)模式。

本文將在第貳節分別針對獨立成分分析及支援向量迴歸進行文獻回顧；第參節為研究方法，將分別就支援向量迴歸與獨立成分分析做介紹，並說明本研究所提之 ICA-SVRs 預測模式；第肆節為實證結果分析，將應用本研究所提出之預測模式於新台幣兌美元匯率預測問題，並與其他模式相比較，最後說明其結果；第伍節則為結論與建議，將針對研究及實證結果整理出結論，並對後續研究提出建議。

## 貳、文獻探討

### 一、獨立成分分析

獨立成份分析是一個用於處理未知來源分離的問題之訊號處理技術(Hyvärinen & Oja 2000)，其目的是在沒有任何有關訊號混合機制的事前資訊下，從觀察到的混合訊號 (mixing signals) 中找出潛在的來源訊號。這些潛在來源訊號在 ICA 中稱為獨立成份 (independent component, IC)(Hyvärinen et al. 2001)。ICA 模式已廣泛應用於醫學訊號處理、語音訊號處理、特徵萃取及人臉辨識的問題中(Vigarario et al. 2000; Bartlett et al. 2002; Jang et al. 2002; James & Gibson 2003; Beckmann & Smith 2004; Kim et al., 2004; Lin et al. 2004)。然而 ICA 用於財務預測領域之研究則相對不足，仍有極大之發展空間。

Back與Weigend(1997)將ICA運用在財務時間序列，藉以找出股票市場中隱含的結構

(underlying structure)與可解釋因素，以期對金融市場有更深入的了解。他們使用1986年8月到1988年7月間東京證交所前28大公司的每日收盤價，從中萃取出28個獨立成份後，選出前4個最關鍵的獨立成份，將其乘上混合矩陣，重建為股價資料的型態，並與PCA的結果做比較。研究結果顯示自股價資料中估計出的獨立成份可以分為兩類，一類是非經常性但對股價變化有較大影響的少數關鍵成份，另一類是經常性但對股價變化影響較小，可以視為雜訊。此外研究證實與PCA相比，ICA較容易觀察出資料中所隱含的結構。Kiviluot與Oja(1998)利用ICA找出對某連鎖零售店各分店現金流量有共同影響的基本因素(fundamental factors)，諸如季節、節日、消費者購買力等，在將基本因素移除後找出對現金流量有影響之特定因素。Malaroiu等人(2000)提出一套運用ICA與AR的預測模式，並以10個相關的匯率時間序列進行實證後，顯示使用ICA結合AR的預測結果優於未使用ICA而直接對匯率資料做AR的預測結果。

Oja 等人(2000)利用 ICA 模式進行匯率預測，先利用 ICA 自匯率資料獲得獨立成份，再透過線性與非線性轉換過濾獨立成份中的雜訊，之後利用 AR 模式預測下一期各獨立成份值，最後這些預測之獨立成份被用來產生下一期的匯率預測值，結果顯示結合 AR 與 ICA 之預測結果較直接使用 AR 為佳。Gorriz 等人(2003)以 ICA 做為前處理工具，去除混合矩陣中不相關的成份，然後以類神經網路(artificial neural networks, ANN)預測處理過後的資料，經由對不同的西班牙銀行和公司股價指數資料進行實證，結果顯示以 ICA 做為前處理工具，有助於改善預測結果。呂奇傑等人(2007)運用 ICA 的訊號分離能力，從原始預測變數中估計出獨立成份，然後去除代表雜訊的獨立成份，再以 SVR 對去除雜訊後的預測變數建立預測模式，實證研究針對日經 225 指數和台灣加權股價指數兩種資料的幾個價量值進行預測，結果顯示，結合 ICA 之預測模式優於單純使用 SVR 或隨機漫步之預測效果。

## 二、支援向量迴歸

支援向量迴歸是由Vapnik在1995年發展出的SVM延伸而來。SVM是以統計學習理論(statistical learning theory)為基礎的神經網路演算法，為分類工具的一種(Vapnik 1995)，爾後延伸到迴歸預測，稱為支援向量迴歸，且有卓越的預測表現(Drucker et al. 1996；Vapnik et al. 1997)，已經有越來越多的學者利用SVR來進行財務時間序列的預測。

Cao與Tay(2003)以芝加哥商業交易所中的五個期貨商品進行實證研究，結果證實SVR的預測表現優於倒傳遞類神經網路(back-propagation neural networks, BPNN)。Kim (2003)則利用技術性指標作為輸入變數，配合SVR、BPNN及案例推理法(case-based reasoning)建立預測模型，在預測每日韓國綜合股價指數(KOSPI)收盤價漲跌上之實證結果顯示SVR表現最佳，能準確預測57.83%的漲跌。Pen等人(2004)針對台灣加權股價指數進行研究，以基因演算法和支援向量迴歸(genetic algorithm-support vector regression, GA-SVR)的混合模型進行預測，利用實數型基因演算法(real-valued genetic algorithms, RGA)找出SVR之最佳參數，結果顯示GA-SVR模型優於傳統的SVR模型。

Pai與Lin(2005a)提出結合ARIMA與SVR之預測模式，以十家公司股票之每日收盤價進行實證，首先運用ARIMA計算出一股價預測值，並以SVR對股價實際值與預測值間的殘差(residual)建立預測模型，最後將ARIMA所預測之股價與SVR所預測之殘差加總得到最後之預測股價，結果顯示結合模式能夠降低整體的預測誤差，因而改善單獨使用

ARIMA或SVR時的預測績效，並呈現出較隨機漫步為佳之預測結果。Ince與Trafalis(2006)提出兩階段的混合預測模式，首先利用有母數(parametric)工具如ARIMA、VAR(vector autoregressive)、共整合分析(co-integration analysis)，篩選引入到無母數模型的變數(自我迴歸中的落後期間)，然後以無母數工具ANN及SVR進行預測，實證資料包括歐元兌美元、英鎊兌美元、日幣兌美元、澳幣兌美元四種匯率，結果顯示混合模式優於單純使用ARIMA或VAR，而結合SVR的混合模式較結合ANN的模式為佳。由於在財務預測的實務上，「預測誤差小」可能不如「預測一個正確的變動方向」來得有利可圖，因此Huang等人(2005)提出以SVM做為預測金融市場價格變動方向的工具，並對日經225股價指數的每週變動方向做實證研究，然後與線性鑑別分析(linear discriminant analysis)、二次鑑別分析(quadratic discriminant analysis)和Elman 倒傳遞類神經網路(Elman backpropagation neural networks)的預測結果做比較，結果顯示SVM較其他分類工具的預測結果為佳，而將SVM與其他分類工具的預測值給予權重結合後，可以均衡各工具的優缺點，獲得更好的預測結果。

## 參、研究方法

### 一、獨立成分分析

獨立成分分析是一種特徵萃取或訊號分離工具，能找出隨機變數或是訊號中的隱藏因子。ICA 假設觀察到的隨機變數是由未知的潛在變數(latent variables)以線性方式組合而成，而組合的機制未知。這些潛在變數在假設互為獨立的情況下，被稱為觀察資料的潛在來源(latent sources)。ICA 就是在只有觀察到的隨機變數資料，而未知其混合機制與來源的情況下，找出獨立成份(ICs)以估計潛在來源的方法(Hyvärinen & Oja 2000; Hyvärinen et al. 2001)。

假設一組時間序列資料 $x_1(t)$ 、 $x_2(t)$ 、 $x_3(t)$ ，是由訊號 $s_1(t)$ 、 $s_2(t)$ 、 $s_3(t)$ 線性組合而成，如方程式(1)所示，其中係數 $a_{ij}$ ， $i, j = 1, 2, 3$ 代表權重。

$$\begin{aligned} x_1(t) &= a_{11}s_1(t) + a_{12}s_2(t) + a_{13}s_3(t) \\ x_2(t) &= a_{21}s_1(t) + a_{22}s_2(t) + a_{23}s_3(t) \\ x_3(t) &= a_{31}s_1(t) + a_{32}s_2(t) + a_{33}s_3(t) \end{aligned} \quad (1)$$

若以矩陣表示，將如方程式(2)或方程式(3)所示，

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{s} \quad (3)$$

其中 $\mathbf{x}$ 稱作觀察訊號或混合訊號， $\mathbf{s}$ 稱作來源訊號， $\mathbf{A}$ 則為混合矩陣。在此，若混合矩陣 $\mathbf{A}$ 為已知，則只要解線性方程式，即可得到原始來源訊號 $\mathbf{s}$ 。但由於在許多問題中，混合矩陣 $\mathbf{A}$ 是未知的，因此無法輕易解出來源訊號 $\mathbf{s}$ 。

ICA 的原理即在假設來源訊號 $\mathbf{s}$ 互為統計獨立的情況下，透過估計一個解混合矩陣(demixing matrix) $\mathbf{W}$ 來找出原始來源訊號之估計值 $\mathbf{y}$ ， $\mathbf{y}$ 即為獨立成分。當解混合矩陣 $\mathbf{W}$



為混合矩陣  $\mathbf{A}$  的反矩陣時，即  $\mathbf{W} = \mathbf{A}^{-1}$ ，這些獨立成份將可用來估計潛在來源訊號，即  $\mathbf{s} \equiv \mathbf{y} = \mathbf{W}\mathbf{x} = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{x}$ 。

ICA 模型有一個基本的假設或限制，即各獨立成份間必須統計獨立 (Hyvärinen & Oja 2000)。因此，ICA 可以被描述成一個最佳化的問題，將各獨立成份的獨立性量測當成目標函數，經由最佳化的技術找出解混合矩陣  $\mathbf{W}$ 。亦即，解混合矩陣  $\mathbf{W}$  可以由一個非監督式的演算法決定，而這個演算法的目標就是使得各 IC 間的統計獨立性最大。由於 IC 具有非高斯分配 (non-Gaussian distribution) 隱含各個 IC 之間為統計獨立 (Hyvärinen & Oja 2000, Hyvärinen et al. 2001)，因此 IC 的非高斯特性 (non-Gaussianity) 可以被用做 ICA 演算法的目標函數。在 ICA 中用來量測獨立成份的非高斯特性也有很多種方法，常見的有高階統計量法 (high order cumulants)，共同資訊法 (mutual information) 及負熵法 (negentropy)，其中 Hyvärinen (1999) 所提出之 FastICA，是以極大化負熵 (negentropy) 的概念，求解目標函數，找出最佳解混合矩陣  $\mathbf{W}$ ，是目前最常用的演算法之一。因此本研究將利用 FastICA 做為估計資料中獨立成份的演算法。有關 FastICA 演算法的詳細內容請參閱 Hyvärinen 與 Oja (2000) 及 Hyvärinen 等人 (2001)。

## 二、支援向量迴歸

SVR 是由 Vapnik 等人 (1997) 在 SVM 的演算法中引入  $\epsilon$ -insensitive 損失函數 (loss function) 延伸發展而來，其主要概念是基於結構風險最小化原則，將一個在低維度輸入空間 (input space) 中的非線性問題，轉換成在高維度特徵空間中的線性迴歸問題。SVR 運用迴歸的方法，建構一個超平面 (hyperplane)，使得這個超平面盡可能地接近所有資料點，從而找出一條訓練資料的趨勢線 (trend line of the training data)。

若有一組訓練樣本  $D = \{(\mathbf{x}_1, y_1), (\mathbf{x}_2, y_2), \dots, (\mathbf{x}_l, y_l)\}$ ， $\mathbf{x} \in R^n, y \in R$ ，其中  $\mathbf{x}$  代表輸入向量， $y$  代表輸出值， $l$  代表訓練樣本數。SVR 透過線性函數  $f$  來趨近這組樣本資料，如方程式 (4) 所示：

$$f(\mathbf{x}) = \mathbf{w} \cdot \phi(\mathbf{x}) + b \quad (4)$$

其中  $\mathbf{w}$  為權重向量， $b$  為偏誤 (bias)， $\phi$  為一轉換函數，用以將輸入空間  $\mathbf{x}$  非線性轉換到高維度的特徵空間。透過極小化迴歸風險可以求得最適函數  $f$ ，在迴歸中，風險極小化所使用的典型損失函數有平均絕對誤差 (mean absolute error, MAE)、均方誤差 (mean square error, MSE) 等。在 SVR 中，Vapnik 等人 (1997) 導入一個  $\epsilon$ -insensitive 損失函數  $L_\epsilon$ ，如方程式 (5) 所示，藉以呈現高維度特徵空間中的線性迴歸：

$$L_\epsilon(f(\mathbf{x}), y) = \begin{cases} |f(\mathbf{x}) - y| - \epsilon & \text{if } |f(\mathbf{x}) - y| \geq \epsilon \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

其中， $\epsilon$  為管狀區域寬度，用來定義一個圍繞在迴歸超平面  $f(\mathbf{x})$  周圍的管狀區域 ( $\epsilon$ -tube)，即所謂  $\epsilon$ -insensitive 區域，能夠減少雜訊，提升估計的穩定性。大多數的資料點會落入這個區管狀區域內，當資料點落在管狀區域外時，稱為支援向量 (support vectors)，如圖 1 所示：

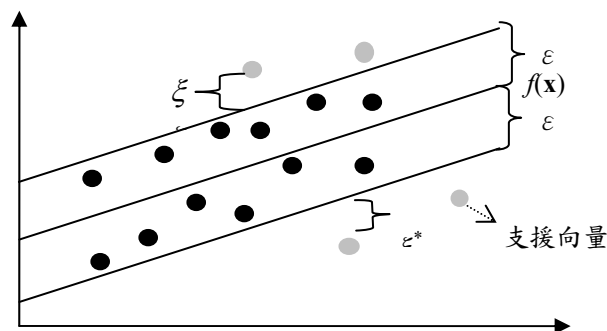


圖 1  $\epsilon$ -insensitive 示意圖

支援向量是建構迴歸模型之基礎，所謂損失相當於預測值與區域邊界間的距離，可以用差額變數(slack variables)  $\xi$  及  $\xi^*$  表示，據此，可將方程式(5)改寫如方程式(6)所示：

$$L_{\epsilon}(f(\mathbf{x}), y) = \begin{cases} |f(\mathbf{x}) - y| - \epsilon = \xi & \text{if } f(\mathbf{x}) - y \geq 0 \\ |f(\mathbf{x}) - y| - \epsilon = \xi^* & \text{if } f(\mathbf{x}) - y \leq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

其中， $\xi$  為高於區域邊界的訓練誤差值， $\xi^*$  為低於區域邊界的訓練誤差值，兩者皆為正數。因此風險極小化的目的是找出一個超平面，使得  $\mathbf{w}$  有較短的長度(norm)而提供模型較佳的一般化能力，同時極小化支援向量到這個超平面的距離總合。

經由極小化風險調整風險函數(minimizing the regularized function)，如方程式(7)所示，可以求得權重向量  $\mathbf{w}$  和偏誤  $b$  兩者之估計值：

$$\min \frac{1}{2} \|\mathbf{w}\|^2 + C \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l L_{\epsilon}(f(\mathbf{x}_i), y_i)$$

$$\text{且, } L_{\epsilon}(f(\mathbf{x}_i), y_i) = \begin{cases} |f(\mathbf{x}_i) - y_i| - \epsilon & \text{if } |f(\mathbf{x}_i) - y_i| \geq \epsilon \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

其中， $l$  代表訓練樣本數， $\frac{1}{l} \sum_{i=1}^l L_{\epsilon}(f(\mathbf{x}_i), y_i)$  為實驗風險，而  $\|\mathbf{w}\|^2$  為一調整項(regularized term)，極小化  $\|\mathbf{w}\|^2$  可以避免過度學習的問題， $\frac{1}{2} \|\mathbf{w}\|^2$  即為結構風險， $C$  是修正係數(regularized constant)，為一成本參數，用來評估實驗風險與結構風險間的取捨(trade-off)， $C$  值越大表示越重視實驗風險，反之表示越重視結構風險， $C$  與管狀區域大小  $\epsilon$  同為預先決定之常數。因此，方程式(7)可以整理成方程式(8)所示：

$$\min R(\mathbf{w}, \xi, \xi^*) = \frac{1}{2} \|\mathbf{w}\|^2 + C \sum_{i=1}^l (\xi_i + \xi_i^*)$$

$$\text{subject to } \begin{cases} y_i - \mathbf{w} \cdot \phi(\mathbf{x}) - b \leq \varepsilon + \xi_i \\ \mathbf{w} \cdot \phi(\mathbf{x}) + b - y_i \leq \varepsilon + \xi_i^* \\ \xi_i, \xi_i^* \geq 0 \end{cases} \quad (8)$$

方程式(8)為二次規劃(quadratic programming, QP)之極小化主命題(primal problem)，由於其中包含過多的變數，增加了解題的難度，因此藉由引入拉氏乘數(Lagrange multipliers)，將之轉換為一對偶問題(double problem)，如方程式(9)所示，可以減少待解的變數數量，而簡化問題(Ince & Trafalis 2007)。

$$\begin{aligned} \max L_d(\alpha_i, \alpha_i^*) &= \sum_{i=1}^l y_i (\alpha_i - \alpha_i^*) - \varepsilon \sum_{i=1}^l (\alpha_i + \alpha_i^*) \\ &\quad - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l (\alpha_i - \alpha_i^*) (\alpha_j - \alpha_j^*) \phi(\mathbf{x}_i) \phi(\mathbf{x}_j) \\ \text{subject to } &\begin{cases} \sum_{i=1}^l (\alpha_i - \alpha_i^*) = 0 \\ 0 \leq \alpha_i, \alpha_i^* \leq C; i=1, \dots, l \end{cases} \end{aligned} \quad (9)$$

其中  $\alpha_i$  與  $\alpha_i^*$  為拉氏乘數，需滿足  $\alpha_i \alpha_i^* = 0$  之條件，求解方程式(9)後可找出迴歸超平面中的最適權重向量  $\mathbf{w}^*$  和偏誤  $b^*$ 。最後將最適權重向量  $\mathbf{w}^*$  和偏誤  $b^*$  代回方程式(4)，可得到最適迴歸超平面，如方程式(10)所示：

$$f(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^l (\alpha_i - \alpha_i^*) K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) + b^* \quad (10)$$

其中， $K$  為核心函數(kernel function)，能夠將輸入資料以非線性的方式轉換到高維度的特徵空間中，其值等於兩個特徵向量之內積，即  $K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \phi(\mathbf{x}_i) \cdot \phi(\mathbf{x}_j)$ 。常用的核心函數有多項式 (polynomial) 函數及輻射基底函數 (radial basis function, RBF) (Lin et al. 2003, Cherkassky & Ma 2004)。

### 三、ICA-SVRs 預測模式

本研究整合 ICA 與 SVR 在特徵萃取及資料預測上的優勢建構匯率預測模式，並稱之為 ICA-SVRs 模式。所提之 ICA-SVRs 預測模式首先以 ICA 做為特徵萃取工具，將匯率資料轉換到特徵空間，估計出獨立成分，接著以 SVR 對每一個獨立成分建立預測模式，最後將獨立成分的預測值還原到原始空間，得到原始匯率資料的預測值。所提之 ICA-SVRs 預測模式的步驟如圖 2 所示，各步驟的內容說明如下：

首先，本研究針對單一預測變數的問題，而傳統 ICA 模式須以多個變數做為輸入變數，方能找出多個獨立成分。因此，為自單一變數中找出  $n$  個獨立成分，本研究第二步將進行資料重整，把原始維度  $1 \times t$  之單一變數數列  $\mathbf{x} = (x(1), x(2), \dots, x(t))$ ，改為維度是  $n \times (t - n + 1)$  的矩陣  $\mathbf{X}$ ，如方程式(11)所示，其中  $t$  代表資料之期數，各列資料之間是時間遞延的關係。

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_1 \\ \mathbf{x}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{x}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1(1), x_1(2), \dots, x_1(t) \\ x_2(1), x_2(2), \dots, x_2(t) \\ \vdots \\ x_n(1), x_n(2), \dots, x_n(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x(1), x(2), \dots, x(t-n+1) \\ x(2), x(3), \dots, x(t-n+2) \\ \vdots \\ x(n), x(n+1), \dots, x(t) \end{bmatrix} \quad (11)$$

舉例而言，圖 3 為維度  $1 \times 500$  之單一變數數列，若欲自其中找出 3 個獨立成分，則需將該數列重整為如圖 4 所示之三數列所組成之維度為  $3 \times 498$  之矩陣。

接著在第三步，利用 ICA 估計維度為  $n \times n$  的解混合矩陣  $\mathbf{W}$ ，並利用  $\mathbf{W}$  將獨立成分  $\mathbf{y}_i$  自  $\mathbf{X}$  中估計出來，即

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} \mathbf{y}_1 \\ \mathbf{y}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{y}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1(1), y_1(2), \dots, y_1(t) \\ y_2(1), y_2(2), \dots, y_2(t) \\ \vdots \\ y_n(1), y_n(2), \dots, y_n(t) \end{bmatrix} = \mathbf{W}\mathbf{X}$$

以圖 4 之資料為例，若取其中前 450 筆進行 ICA，則可找出如圖 5 之三個獨立成分。而相較於原始資料(如圖 4 所示)，三個獨立成份能夠表現出資料的不同潛在特徵。

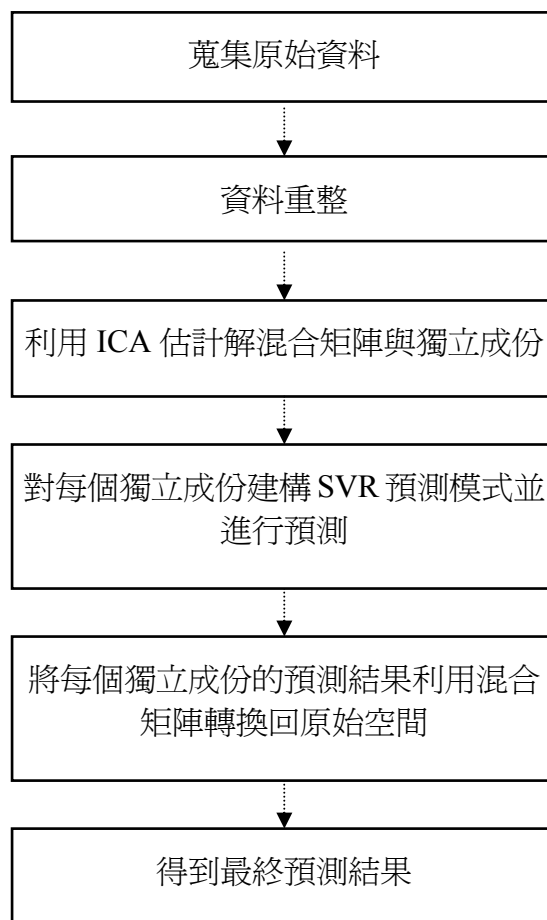


圖 2、所提之 ICA-SVRs 預測模型示意圖

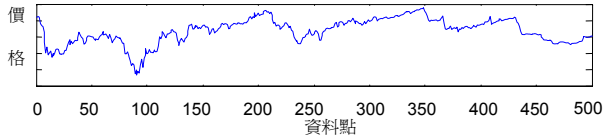


圖 3、維度為  $1 \times 500$  之單一變數數列

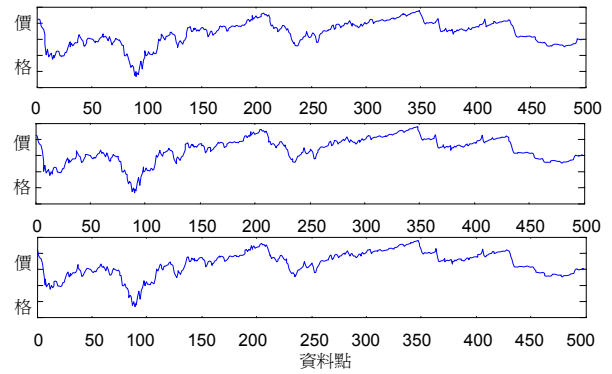


圖 4、將圖 3 重組之維度  $3 \times 498$  矩陣

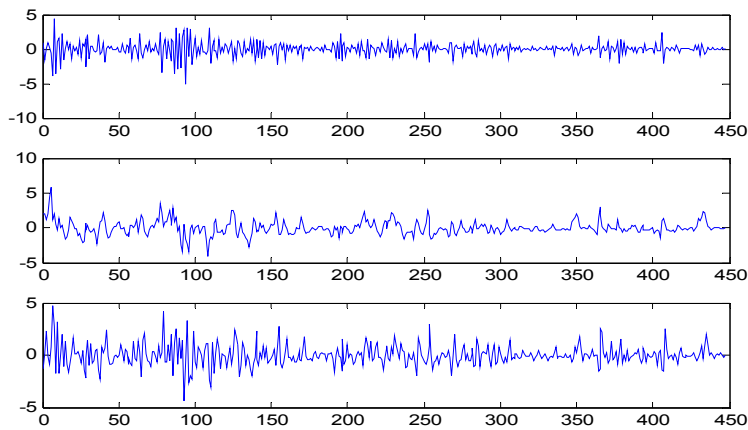


圖 5、圖 4 資料之三個獨立成分—以 450 筆資料為例

第四步再以 SVR 對每一個獨立成分建立預測模型用以預測下一期的資訊(即為  $t+1$ )，得到預測的獨立成分  $\mathbf{y}^p = [y_1(t+1), y_2(t+1), \dots, y_n(t+1)]^T$ ，其中對每一個獨立成份，本研究使用前  $q$  期之獨立成分值做為 SVR 模式中的  $q$  個預測變數，即  $y_i(t+1) = SVR_i[y_i(t), \dots, y_i(t-q+1)]$   $i = 1, \dots, n, q = 1, 2, \dots, t-1$ 。舉例而言，若對第一個獨立成份利用前三期的資料建構 SVR 預測模式來預測  $t+1$  期的資料，則將表示為  $y_1(t+1) = SVR_1[y_1(t), y_1(t-1), y_1(t-2)]$ 。

由於核心函數的選擇是 SVR 設計的重要環節，適當的核心函數能將資料的特徵更加清楚地呈現，進而提升預測的績效。由於 RBF 函數是 SVR 中常用的核心函數之一 (Lin et al. 2003, Cherkassky & Ma 2004)，本研究將使用 RBF 函數為 SVR 中的核心函數。核心函數之外，SVR 尚有兩個需決定之參數，分別是修正係數  $C$  和代表管狀區域大小的  $\varepsilon$ ，其中  $C$  值為迴歸函數之平滑能力與實驗風險間的調適， $\varepsilon$  值為迴歸函數所能容忍之離差範圍，但目前尚未發展出參數選擇的普遍原則，通常會依問題的特性直接判斷或使用試誤法決定最適的參數值。然而試誤法有搜尋次數過多的缺點，因此 Cherkassky 與 Ma (2004)

提出，對訓練資料估計，可以求得SVR中的建議參數組合之方法，縮小最佳參數的搜尋範圍，本研究將利用Cherkassky與Ma(2004)提出的方法對訓練資料估計，以求得SVR參數的建議組合(即  $C$  與  $\varepsilon$  的建議值)，並根據Hsu等人(2003)所建議之指數成長序列的搜尋方式(如： $2^{-5}, 2^{-3}, \dots, 2^{15}$ )，針對此建議組合做上下的指數搜尋，以均方誤差最小者為最適的參數組合，此兩種方法之結合，將可去除單一參數組合建議值的風險，並降低試誤法試誤次數過多的缺點。

第五步，利用混合矩陣  $\mathbf{A} = \mathbf{W}^{-1}$  將在特徵空間的預測結果  $\mathbf{y}^p$  還原到原始空間，得到預測的結果  $\mathbf{x}^p$ ，如方程式(12)所示：

$$\mathbf{x}^p = \begin{bmatrix} x_1(t+1) \\ x_2(t+1) \\ \vdots \\ x_n(t+1) \end{bmatrix} = \mathbf{A}\mathbf{y}^p = \begin{bmatrix} \mathbf{w}_1 \\ \mathbf{w}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{w}_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1(t+1) \\ y_2(t+1) \\ \vdots \\ y_n(t+1) \end{bmatrix} \quad (12)$$

由於對比公式(12)與公式(11)我們可以得知， $x_n(t+1)$  即為  $x_n(t)$  的  $t+1$  期預估值，也就是  $x(t)$  的  $t+1$  期預估值，因此  $x_n(t+1)$  是所提預測模式的最後結果。

## 肆、實證結果分析

### 一、實證資料

為驗證所提之 ICA-SVRs 預測模式之有效性，本研究以新台幣兌美元即期匯率之收盤價為研究標的，對其進行預測，並將 ICA-SVRs 模式，與整合 ICA 與 AR 預測模式(ICA-ARs 模式)、單純 SVR 模式、單純 AR 模式及隨機漫步模式等方法的預測結果進行比較。其中，ICA-ARs 模式的建構流程與所提之 ICA-SVRs 模式相同，只是預測器從 SVR 換成 AR 模式，單純 SVR 與單純 AR 模式則是不使用 ICA 為前處理工具，直接以 SVR 或 AR 模式建構預測模式，隨機漫步模式為直接利用前一日收盤指數為今日收盤指數之預測值。

由於過去之收盤價往往已能反映出多數的市場訊息，足以預測未來之收盤價，因此本研究僅以收盤價此一變數建立預測模式，對未來之收盤價做預測，並根據臺灣經濟新報資料庫所提供之新台幣兌美元即期匯率收盤價進行實證，取資料期間 2005 年 12 月 26 日到 2007 年 12 月 27 日，共橫跨 500 個交易日。其中，2005 年 12 月 26 日到 2007 年 10 月 18 日，共 450 個交易日為訓練樣本，占全部資料的 90%；而 2007 年 10 月 19 日到 2007 年 12 月 27 日，共 50 個交易日為測試樣本，占全部資料的 10%。圖 6 為所取資料期間收盤價之走勢圖。

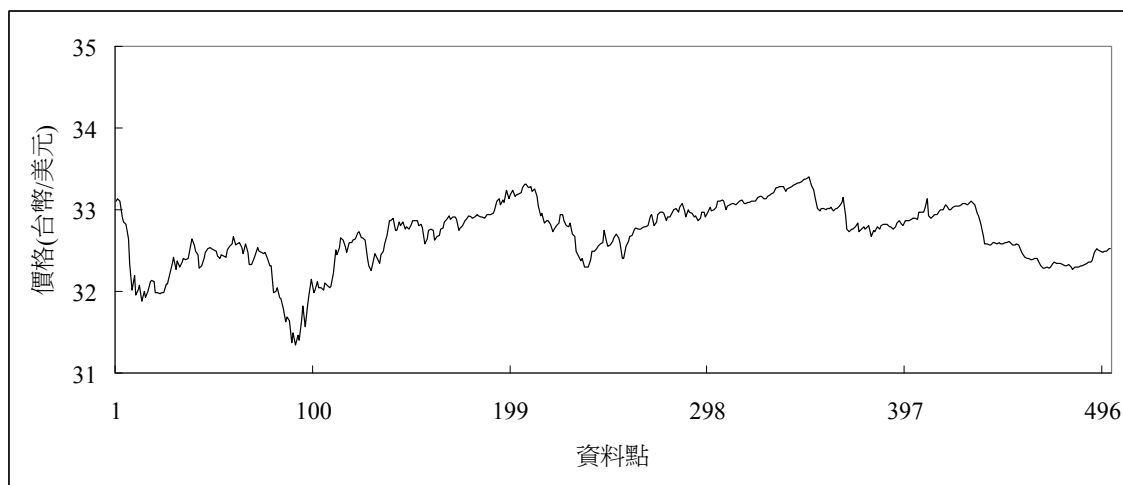


圖 6、新台幣兌美元即期匯率收盤價走勢圖(2005/12/26 至 2007/10/18)

在預測績效的評估方面，本研究以平均絕對百分比誤差(mean absolute percentage error, MAPE)、方向對稱性(directional symmetry, DS)、正確上漲趨勢率(correct up-trend, CP)、正確下跌趨勢率(correct down-trend, CD)等四個常用之指標評估模式預測結果之準確度，各種指標之計算式如表 1 所示。在上述五個指標中，MAPE 是用來衡量實際值與預測值間之差異程度，越小越代表預測值與實際值接近。DS、CP 及 CD 則是用來衡量預測的漲跌方向與實際方向相比後的準確率，其中 DS 是衡量整體(亦即不管上漲或下跌)趨勢正確率的指標，而 CP 與 CD 則是分別用來評估上漲及下跌時趨勢正確率的指標。

表 1 績效衡量指標及其公式

指標	公式
MAPE	$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^N \left  \frac{E_i - O_i}{O_i} \right }{N}$
DS	$DS = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N d_i, \quad d_i = \begin{cases} 1 & \text{if } (E_i - E_{i-1})(O_i - O_{i-1}) \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$
CP	$CP = \frac{100}{N_1} \sum_{i=1}^N d_i, \quad d_i = \begin{cases} 1 & \text{if } (O_i - O_{i-1}) > 0 \text{ and } (E_i - E_{i-1})(O_i - O_{i-1}) \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$
CD	$CD = \frac{100}{N_2} \sum_{i=1}^N d_i, \quad d_i = \begin{cases} 1 & \text{if } (O_i - O_{i-1}) < 0 \text{ and } (E_i - E_{i-1})(O_i - O_{i-1}) \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$
上述式子中， $O$ 代表實際值， $E$ 代表預測值， $N$ 代表總資料筆數， $N_1$ 、 $N_2$ 各代表上漲和下跌資料筆數。	

## 二、實證結果

首先在 ICA-SVRs 模式部分，如第參章的說明，需先將原始維度為  $1 \times 450$  的訓練資料  $(x(1), x(2), \dots, x(450))$ ，改為維度是  $n \times (450 - n + 1)$  的矩陣，接著再經過 ICA 的演算找出  $n$  個獨立成分，並對每一個獨立成分建構 SVR 預測模式，其中 SVR 模式需各自以過去前  $q$  期的獨立成分做為 SVR 的  $q$  個預測變數，以預測第  $t+1$  期的獨立成分。因此，本研究所提之 ICA-SVRs 模式，在 ICA 的部分須決定所欲估計的獨立成分個數 ( $n$ )，而在 SVR 的部分則須決定建構模式所需的預測變數個數 ( $q$ )。

在 ICA 方面，本研究將探討在二個獨立成分 ( $n=2$ )、三個獨立成分 ( $n=3$ ) 及四個獨立成分 ( $n=4$ ) 等三種情況下，所提模式的預測績效。在 SVR 方面，本研究將探討使用一到三個預測變數的預測結果，其中，若為一個預測變數 ( $q=1$ ) 代表使用前一期 ( $t$ ) 資料做為預測變數，相同地，若為二個預測變數 ( $q=2$ ) 則表示使用前二期 ( $t, t-1$ ) 的資料做為預測變數，以此類推。故本研究所提之 ICA-SVRs 模式，根據獨立成分個數 ( $n$ ) 與 SVR 預測變數個數 ( $q$ ) 之組合不同，共有 9 種可能狀況，以下分別將 9 種組合之預測結果彙整於表 2，表 2 中所呈現皆為 SVR 經過參數搜尋後，最佳參數組合的預測，有關 SVR 參數搜尋之細節，請詳見表 3 之說明。

由表 2 可知，在使用二個獨立成分 ( $n=2$ ) 之 ICA-SVRs 模式中，以運用前一期 ( $q=1$ ) 獨立成分做為 SVR 預測變數的情況下，同時有最小之預測誤差與最佳之預測準確率，其中 MAPE 為 5.31%、DS 為 62%、CP 為 61%、CD 為 65%；在使用三個獨立成分 ( $n=3$ ) 之 ICA-SVRs 模式中，以運用前二期 ( $q=2$ ) 獨立成分當作 SVR 預測變數的情況下，同時有最小之預測誤差與最佳之方向預測準確率，其中 MAPE 為 4.36%、DS 為 72%、CP 為 70%、CD 為 74%；在使用四個獨立成分 ( $n=4$ ) 之 ICA-SVRs 預測模式中，以運用前二期 ( $q=2$ ) 獨立成分做為 SVR 預測變數的情況下，同時有較佳之預測誤差與預測準確率，其中 MAPE 為 5.22%、DS 為 64%、CP 為 66%、CD 為 62%。因此整體而言，在 ICA-SVRs 模式，以使用三個獨立成分，且將前二期獨立成分做為 SVR 預測變數時，有最佳之預測結果。

表 2 ICA-SVRs 模式之預測結果

獨立成分個數 ( $n$ )	SVR 預測變數 ( $q$ )	MAPE(%)	DS(%)	CP(%)	CD(%)
二個獨立成分 ( $n=2$ )	前一期 ( $q=1$ )	<b>5.31</b>	<b>62</b>	<b>61</b>	<b>65</b>
	前二期 ( $q=2$ )	5.52	58	55	60
	前三期 ( $q=3$ )	5.48	62	63	60
三個獨立成分 ( $n=3$ )	前一期 ( $q=1$ )	5.01	66	65	68
	前二期 ( $q=2$ )	<b>4.36</b>	<b>72</b>	<b>70</b>	<b>74</b>
	前三期 ( $q=3$ )	4.45	68	65	72
四個獨立成分 ( $n=4$ )	前一期 ( $q=1$ )	5.28	62	60	64
	前二期 ( $q=2$ )	<b>5.22</b>	<b>64</b>	<b>66</b>	<b>62</b>
	前三期 ( $q=3$ )	5.44	62	63	60



有關 SVR 參數搜尋的過程，以上述有最佳預測績效的組合( $n=3, q=2$ )為例來說明搜尋過程，結果如表 3 所示。在表 3 中，標記底色者代表根據 Cherkassky 與 Ma (2004)所提方法對訓練資料估計後求得之 SVR 參數的建議組合(即  $C$  與  $\varepsilon$  的建議值)與此參數組合下之 MSE。本研究利用 Hsu 等人(2003)所提之搜尋方式，對建議組合做上下的指數搜尋，並以 MSE 最小者為最適的參數組合，在表 3 中以粗體字者代表 MSE 最小時之參數組合。由表 3 可知，第一個獨立成分在  $\varepsilon$  為  $2^{-1}$  時， $C$  在  $2^1$  到  $2^5$  之間 MSE 皆有最小值 0.5135，故本研究選擇位於此區間之建議參數組合( $\varepsilon=2^{-1}, C=2^2$ )，做為模式中之最適參數；同理，第二個獨立成分，本研究選擇最接近建議參數組合之  $\varepsilon=2^0, C=2^{-1}$ (MSE 為 0.6065)，做為模式中之最適參數；第三個獨立成分，本研究選擇建議參數組合( $\varepsilon=2^{-1}, C=2^2$ )做為模式中之最佳參數組合(MSE 為 0.9257)。本研究中 SVR 模式之參數搜尋均循上述依建議參數組合做上下指數搜尋之步驟，以 MSE 最小者為最適參數，當 MSE 最小之參數組合有數組時，則以最接近建議參數組合者為最適參數。

在 ICA-ARs 模式方面，做法與上述之 ICA-SVRs 模式相似，但改以 AR 模式做為預測獨立成分之預測器，並同樣分為 9 種可能組合，結果彙整於表 4。由表 4 可知，ICA-ARs 模式在使用三個獨立成分，且以前三期獨立成分為 AR 預測變數時有最佳之預測結果，其中 MAPE、DS、CP、CD 分別為 5.01%、68%、65%、72%。

表 3 ICA-SVRs,  $n=3, q=2$  下，不同參數組合之結果

$\varepsilon$	$C$	第一個獨立成分 MSE	第二個獨立成分 MSE	第三個獨立成分 MSE	$\varepsilon$	$C$	第一個獨立成分 MSE	第二個獨立成分 MSE	第三個獨立成分 MSE
$2^{-3}$	$2^{-1}$	0.5164	0.6159	0.9282	$2^{-2}$	$2^{-1}$	0.5138	0.6149	0.9269
	$2^0$	0.5162	0.6159	0.9281		$2^0$	0.5138	0.6153	0.9269
	$2^1$	0.5162	0.6155	0.9282		$2^1$	0.5138	0.6153	0.9269
	$2^2$	0.5161	0.6153	0.9282		$2^2$	0.5138	0.6153	0.9269
	$2^3$	0.5156	0.6154	0.9282		$2^3$	0.5138	0.6153	0.9269
	$2^4$	0.5157	0.6154	0.9282		$2^4$	0.5138	0.6153	0.9269
	$2^5$	0.5157	0.6154	0.9282		$2^5$	0.5138	0.6154	0.9269
$2^{-1}$	$2^{-1}$	0.5136	0.6076	<b>0.9257</b>	$2^0$	$2^{-1}$	0.5208	<b>0.6065</b>	0.9291
	$2^0$	0.5137	0.6077	<b>0.9257</b>		$2^0$	0.5208	0.6090	0.9291
	$2^1$	<b>0.5135</b>	0.6077	<b>0.9257</b>		$2^1$	0.5206	0.6091	0.9291
	$2^2$	<b>0.5135</b>	0.6074	<b>0.9257</b>		$2^2$	0.5204	0.6091	0.9291
	$2^3$	<b>0.5135</b>	0.6073	<b>0.9257</b>		$2^3$	0.5206	0.6090	0.9291
	$2^4$	<b>0.5135</b>	0.6073	<b>0.9257</b>		$2^4$	0.5206	0.6091	0.9291
	$2^5$	<b>0.5135</b>	0.6073	<b>0.9257</b>		$2^5$	0.5206	0.6090	0.9291
$2^1$	$2^{-1}$	0.5193	0.6357	0.9728					
	$2^0$	0.5193	0.6357	0.9735					
	$2^1$	0.5193	0.6357	0.9735					
	$2^2$	0.5359	0.6357	0.9734					
	$2^3$	0.5359	0.6357	0.9735					
	$2^4$	0.5359	0.6357	0.9734					
	$2^5$	0.5359	0.6357	0.9735					

表 4 ICA-AR 模式之預測結果

獨立成分個數( $n$ )	AR 預測變數( $q$ )	MAPE(%)	DS(%)	CP(%)	CD(%)
二個獨立成分 ( $n=2$ )	前一期( $q=1$ )	5.32	62	61	64
	前二期( $q=2$ )	5.65	60	55	64
	前三期( $q=3$ )	<b>5.30</b>	<b>64</b>	<b>62</b>	<b>66</b>
三個獨立成分 ( $n=3$ )	前一期( $q=1$ )	5.10	64	65	63
	前二期( $q=2$ )	5.05	66	65	67
	前三期( $q=3$ )	<b>5.01</b>	<b>68</b>	<b>65</b>	<b>72</b>
四個獨立成分 ( $n=4$ )	前一期( $q=1$ )	5.57	62	55	64
	前二期( $q=2$ )	<b>5.43</b>	<b>64</b>	<b>66</b>	<b>62</b>
	前三期( $q=3$ )	5.70	62	60	64

在單純 SVR 模式方面，本研究分別使用不同期數( $q$ )的收盤價報酬率做為 SVR 的預測變數，分為使用前一期( $t$ )、前二期( $t-1$ 、 $t-2$ )及前三期( $t$ 、 $t-1$ 、 $t-2$ )之原始資料等三種模式，預測第  $t+1$  期之報酬率，並與實際值做比較，計算出各種預測績效衡量指標，結果彙整於表 5。由表 5 可知，整體而言，單純 SVR 模式中，以前二期( $q=2$ )的預測結果較佳。在 SVR 參數搜尋方面，單純 SVR 之參數搜尋方式與 ICA-SVRs 模式中 SVR 模式建構階段之參數搜尋方式相同，係根據建議參數組合做上下指數搜尋，以 MSE 最小者為最適參數。表 6 為前二期( $q=2$ )之參數選擇情況。由表 8 可知，在  $\varepsilon=2^{-12}$ ， $C=2^1$  和  $\varepsilon=2^{-10}$ ， $C=2^1$  時，MSE 最小值 0.00000590，故為單純 SVR 模式之最適參數。

表 5 單純 SVR 模式之預測結果

SVR 預測變數( $q$ )	MAPE(%)	DS(%)	CP(%)	CD(%)
前一期( $q=1$ )	6.52	62	55	64
前二期( $q=2$ )	6.49	62	61	63
前三期( $q=3$ )	6.54	60	55	64

表 6 單純 SVR， $q=2$  下，不同參數組合之結果

$\epsilon$	$C$	SVR 模式 MSE	$\epsilon$	$C$	SVR 模式 MSE	$\epsilon$	$C$	SVR 模式 MSE
$2^{-14}$	$2^{-13}$	0.00000591	$2^{-12}$	$2^{-13}$	0.00000591	$2^{-10}$	$2^{-13}$	0.00000591
	$2^{-11}$	0.00000591		$2^{-11}$	0.00000591		$2^{-11}$	0.00000591
	$2^{-9}$	0.00000591		$2^{-9}$	0.00000591		$2^{-9}$	0.00000591
	$2^{-7}$	0.00000591		$2^{-7}$	0.00000591		$2^{-7}$	0.00000591
	$2^{-5}$	0.00000591		$2^{-5}$	0.00000591		$2^{-5}$	0.00000591
	$2^{-3}$	0.00000591		$2^{-3}$	0.00000591		$2^{-3}$	0.00000591
	$2^{-1}$	0.00000591		$2^{-1}$	0.00000591		$2^{-1}$	0.00000591
	$2^1$	0.00000591		$2^1$	<b>0.00000590</b>		$2^1$	<b>0.00000590</b>
$2^{-8}$	$2^{-13}$	0.00000637	$2^{-6}$	$2^{-13}$	0.00000613			
	$2^{-11}$	0.00000637		$2^{-11}$	0.00000613			
	$2^{-9}$	0.00000637		$2^{-9}$	0.00000613			
	$2^{-7}$	0.00000637		$2^{-7}$	0.00000613			
	$2^{-5}$	0.00000637		$2^{-5}$	0.00000613			
	$2^{-3}$	0.00000636		$2^{-3}$	0.00000613			
	$2^{-1}$	0.00000631		$2^{-1}$	0.00000613			
	$2^1$	0.00000631		$2^1$	0.00000613			

在單純 AR 模式方面，做法與上述單純 SVR 模式相似，但改以 AR 為預測器，同樣依預測變數個數( $q$ )之不同，將三種結果彙整於表 7。由表 7 可知，單純 AR 預測模式中，以使用前三期資料為預測變數時有最佳之預測準確率。

表 7 單純 AR 模式之預測結果

AR 預測變數( $q$ )	MAPE(%)	DS(%)	CP(%)	CD(%)
前一期( $q=1$ )	6.28	60	60	60
前二期( $q=2$ )	6.25	60	60	60
前三期( $q=3$ )	<b>6.21</b>	<b>64</b>	<b>65</b>	<b>61</b>

最後茲將本研究 ICA-SVsR、ICA-ARs、單純 SVR、單純 AR 四種模式之最佳預測結果，以及隨機漫步模式之結果整理於表 8。由表 8 可知，本研究所提之 ICA-SVRs 模式不僅在預測誤差的衡量上優於其他四個預測方法，在預測正確率方面也明顯的較佳。並且從表 8 中也可以發現，經由整合 ICA 的預測模式，即 ICA-SVRs 模式與 ICA-ARs 模式，其預測績效均優於沒有整合 ICA 的預測模式，代表透過 ICA 的特徵萃取能提升預測績效。

表 8 各種模式之最佳預測結果

模式	MAPE(%)	DS(%)	CP(%)	CD(%)
ICA-SVRs	<b>4.36</b>	<b>72</b>	<b>70</b>	<b>74</b>
ICA-ARs	5.01	68	65	72
單純 SVR	6.49	62	61	63
單純 AR	6.21	64	65	61
隨機漫步	6.75	60	52	64

爲了進一步展示所提方法的有效性，本研究自中央銀行網站(<http://www.cbc.gov.tw>) 取得 2008 年 1 月 2 日至 2011 年 12 月 22 日，共 1000 交易日之新臺幣對美元銀行間成交收盤匯率資料，並以此資料作爲另一個實證對象。圖 7 爲實證資料期間之匯率走勢圖。針對此資料，本研究以 2008 年 1 月 2 日至 2011 年 3 月 9 日，共 800 筆資料爲訓練資料（佔資料期間 80%），另保留 2011 年 3 月 10 日至 2011 年 12 月 22 日共 200 筆資料爲測試資料（佔資料期間 20%）。在預測變數部分，如前所述，僅以歷史收盤價爲預測變數建構匯率預測模式。

在四個預測模式的建構方面，本研究應用如前一個實證資料的步驟進行，而爲了節省篇幅，在此省略模式建構過程的說明，僅說明各預測模式的模式選擇結果。在 ICA-SVRs 模式方面，以使用四個獨立成分且將前二期獨立成分做爲 SVR 預測變數時，有最佳之預測結果；而 ICA-ARs 模式的最佳模式則是，使用三個獨立成分且以前二期獨立成分爲 AR 預測變數；在單純 SVR 模式中，以使用前二期爲預測變數的預測結果爲最佳；單純 AR 預測模式則是以使用前三期歷史資料爲預測變數時有最佳之預測準確率。

表 9 爲 ICA-SVsR、ICA-ARs、單純 SVR、單純 AR 以及隨機漫步模式於新臺幣對美元銀行間成交收盤匯率之預測結果。由表 9 中各項評估值可知，不論是在預測誤差或是預測方向正確率的衡量指標上，所提之 ICA-SVRs 模式均優於其他四個預測方法。代表建構之結合 ICA 與 SVR 之整合匯率預測模式，能提供最小的預測誤差以及最高的趨勢預測準確率，爲一值得推薦之模式建構程序。此外，表 9 中也可觀察到 ICA-SVRs 及 ICA-ARs 的預測績效均較沒有整合 ICA 的單純預測模式爲佳，代表透過 ICA 特徵萃取之過程能有效的提升預測工具的預測績效。



圖 7、新臺幣對美元銀行間成交收盤匯率走勢圖(2008/1/2 至 2011/12/22)

表 9 各種模式之最佳預測結果

模式	MAPE(%)	DS(%)	CP(%)	CD(%)
ICA-SVRs	6.10	74	76	70
ICA-ARs	6.94	70	73	68
單純 SVR	7.59	66	64	68
單純 AR	7.94	65	67	62
隨機漫步	8.41	61	63	56

## 伍、結 論

本研究整合 ICA 特徵萃取技術與 SVR 建構匯率預測模式，所提方法利用 ICA 自匯率資料中估計出獨立成分以凸顯資料中潛在的特徵，之後再利用 SVR 針對獨立成分建構預測模式得到獨立成分的預測值，最後將此預測值還原到原始資料空間進行預測。為驗證所提預測模式之有效性，本研究以新台幣兌美元匯率收盤價資料做為實證標的，並與 ICA-ARs 模式、單純 SVR 模式、單純 AR 模式及隨機漫步模式等預測模式的預測結果進行比較。茲將研究結論整理如下：

1. 所提之 ICA-SVRs 模式不僅預測誤差較小，且在預測正確率方面明顯優於其他四個方法。
2. ICA-SVRs 模式與 ICA-ARs 模式之預測結果，無論在預測誤差或預測正確率上，皆優於單純 SVR 模式、單純 AR 模式及隨機漫步模式，可以得知使用 ICA 做為特徵萃取工具，對資料進行前處理，能夠改善預測績效。
3. 從兩種結合模式之預測結果可以得知，當使用三個獨立成分做為預測變數時，可以獲得較佳之預測結果，但獨立成分之多寡對預測結果沒有系統性的影響，獨立成分個數的增加或減少並不一定伴隨著預測績效的改善。
4. 本研究所使用之預測變數是由前數期獨立成分資料，或前數期收盤價資料所構成，但由實證結果可知，預測模式中所使用之資料期數多寡對預測結果沒有系統性的影響，預測變數的增加或減少並不一定伴隨著預測績效的改善。

在後續研究建議方面，由於本研究所使用之 ICA 模式，為假設觀察訊號為原始訊號線性組合之情況，並不一定適用於非線性組合之情況，因此在未來研究上，可以利用非線性 ICA(non-linear ICA)進行資料去除雜訊之工作；此外，可以本研究之研究成果及預測模式擬定投資操作策略，並以投資績效作為預測結果之衡量，進一步增加研究結果之實用性。

## 參考文獻

- [1] 呂奇傑、李天行、陳學群 (2007)。應用獨立成份分析與支援向量迴歸於財務時間序列預測。《資訊管理學報》，4，161-183。
- [2] Back, A. D. & Weigend, A. S. (1997). A first application of independent components analysis to extracting structure from stock returns. *International Journal of Neural System*. 8, 473-484.
- [3] Barlett, M., & Sejnowski, T. J. (1997). Viewpoint invariant face recognition using independent component analysis and attractor networks. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 9, 817-823.
- [4] Beckmann, C. F., & Smith, S. M. (2004). Probabilistic independent component analysis for functional magnetic resonance imaging. *IEEE Transactions on Medical Imaging*. 23, 137-152.
- [5] Biswall, B. B., & Ulmer, J. L. (1999). Blind source separation of multiple signal sources of MRI data sets using independent components analysis. *Journal of Computer Assisted Tomography*. 23, 265-271.
- [6] Cao, L. J., & Tay, F. E. H. (2003). Support vector machine with adaptive parameters in financial time series forecasting. *IEEE Transactions on Neural Networks*. 14, 1506-1518.
- [7] Chan, L. W. & Cha, S. M. (2001, December). Selection of independent factor model in finance. Paper presented at the meeting of 3rd International Conference on Independent Component Analysis and Blind Signal Separation, San Diego, California, USA.
- [8] Chen, A. S., & Leung, M. T. (2004). Regression neural network for error correction in foreign exchange forecasting and trading. *Computers and Operations Research*, 31, 1049-1068.
- [9] Chen, A. S., Leung, M. T., & Daouk, H. (2003). Application of neural networks to an emerging financial market: forecasting and trading the Taiwan stock index. *Computers Operations Research*, 30, 901-923.
- [10] Cherkassky, V., & Ma, Y. (2004). Practical selection of SVM parameters and noise estimation for SVM regression. *Neural Networks*, 17, 113-126.
- [11] Drucker, H., Burges, C. J. C., Kaufman, L., Smola A., & Vapnik, V. N. (1997). Support vector regression machines. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 9, 155-161.
- [12] Feeney, G., & Hester, D. (1967). Stock market indices: A principal component analysis. *Cowles Foundation*, 19, 110-138.
- [13] Gorriz, J. M., Puntonet, C. G., Salmeron, M., & Lang, E. W. (2003, September). Time series prediction using ICA algorithms. Paper presented at the meeting of IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing System: Technology and Applications, Lviv, Ukraine.
- [14] Guo, H., & Savickas, R. (2008). Forecasting foreign exchange rates using idiosyncratic volatility. *Journal of Banking & Finance*, 32, 1322-1332.

- [15] Huang, W., Nakamori, Y., & Wang, S. Y. (2005). Forecasting stock market movement direction with support vector machine. *Computers & Operations Research*, 32, 2513–2522.
- [16] Hsu, C. W., Lin, C. C., & Lin, C. J. (2003). A practical guide to support classification. (available online at <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/papers/guide/guide.pdf>).
- [17] Hussain, A. J., Knowles, A. Lisboa, P. J. G., & El-Deredy, W. (2008). Financial time series prediction using polynomial pipelined neural networks. *Expert Systems with Applications*, 35, 1186–1199.
- [18] Hyvärinen, A. (1999). Fast and robust fixed-point algorithms for independent component analysis. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 10, 626–634.
- [19] Hyvärinen, A., Karhunen, J., & Oja, E. (2001). *Independent Component Analysis*, New York: Wiley press.
- [20] Hyvärinen, A. & Oja, E. (2000). Independent component analysis: Algorithms and applications. *Neural Networks*, 13, 411–430.
- [21] Ince, H., & Trafalis, T. B. (2006). A hybrid model for exchange rate prediction. *Decision Support Systems*, 42, 1054–1062.
- [22] Ince, H., & Trafalis, T. B. (2007). Kernel principal component analysis and support vector machines for stock price prediction. *IIE Transaction*, 39, 629–637.
- [23] James, C. J. & Gibson, O. J. (2003). Temporally constrained ica: an application to artifact rejection in electromagnetic brain signal analysis. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 50, 1108–1116.
- [24] Jang, G. J., Lee, T. W. & Oh, Y. H. (2002). Learning statistically efficient features for speaker recognition. *Neurocomputing*, 49, 329–348.
- [25] Kanas, A., & Yannopoulos, A. (2001). Comparing linear and nonlinear forecasts for stock returns. *International Review of Economics and Finance*, 10, 383–398.
- [26] Karras, D. A., & Mertzios, B. G. (2004). Time series modeling of endocardial border motion in ultrasonic images comparing support vector machines, multilayer perceptrons and linear estimation technique. *Measurement*, 36, 331–345.
- [27] Kim, K. J. (2003). Financial time series forecasting using support vector machines. *Neurocomputing*, 55, 307–319.
- [28] Kim, H., & Hur, S. (2009). Effect of foreign exchange management on firm performance using genetic algorithm and VaR. *Expert Systems with Applications*, 36, 8134–8142.
- [29] Kim, T. K., Kim, H., Hwang, W., & Kittler, J. (2004). Independent component analysis in a local facial residue space for face recognition. *Pattern Recognition*, 37, 1873–1885.
- [30] Kiviluoto, K., & Oja, E. (1998, October). Independent component analysis for parallel financial time series. Paper presented at the meeting of the International Conference on Neural Information Processing (ICONIP'98), Kitakyushu, Japan.
- [31] Lee, T. S. & Chen, N. J. (2002). Investigating the information content of non-cash-trading index futures using neural networks. *Expert Systems with Applications*, 22, 225–234.
- [32] Lesch, R. H., Caille, Y., & Lowe, D. (1999, March). Component analysis in financial

- time series. Paper presented at the meeting of the IEEE/IAFE 1999 Conference on Computational Intelligence for Financial Engineering (CIFEr), New York.
- [33] Leu, Y., Lee, C. P., & Jou, Y. Z. (2009). A distance-based fuzzy time series model for exchange rates forecasting. *Expert Systems with Applications*, 36, 8107–8114.
- [34] Lin C. J., Hsu, C. W. & Chang, C. C. (2003). A Practical Guide to Support Vector Classification (Technical Report). Department of Computer Science and Information Engineering, National Taiwan University.
- [35] Lin, Q. H., Zheng, Y. R., Yin F. & Liang, H. L. (2004). Speech segregation using constrained ICA. *Lecture Notes in Computer Science*, 3173, 755-760.
- [36] Majhi, R., Panda, G., & Sahoo, G. (2009). Efficient prediction of exchange rates with low complexity artificial neural network models. *Expert Systems with Applications*, 36, 181–189.
- [37] Malaroiu, S., Kiviluoto, K., & Oja, E. (2000, January). Time series prediction with independent component analysis. Paper presented at the meeting of the International Conference on Advanced Investment Technology, Gold Coast, Australia.
- [38] Mohandes, M. A., Halawani, T. O., Rehman, S., & Hussain, A. A. (2004). Support vector machine for wind speed prediction. *International Journal of Renewable Energy*, 29, 939-947.
- [39] Mok, P.Y., Lam, K.P., & Ng, H.S. (2004, July). An ICA design of intraday stock prediction models with automatic variable selection. Paper presented at the meeting of the *IEEE International Joint Conference on Neural Networks* Budapest, Hungary.
- [40] Nag, A. K. & Mitra, A. (2002). Forecasting daily foreign exchange rates using genetically optimized neural networks. *Journal of Forecasting*, 21, 501– 511.
- [41] Oja, E., Kiviluoto, K. & Malaroiu, S. (2000, October) “Independent Component Analysis for Financial Time Series,” Paper presented at the meeting of the IEEE 2000 Adaptive Systems for Signal Processing, Communications, and Control Symposium, Lake Louise, Canada.
- [42] Pai, P. F. & Lin, C. S. (2005a). A hybrid ARIMA and support vector machines model in stock price forecasting. *Omega*, 33, 497-505.
- [43] Pai, P. F. & Lin, C. S. (2005b). Using support vector machines in forecasting production values of machinery industry in Taiwan. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 27, 205-210.
- [44] Peng, K. L., Wu, C. H., & Goo, Y. J. (2004). The development of a new statistical technique for relating financial information to stock market returns. *International Journal of Management*, 21, 492-505.
- [45] Roh, T. H. (2007). Forecasting the volatility of stock price index. *Expert Systems with Applications*, 33,916–922.
- [46] Schneeweiss, H. & Mathes, H. (1995). Factor analysis and principal components. *Journal of multivariate analysis*, 55, 105-124.
- [47] Shin, T., & Han, I. (2000). Optimal signal multi-resolution by genetic algorithms to support artificial neural networks for exchange-rate forecasting. *Expert Systems with*



*Applications*, 18, 257–269.

- [48] Vapnik, V. (1995). *The Nature of Statistical Learning Theory*, Germany: Springer Verlag.
- [49] Vapnik, V., Golowich, S., & Smola, A. (1997). Support vector method for function approximation, regression estimation and signal processing, in *Advance in neural information processing system 9*, Mozer, M. Jordan, M., & Petsche, T. (Eds), MA: MIT Press, Cambridge, 281–287.
- [50] Vigario, R. (1997). Extraction of ocular artifacts from EEG using independent components analysis. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 103, 395–404.
- [51] Vigario, R., Sarela, J., Jousmaki, V., Hamalainen, M. & Oja, E. (2000). Independent component approach to the analysis of EEG and MEG recordings. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 47, 589-593.
- [52] Zang, C., Friswell, M. I., & Imregun, M. (2004). Structural damage detection using independent components analysis. *Structural Health Monitoring*, 3, 69–83.
- [53] Zhang, G., Eddy, B. P., & Hu, M. Y. (1998). Forecasting with artificial neural networks: The state of the art. *International Journal of Forecasting*, 14, 35–62.



# 利用特徵分層和權重相似性測量建置葉片檢索系統

## Leaf Retrieval Using Stratified Features and Weighting Similarity Measure

魏嘉宏<sup>1</sup>

Chia-Hung Wei

清雲科技大學資訊管理系

助理教授

rogerwei@cyu.edu.tw

林孟文<sup>2</sup>

Menq-Wen Lin

清雲科技大學資訊管理系

副教授

林秀貞<sup>3</sup>

Hsiu-Chen Lin

清雲科技大學資訊管理所

研究生

郭枝盈<sup>4</sup>

Chih-Ying Gwo

清雲科技大學資訊管理系

助理教授

### 摘 要

本研究的葉片檢索系統是利用數值分類學的概念來進行特徵分層的設計，透過階層集群分析法得到最佳的特徵分層順序。至於權重方面則是採用歐幾里德距離與相似性對比關係得到一個權重公式來進行計算。葉片檢索系統透過特徵分層和權重計算的相似性測量，可以找出相似的葉片影像，並將葉片檢索的結果完整呈現給使用者。實驗結果顯示本研究所提出的利用數值分類學概念的特徵分層設計，以及採用歐幾里德距離與相似性對比關係的加權方法，透過歐幾里德距離與相似性對比關係的權重計算方式對每片葉子進行分層加權，最後的檢索結果顯示的確可以提高葉片檢索系統的準確性。未來的發展，希望可以找出更多有助於葉片檢索系統的相似性測量方法，用以提高檢索的準確性，達到更好的檢索結果。

**關鍵詞：**葉片檢索系統、特徵分層、權重、數值分類學、相似性測量

## Abstract

This study proposes stratified features and weighting similarity measure for similar leaf retrieval. Design and combination of stratified features is based on the concept of numerical taxonomy and hierarchical clustering. Weighting similarity measure involves Euclidean distance and a weighting function. With the stratified features and weighting similarity measure, the proposed system can locate similar leaf images and return search results to the user. Experimental results show the proposed method can improve the retrieval performance. In the near future, we will expect to add a relevance feedback strategy for better retrieval results.

**Keywords :** Leaf Retrieval System, Stratified Features, Weighting, Numerical Taxonomy, Similarity Measures

## 壹、緒論

植物與人類的生活是息息相關的，在人類生活中佔有很重要的一個地位，和我們是有密不可分的關係。但面對數千種已被命名，並在植物圖鑑中皆可看到的植物，依舊無法了解植物的名稱，顯示人類對於葉片的相關知識也非常缺乏。目前植物可分類成界、門、綱、目、科、屬，以顯示植物之間的關係，植物學者可以依據這種統一的分類方法來進行植物的研究。但是這樣的分類對於一般人卻是十分困難的。

目前關於葉片檢索的研究，近年來已略有成果，可用於影像檢索的形狀特徵有 Zernike moments、長寬比、離心率、緊湊率等，而在邊緣特徵中則是質心距離較常在檢索中使用。這些特徵都是屬於數位形態學的一種，適用於二元影像或灰階影像，以集合論的概念從形狀或結構來探討物體之間的關係，也可有效描述圖片的區域形狀。但是葉片檢索系統在進行相似性測量時，如果同時使用多個特徵來進行檢索，每項特徵給予的重要比例皆相同，就無法區分出那些形狀特徵對葉片檢索的重要性較高或是對邊緣特徵的重要性較高。如果利用權重來表示葉片特徵的重要性程度，使用什麼方式才能有效區別特徵對於葉片的重要性，也讓葉片檢索的效能可以提高，是本研究想要瞭解的課題，也是想要研究的方向。

因此本研究利用 matlab 7.0 工具軟體建立一個葉片檢索系統，利用長寬比、離心率、緊湊率、質心距離和 Zernike moments 特徵抽取葉片相關資訊。為了瞭解不同特徵在葉片檢索系統中的重要程度，所以本研究提出一個利用數值分類學概念的特徵分層設計，將長寬比、離心率、緊湊率、質心距離和 Zernike moments 特徵進行分層的動作。並提出一個新的相似性測量方法，利用正規化後的特徵值來計算歐幾里德距離，再利用歐幾里德距離與相似性之間的對比關係來進行權重的計算，可以得到葉片檢索中特徵的重要性程度，也可以藉此進行相似性測量，得到更精確的檢索結果。

因此本研究的貢獻有以下三點：

1. 提出葉片檢索特徵分層的設計方法。
2. 提出一個新的加權方法，並利用加權方法進行葉片檢索的相似性測量。
3. 建立葉片檢索系統，並進行績效評估確認特徵分層設計及加權方式，可以明顯改善葉片檢索系統的結果。

## 貳、文獻探討

在「葉片分類」的碩士論文中所進行的方法使用邊緣檢測器找出邊緣，再進行長寬比(Asspect Ratio, AR)、邊緣比(Edge Ratio, ER)、中心位置(Center Position, CP)，最後再進行投影(Projection)的動作。利用權重修改來分配長寬比、邊緣比、中心位置三個特徵值，並利用權重分數排序分配到長寬比、邊緣比、中心位置、水平投影(Horizontal Projection, Ph)，垂直投影(Vertical Projection, PV)五個特徵，最後透過 K-NN(K Nearest-Neighbor Method, K-最近鄰居法)來分類，並將結果進行排序(李佳玲, 2003)。

「葉片檢索技術之研究」碩士論文中陳述，葉片特徵是經由葉片的長度與寬度的比率(Elongation)及利用 Canny 邊緣檢測演算法來進行特徵抽取，再利用倒水演算法來計算葉脈的分支程度和葉脈紋理的複雜程度。實驗後證明二階段式檢索方法可以提升檢索的準確率(徐佳民, 2007)。

在「以模糊函數量化葉片特徵之植物檢索系統」碩士論文中提出讓使用者透過植物觀察，然後在系統中選擇特徵值的方法。用座標掃描方式決定所有邊緣的座標位址後再取平均值，即可得到葉片的中心點。利用模糊函數來針對葉子的形狀、頂端和基底進行特徵抽取。透過質心距離函數(Centroid-Contour Distance, CCD) 來抽取葉子邊緣的特徵。使用布林代數 0 與 1 的表示，將葉脈、葉子排序及生活習性，設定是否的條件即可。葉片的面積大小則使用梯形隸屬函數來進行特徵的抽取。實驗結果證明可以提高準確率和效率(周振傑, 2007)。

在 IEEE 的信號與資訊技術國際研討會中所刊登的「關於植物分類的葉片識別演算法使用概率神經網路」文章中利用基本幾何特徵(葉片的直徑、生理學的長度、生理學的寬度、葉片面積和葉片周長)，以及數位形態學的特徵(平滑因子、長寬比、外形、矩形度、狹窄因素、直徑周長比及生理長度及寬度的周長比)進行特徵的抽取，並且利用 PNN(Probabilistic Neural Net)來識別葉子，因為它具有較強的抗噪音例子，而且結構簡單、訓練也方便。最後再用主成份分析(Principal Component Analysis)處理所形成的概率神經網路(Probabilistic Neural Network)。實驗結果表示該演算法的準確度大於 90%，而且執行速度快，效率也高，是易於識別的實施(Wu, et al., 2007)。

在數學應用和計算期刊中所刊登的「基於葉片形狀的植物種類識別」文章有提到特徵可以利用葉片外形(長度和寬度的比率、矩形程度、葉片凸面的面積比及周長比、葉片球狀的直徑率、圓狀率、離心率及不變矩)方法抽取。再利用超平面分類器(Move Median Centers Hypersphere Classifier, MCC)來進行葉片的分類。最後將 MCC 及 1-NN(1-Nearest-neighbor method)及 K-NN(K-Nearest-Neighbor Method)進行比較的結果為 MCC 方法比 1-NN 和 K-NN 還節省儲存空間，而且在減少分類時間的情況下也不會把分類準確度給犧牲掉(Du, Wang, & Zhang, 2007)。

在「一個自動化葉片辨識系統」碩士論文中利用葉子的長度與寬度比率、矩形的程度、圓狀的比率、葉片的上下面積的比率及葉片左右面積的比率進行葉片特徵的抽取。接著利用 MBSAS(Modified Basic Sequential Algorithm Scheme)改進計劃，先使用長寬比(Asspect Ratio, AR)，矩形比(Rectangularity Ratio, RR)，圓比值(Circularity Ratio, CR)初步分類出形狀，再使用長寬比，矩形比，圓比值，上下比(UpAndDown Ratio, UDR)和左右比(LeftAndRight Ratio, LRR)的基本分類找出確切的形狀類型。最後透過準確率(Precision)和準備率(Recall)來檢測分類準確率，最高可達到九成(黃薰瑩, 2008)。

在電腦視覺與影像理解的期刊中所刊登的「基於相似性的葉片檢索計劃：加入形狀和葉脈特徵」文章中提到，葉片特徵可以用葉片的安排(交互生長、相對生長、輪狀生長及根部生長)來表示。另外葉脈也可以當作特徵抽取的條件，主要有羽狀、封閉狀、平行狀和掌狀四種類別，最後用類神經網路分類器分類葉脈的類型。這篇文章還提出一個新的自適應比較演算法(Adaptive Matching Algorithm)，是基於一個簡單的觀察，因為典型的葉片大致有對稱分佈的形狀，只要是相同的形狀圖片兩邊中心軸會一致。提出的方法和質心距離函數(Centroid-Contour Distance, CCD)、傅立葉描述子及曲率尺度空間描述(Curvature Scale Space Descriptor, CSSD)、不變矩及 MPP(Minimum Perimeter Polygons)進行相似性比較，證明所提出的計劃執行優於其他方法(Nam, et al., 2008)。

在數學應用和計算期刊中所刊登的「複雜背景中的葉片圖像植物分類」文章中提出葉片的特徵可以使用胡氏幾何矩(Hu geometric moments)和 Zernike moments 直角矩(Zernike orthogonal moments)來計算葉片的特徵。再使用 MCH(Moving Center

Hypersphere Classifier)進行分類，實驗出來的結果為分類的平均識別率有超過九成(Wang, et al., 2008)。

在系統和軟體期刊所刊登的「利用葉脈特徵爲了有效的葉子圖片檢索」文章中利用葉片的外形輪廓進行邊緣檢測，再透過葉子的葉脈特徵進行分類，平行葉脈的檢證，採用帕森視窗(Parzen Window)方法，從葉子的密度分佈特徵值及線性算出兩者之間的距離。再計算分支點行與列的密度，找出最高值的部分來檢查主葉脈是否存在。最後證明透過葉脈類型的分類能提高檢索性能，減少要查詢的圖片次數，提高檢索的正確性(Park, et al., 2008)。

「一個基於花與葉片之植物辨識系統」碩士論文中，特徵抽取分成花朵和葉片特徵兩部分，花朵特徵的抽取步驟，利用索貝爾運算(Sobel operators)取得邊緣點，接著使用 Otsu 方法取得二值化影像，利用 8 連通方法找出連接的部份有相同的顏色，再透過用 K 平均法(K-mean)方法來合併小區塊的顏色，得到的顏色則用 RGB 轉 HSV (色相，飽和度，明度)方法，形狀則是採用質心距離函數(Centroid-Contour Distance, CCD)來提取。至於葉片特徵的抽取步驟，先把彩色影像轉成灰階影像，得到的 256 色的灰階影像再用二值影像(Bi-level)轉換後過濾影像的雜訊，並做到旋轉、縮放和平移的不變性，當特徵抽取出來後再從長寬比、矩形比、清晰度比、上下比、左右比的方法來找出形狀的資訊。接著將特徵值進行正規化後來計算影像與資料庫影像之間的距離，再用 K-NN(K Nearest-Neighbor Method, K-最近鄰居法)找出相鄰的區域，最後計算出結果並排序順序找出相似的影像呈現給使用者。透過這樣的方法讓花卉識別系統可以達到接近 100%的準確率，而葉片識別系統的準確率也高達九成，將兩者結合檢索比單一檢索可以得到較高的準確率(楊志鴻, 2008)。

在電腦應用期刊中所刊登的「基於多尺度形狀分析的葉形識別系統」文章中，特徵抽取方面可以分爲曲率特徵參數，像是曲率尺度空間(CSS)、葉片規範鋸齒長度、葉片曲率尺度空間(CSS)極大值點集，以及葉片內部區域特徵可分爲離心率和似圓率。將資料庫中的每一張圖片作爲一個測試對，做 140 次葉片識別測試，系統每次測試檢索出數個相似葉片圖片，並由大到小的順序輸出前幾個葉片類別作爲系統輸出結果。除了第一次輸出爲輸入圖片不參與分類，其他輸出樣本皆使用 LSRS(Leaf Shape Recognition System)進行葉片識別和分類。並利用準確率(Precision)和準備率(Recall)作爲葉片識別的評價標準。實驗結果表明這個系統的方法能夠進一步提高葉形識別的準確率(Precision)和準備率(Recall)(孫永新, 2009)。

## 參、研究方法

### 一、前置處理

收集葉片圖片的過程中可能會發生圖片失真的狀況，或是葉片的旋轉，平移和縮放等不變性的問題，以及光線反射所產生雜訊的問題等等。爲了讓檢索結果的正確性可以提高，所以要先進行一個前置處理的動作，產生統一的操作標準，將會影響到檢索結果的問題先行排除，再來進行葉片檢索的流程。

本研究的葉片前置處理步驟如圖 1 所示，利用 Matlab 7.0 工具軟體將彩色影像轉成

二值化影像，有破損或缺洞的葉片影像會進行填補的動作，並剪去多餘的影像空白背景，除了減少多餘的計算程序外，也讓影像可以在正中間的位置，之後進行葉片影像的縮放，讓每種葉片的尺寸大小都固定一致。最後再利用 Matlab 工具軟體中由 edge 函式所提供的 Canny 邊緣檢測器，進行葉片的邊緣提取的動作，並將得到的結果儲存在資料庫中。

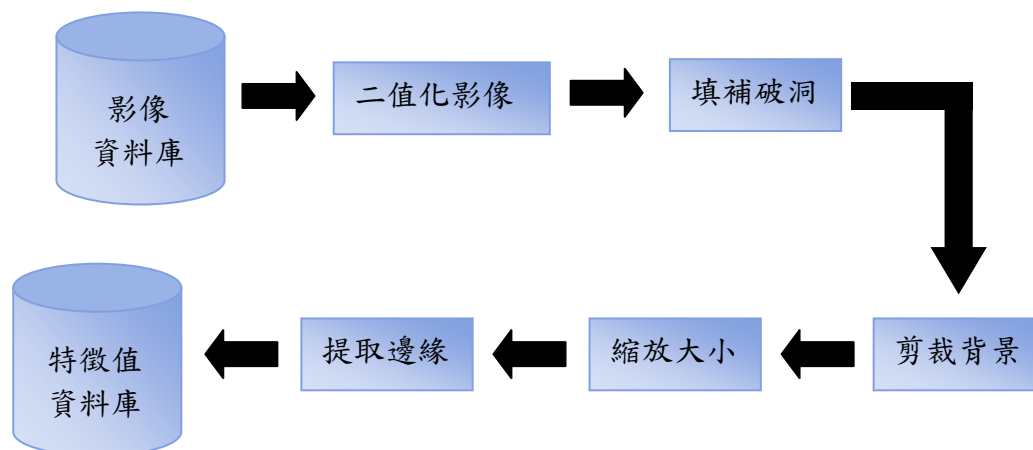


圖 1 葉片前置處理流程圖

## 二、特徵抽取

### (一) Zernike moments

Zernike moments 可用來描述葉片形狀的必要特徵，得到一組在內部圓周單位的複雜多項式矩形(Wei, Li, Chau, & Li, 2009)。Zernike 多項式在單位圓內為彼此正交，因此透過利用 Zernike moments，能夠取得對於圖像旋轉不變性的特徵，主因就在於 Zernike moments 之特徵為相互正交，使得擷取出之特徵為相互獨立，並且能取出對於圖像較有代表性之全域特徵，Zernike moments 有 1 到 15 的階數，隨著階數的增加 Zernike moments 對特徵之擷取效能會越高強，但是其擷取所花費的時間相對也會越多(李育強, 楊智雁, 呂學承, & 吳偉誠, 2010)。

### (二) 長寬比

長寬比中，葉片輪廓上的任一點通過中心位置的最短距離為最短軸，葉片輪廓上任一點通過中心位置的最長距離為最長軸，最長軸與最短軸的比率即為長寬比。

$$\text{長寬比} = \frac{\text{最長軸}}{\text{最短軸}} \quad (1)$$

### (三) 離心率

離心率為主要矩形的主軸長度  $P_{\max}$  與次要主軸長度  $P_{\min}$  之間的比率，數值會介於 0 到 1 之間。如果為 0，形狀會幾乎等於圓形，所以圓形的離心率為 0。越是呈線狀的物體其離心率則越接近 1。

$$\text{離心率} = \frac{P_{\max}}{P_{\min}} \quad (2)$$



#### (四)緊湊率

緊湊率是利用葉片周長對葉片重要區域的面積的比率，來判斷葉片的面積是否接近圓形，值會介於 0~1 間，若物體恰為圓形則緊湊率指標為 1。

$$\text{緊湊率} = 4\pi \frac{A}{P^2} \quad (3)$$

其中  $\pi$  為 3.14， $A$  為葉片重要區域的面積， $P$  則表示葉片的周長。

#### (五)質心距離

質心距離特徵是圖像邊緣投射到中心點的座標，由於圖像邊緣是投射到一個固定的圓單位，所以可產生一個所有質心距離的直方圖，影像邊界的距離直方圖是來表示  $H(I) = [h_1, h_2, \dots, h_b]$ ，其中  $h_i$  是在第  $i$  個距離的所有邊界點總數。因此總距離可以表示為：

$$D = \sum_{i=1}^b h_i d_i \quad (4)$$

其中  $d_i$  表示距離的平均值。

### 三、正規化

本研究所使用的長寬比、離心率、緊湊率、質心距離及 Zernike moments 的特徵值，因為他們的特性和特徵值領域皆不相同，如果在計算歐幾里德距離時，將不同特性的特徵值放在一起計算，可能會讓結果的正確性產生誤差。為了避免這樣的情況發生，所以本研究從葉片中抽取得到的特徵值，會先經過正規化的動作，正規化後的特徵值會介於 0 到 1 之間，大大縮減了原本特徵值的龐大範圍，讓計算更為簡便，也讓結果可以更穩健。假設取得的特徵值為  $X = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$ ，其中最大值表示為  $X_{Max}$ ，最小值為  $X_{Min}$ ，則正規化的公式為：

$$X_{\text{normalization}} = \frac{X_n - X_{Min}}{X_{Max} - X_{Min}} \quad (5)$$

### 四、特徵分層

本研究提出一個特徵分層的設計方式，將使用的長寬比、離心率、緊湊率、質心距離及 Zernike moments 特徵分開進行特徵抽取。採用植物學之系統與分類(中山大學生物系 & 南京大學生物系, 1990)一書中所介紹的數值分類學方式，因為本研究利用特徵抽取出的特徵值皆為數值，所以可以透過數值分類學的概念將所得到的特徵值進行分類，得到特徵分層的結果。至於在植物學(下)中有說明數值分類學的步驟，以下介紹數值分類學使用在葉片檢索中的基本步驟：

第一步：確定研究對象

進行數值分類工作的第一步，是要確定分類單位，本研究的研究對象就是葉片檢索中所採用的長寬比、離心率、緊湊率、質心距離及 Zernike moments 特徵。

第二步：選擇性狀

只有通過比較分類單位之間特徵的相似程度，才能確定這些分類單位是否相似。本研究採用葉片的形狀和邊緣，從這兩種性狀所代表的特徵來進行相似性測量。

### 第三步：性狀的編碼

性狀選出後，爲了下一步進行數學運算，必須以數值表示，本研究利用長寬比、離心率、緊湊率、質心距離及 Zernike moments 特徵，從葉片檢索中所抽取出來的特徵值，本身就已經是數值，所以可以直接進行下一步的計算，無須再轉換或編碼。

### 第四步：原始數據的變換和標準化

在進行運算之前需要先進行變換或標準化處理，因此在本研究的葉片檢索中，採用最小最大正規化的方式來進行各特徵值的正規化，讓不同標準的特徵值全都可以介於 0 和 1 之間，不但大大縮減了原本特徵值的龐大範圍，也讓葉片檢索的計算可以更爲簡便。

### 第五步：相似性概念的數量化

數值分類學中需要引進比親緣關係更廣泛的概念，也就是相似性的概念。相似性測量得到的數值來表示相似性分數。利用相似性分數可以讓植物的分類朝更穩定的方向發展，在分類的動作中也是一項很重要的指標。

### 第六步：分類運算

當從原始數據開始，經過很多步驟，算出了相似性分數的準備工作完成後，就要開始著手分類運算。爲了利用數值分類的概念，來進行特徵分層的設計。本研究採用階層集群分層法(Hierarchical clustering Method)來進行分類，此種方法通常使用樹狀結構或是分類樹狀圖來進行分析，優點是可以清楚了解群集的過程及群集與資料之間的關係，而不是只有得到最後的群集結果(丁一賢 & 陳牧言, 2006)。

經過數值分類學以及階層集群分層法的計算後，將本研究的五個特徵分成了三層，分別爲離心率、緊湊率及質心距離爲一個集群，Zernike moments 爲一個集群，長寬比則是另一個集群，如圖 2 所示。

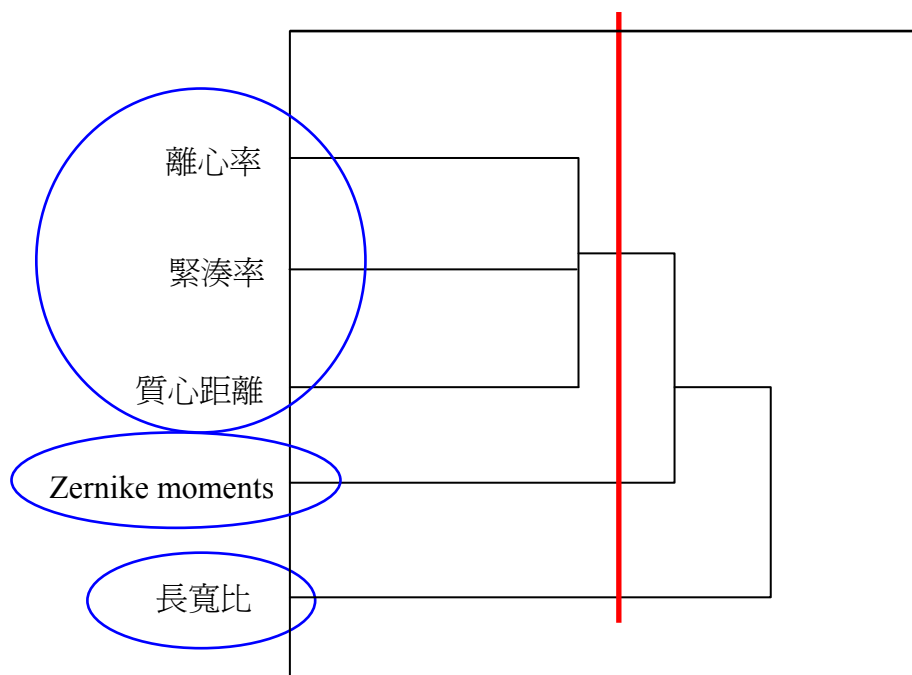


圖 2 特徵樹狀圖

爲了了解那一種分層的排列組合可以讓葉片檢索系統的準確率提升，因此進行各種特徵分層的計算，並進行比較，找出效率最高的分層組合，實驗組合共有六組，如表 1 所示。

表 1 不同分層排列組合

	組合 1	組合 2	組合 3	組合 4	組合 5	組合 6
第一層	離心率 緊湊率 質心距離	離心率 緊湊率 質心距離	長寬比	Zernike	長寬比	Zernike
第二層	Zernike	長寬比	離心率 緊湊率 質心距離	離心率 緊湊率 質心距離	Zernike	長寬比
第三層	長寬比	Zernike	Zernike	長寬比	離心率 緊湊率 質心距離	離心率 緊湊率 質心距離

使用 Matlab 工具軟體進行這六種分層組合的計算與比較後，可以得到檢索結果效能最好的分層組合爲第三種，如圖 3 所示。

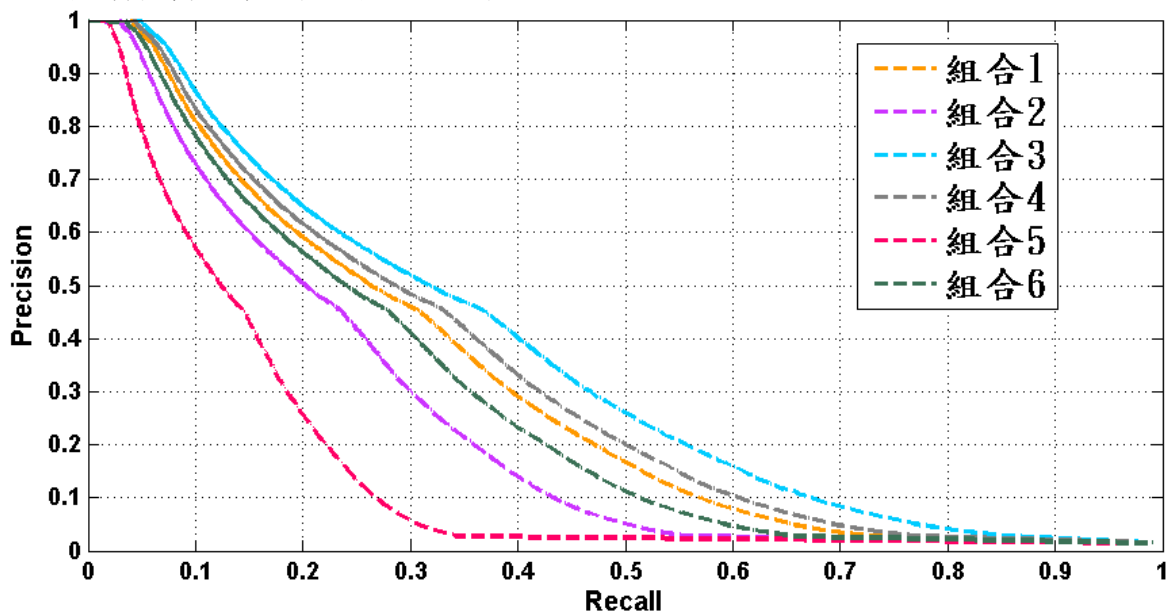


圖 3 各種葉片檢索分層結果比較

經由不同組合的特徵分層與加權方式後所得到的葉片檢索結果中，以第三種組合所得到的效率最高，因此本研究的葉片檢索將採用第一層爲長寬比的特徵值，第二層爲離心率、緊湊率和質心距離的特徵值，第三層則是使用 Zernike moments 特徵值的分層組合來進行葉片檢索的實驗和研究，如圖 4 所示。

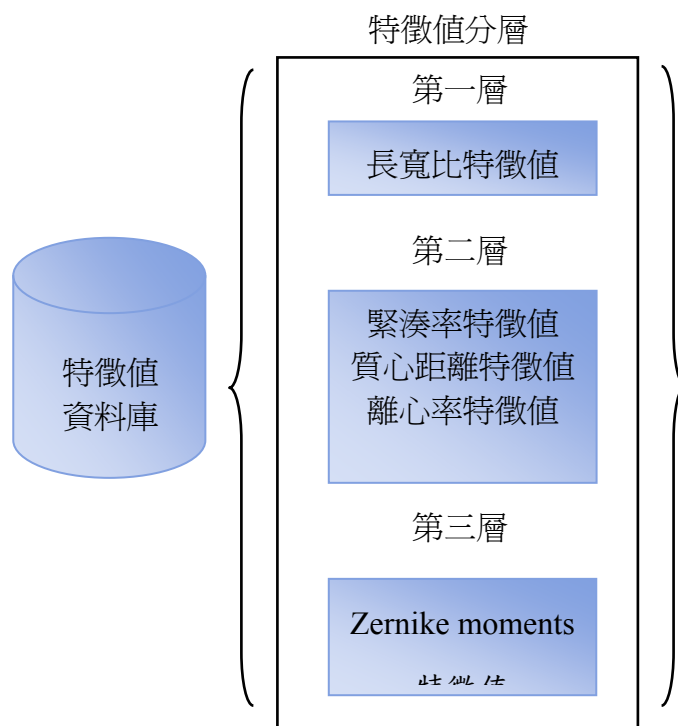


圖 4 特徵值分層示意圖

## 五、相似性測量

### (一)歐幾里德距離

假如從圖像抽取出來的特徵值是表示多維度的點，之間對應的多維度的點可以被計算出來，歐幾里德距離測量是在多維度裡最常被用來測量兩點之間的距離(Qian, Sural, Gu, & Pramanik, 2004)。

歐幾里德距離是分辨相似性的一種方法，根據任兩個資料來衡量之間相似性，用來判斷是不是同一種類的依據。以查詢目標為原點，原點  $D$  設為  $0$ ，與查詢目標越相似的距離( $D$ )就會越小，反之距離( $D$ )越大，相似度也會差的越多。而距離( $D$ )數值越小，它與查詢目標的相似度也就會越接近。在以形狀為基礎的葉片檢索中，就是以歐幾里德距離來計算兩個葉片之間的相似性(Nam, et al., 2008)。公式如下表示：

$$D(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (6)$$

$n$  = 維度

$x_i$  與  $y_i$  表示  $x$  與  $y$  的第  $i$  個屬性

### (二)權重計算

本研究提出一個新的權重計算方法，利用歐幾里德的距離當成計算權重的依據，因為歐幾里德距離和相似性之間是呈現對比的關係，當計算出來的歐幾里德距離數值越大，表示兩者特徵之間的相似性越小，反之如果歐幾里德距離的值越小，表示兩者之間

的相似性越大。從這樣的關聯中發現到，可以利用歐幾里德距離進行權重的計算，找出特徵值所需要分配的權重高低，因此透過這個概念讓本研究提出一個權重公式，表示如下：

$$W = (1-d)^i \quad (7)$$

其中  $W$  表示為權重， $d$  表示為特徵的歐幾里德距離， $i=1,2,3\cdots n$ ， $i$  為正整數。至於如何決定權重使用的次方大小，可以根據葉片檢索中的特徵值，所得到的歐幾里德距離計算來研究，本研究進行權重值不同次方的計算，分別採用權重使用 1 次方、2 次方和 3 次方來進行比較，如圖 5 所示。

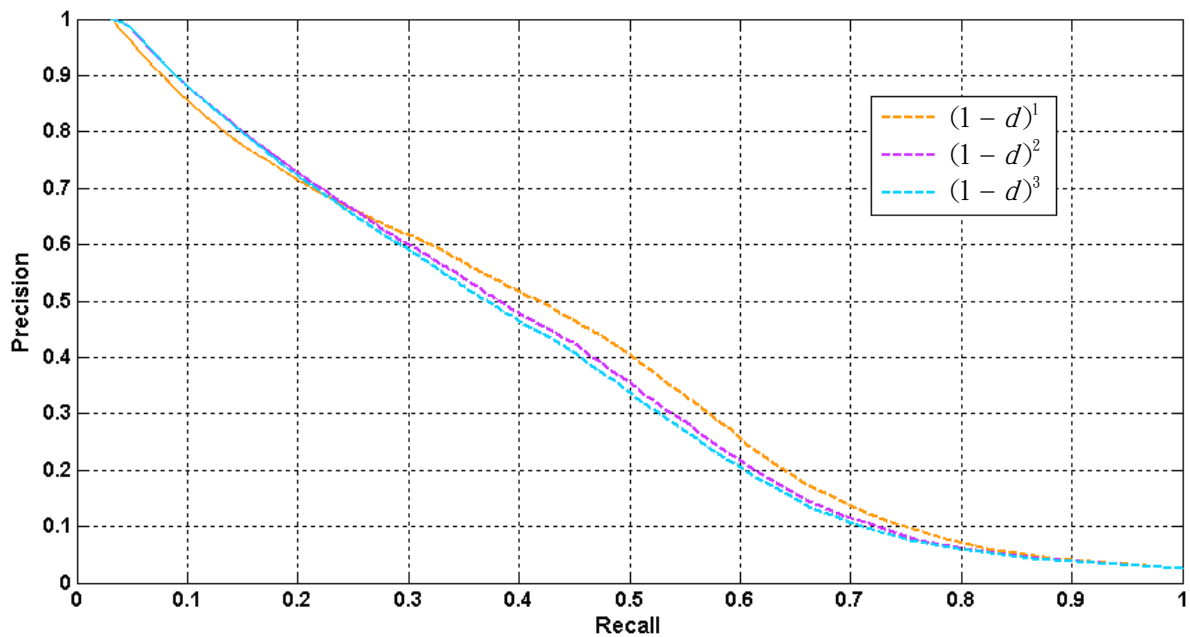


圖 5 歐幾里德距離與權重之間的關係

從圖 5 中可以看出，雖然葉片檢索一開始使用 3 次方的權重，葉片檢索效能會比權重使用 1 次方及 2 次方來得高，但是隨著使用的葉片資料越多，檢索效能會逐漸遞減，在圖 5 中間反而變成權重使用 1 次方的葉片檢索效能會比權重使用 2 次方及 3 次方還來得高。從上述的實驗結果，因此本研究決定葉片檢索系統中所使用的權重為  $W = (1-d)$ 。

當葉片檢索完成了歐幾里德距離計算與權重的計算後，就可以利用歐幾里德距離和權重一起計算出相似性分數，因此相似性分數公式設定為：

$$\text{相似性分數} = \sum_{i=1}^n D_i W_i \quad (8)$$

其中  $D$  表示歐幾里德距離， $W$  表示權重， $i = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

當葉片檢索抽取出特徵值，並完成了各特徵值的正規化後，就可以進行特徵分層的設

定，接著進行各特徵值之間的歐幾里德距離計算，利用歐幾里德距離和相似性之間的關係找出特徵值所要對應的權重大小，最後就可以進行葉片檢索的相似性分數計算。

因此在葉片檢索系統的分層加權中，第一層的長寬比特徵值所計算出來的歐幾里德距離，進行  $W = (1 - d)$  的權重公式計算，得到的權重值將當成使用在第二層離心率、緊湊率和質心距離特徵值的權重值，至於第二層離心率、緊湊率和質心距離特徵值所計算出來的歐幾里德距離，則會當成使用在第三層 Zernike moments 的權重值。將第一層長寬比特徵值所計算得到的歐幾里德距離，加上第二層離心率、緊湊率和質心距離特徵值所計算得到的歐幾里德距離乘於利用第一層的長寬比特徵值計算出來的歐幾里德距離所得到的權重大小，再加上第三層的 Zernike moments 特徵值所計算出來的歐幾里德距離乘於第二層離心率、緊湊率和質心距離特徵值計算出來的歐幾里德距離而得到的權重大小，這三者相加後會得到一個完整的相似性的分數，而本研究就是利用這個計算並加總後的相似性分數，對葉片進行相似性的測量，透過這樣的方式，最後可以得到一個檢索的結果。

爲了可以詳細說明相似性分數的計算，下文將要介紹一個關於相似性分數的計算過程。假設三片不同種類的葉片利用長寬比、離心率、緊湊率、質心距離及 Zernike moments 進行葉片特徵抽取，得到的特徵值結果如表 2 所示。

表 2 不同葉片的特徵值

種類	長寬比	離心率	緊湊率	質心距離	Zernike moments
A	0.0016	0.1953	0.9407	0.1832	0.2867
B	0.0048	0.3062	0.9189	0.3043	0.2076
C	0.0064	0.3495	0.9344	0.2206	0.2339

接著計算各種葉片特徵值之間的歐幾里德距離，其中離心率、緊湊率和質心距離因爲都屬於同一階層，所以歐幾里德距離可以合併計算，因此可以得到如表 3 的結果。

表 3 不同葉片特徵值的歐幾里德距離

	長寬比	離心率	緊湊率	質心距離	Zernike moments
A 與 B 的歐幾里德距離	0.0032	0.036967			0.0791
A 與 C 的歐幾里德距離	0.0048	0.0514			0.0528
B 與 C 的歐幾里德距離	0.0016	0.014433			0.0263

葉片檢索特徵分層加權設定第一層爲長寬比，第二層爲離心率、緊湊率和質心距離，第三層則是爲 Zernike moments，權重則採用前一層所計算的歐幾里德距離來進行計算，因此相似性分數的計算如下表示：

$$\text{相似性分數}_{AB} = 0.0032 + 0.036967 \times (1 - 0.0032) + 0.0791 \times (1 - 0.036967) = 0.116224$$

$$\text{相似性分數}_{AC} = 0.0048 + 0.0514 \times (1 - 0.0048) + 0.0528 \times (1 - 0.0514) = 0.106039$$



相似性分數 $_{BC} = 0.0016 + 0.014433 \times (1 - 0.0016) + 0.0263 \times (1 - 0.014433) = 0.041931$

計算完相似性分數後並排序大小，當相似性分數越高，表示兩者的葉片相似程度越大，因此從上面的計算結果來看，表示 A 葉片和 B 葉片的相似性程度比其他的葉片還高。

## 六、葉片檢索系統

葉片檢索系統從葉片的收集，利用二值化、填補破洞、剪裁背景、縮放大小到提取邊緣的前置處理動作，還有利用長寬比、離心率、緊湊率、質心距離及 Zernike moments 的特徵抽取，得到描述葉片資訊的特徵值，將這些特徵值進行正規化的動作，由於這些特徵值本身所代表的意義也不同，衡量標準也不一樣，特徵抽取的結果最後會反映在特徵值的大小和變化的幅度，這種差異便影響分類運算的結果。因此在進行各個特徵值的相似性比較前，要先進行正規化的轉換或標準化處理動作，正規化後的特徵值會介於 0 到 1 之間。

本研究提出一個利用數值分類法來提出葉片檢索系統的特徵分層概念，在相似性測量的部分則是使用歐幾里德距離的計算，並利用歐幾里德距離與相似性之間的對比關係，提出一個權重計算方法，權重公式為  $W = (1 - d)$ 。再使用經過特徵分層的葉片特徵值，進行歐幾里德距離及權重的計算，完成葉片檢索系統的相似性測量。因為葉片檢索系統的執行畫面如圖 6 所示。

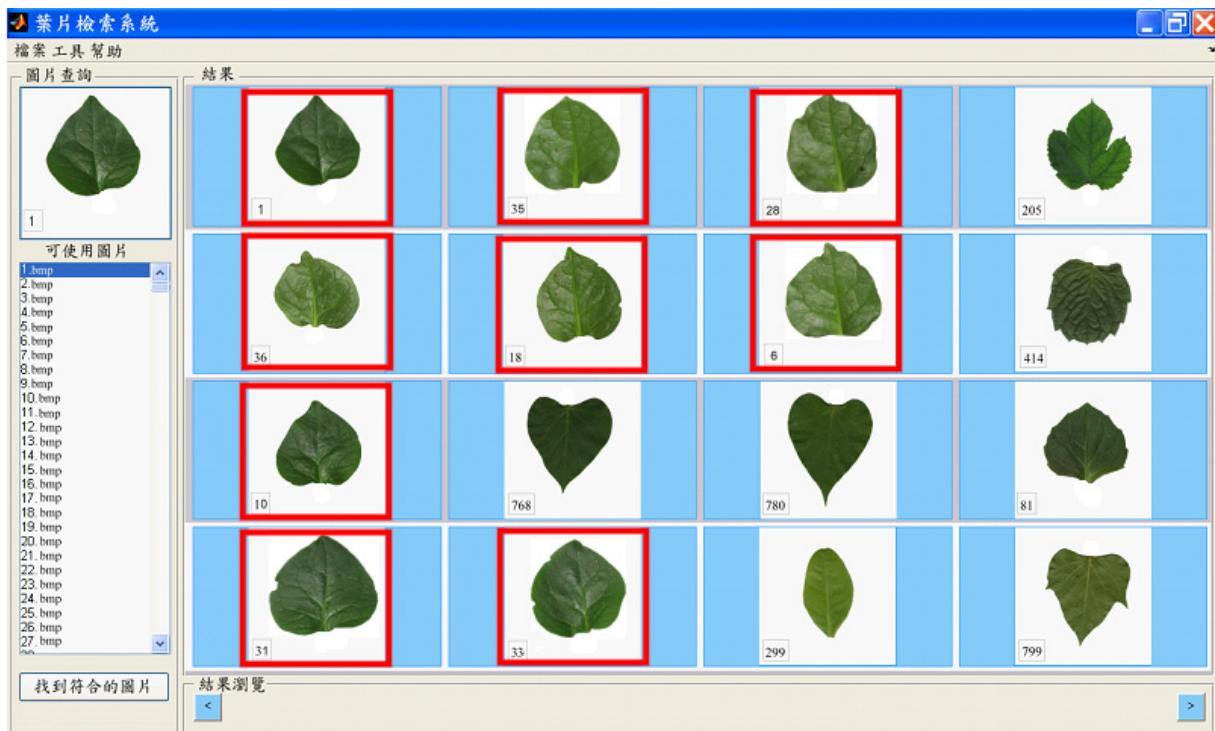


圖 6 葉片檢索系統畫面

圖 6 為葉片檢索系統檢索結果產生的畫面，經由葉片檢索系統的處理，找出與查詢圖片相似的葉片，並將檢索的結果呈現在系統右邊欄位。經由本研究提出的葉片檢索系統架構進行葉片檢索所得到的檢索結果。從圖 6 中可以看到，當使用者選擇第一張葉子

圖片進行葉片的檢索，得到的 16 張葉片檢索結果圖片中，有九張圖片和查詢圖片是同種類的葉片。

## 肆、實驗結果

本研究依據彩色圖鑑景觀植物(章錦瑜, 1990)中所提供的葉片種類來進行葉片的收集，一共收集到 32 種的植物葉片，每種類有 40 張相同葉片，合計共 1280 張葉片來建立資料庫內的影像。收集到的葉片利用數位相機以及掃描器，將葉片轉為數位影像。

### 一、績效評估

Recall 和 Precision 可以用來表示損益關係。Precision 是指在所有模式預測為正類別的資料中，有多少比例恰好是正類別的資料，其值越高表示被誤判的比例愈低，而 Recall 是指實際上為正類別的資料中，同時也被模式判為正類別的比例，Recall 的值愈高，表示誤判的比例也較低(Han & Kamber, 2008)。其公式如下表示：

$$\text{Recall} = \frac{\text{葉片檢索中相關的葉片數量}}{\text{相關的葉片數量}} \quad (10)$$

$$\text{Precision} = \frac{\text{葉片檢索中相關的葉片數量}}{\text{檢索的葉片數量}} \quad (11)$$

### 二、實驗結果

爲了證明提出的特徵分層利用歐幾里德距離與相似性對比關係的加權方法是有效的，的確可以提高葉片檢索的準確性，因此本研究進行實驗測試，與未利用特徵分層及加權的方法進行比較，可以得到如圖 7 的結果。與有利用特徵分層但未使用加權的方式進行比較可以得到如圖 8 的結果。本研究還與葉片分類(李佳玲, 2003)裡採用的特徵分層與加權方式進行比較，結果可以得到如圖 9、圖 10 的結果。



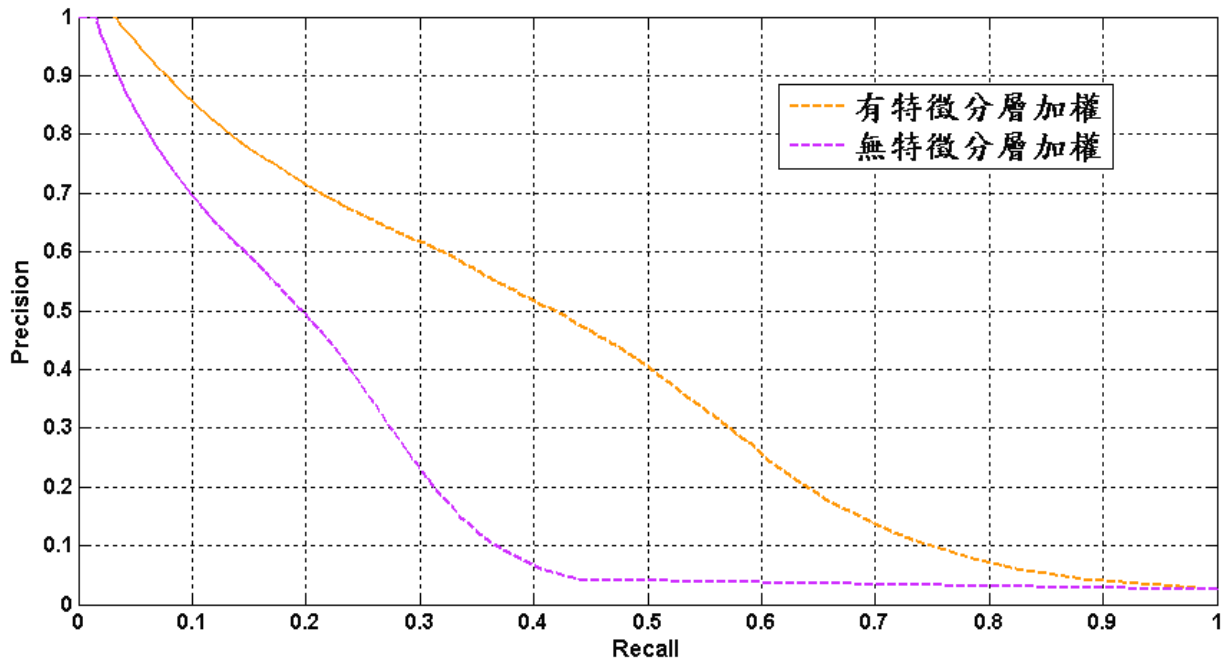


圖 7 特徵分層加權與未使用特徵分層加權方式績效評估

從圖 7 中可以看出，使用分層加權的方式來用在葉片檢索，得到的績效會比未使用長寬比、離心率、緊湊率、質心距離、Zernike moments 的特徵分層加權來得好。因此從這樣的實驗結果可以得知，當葉片檢索時將長寬比、離心率、緊湊率、質心距離、Zernike moments 特徵進行分層並使用加權方式時，是可以用來描述葉片的相關資訊，也可以提高葉片檢索的績效，讓檢索的結果有更好的表現。

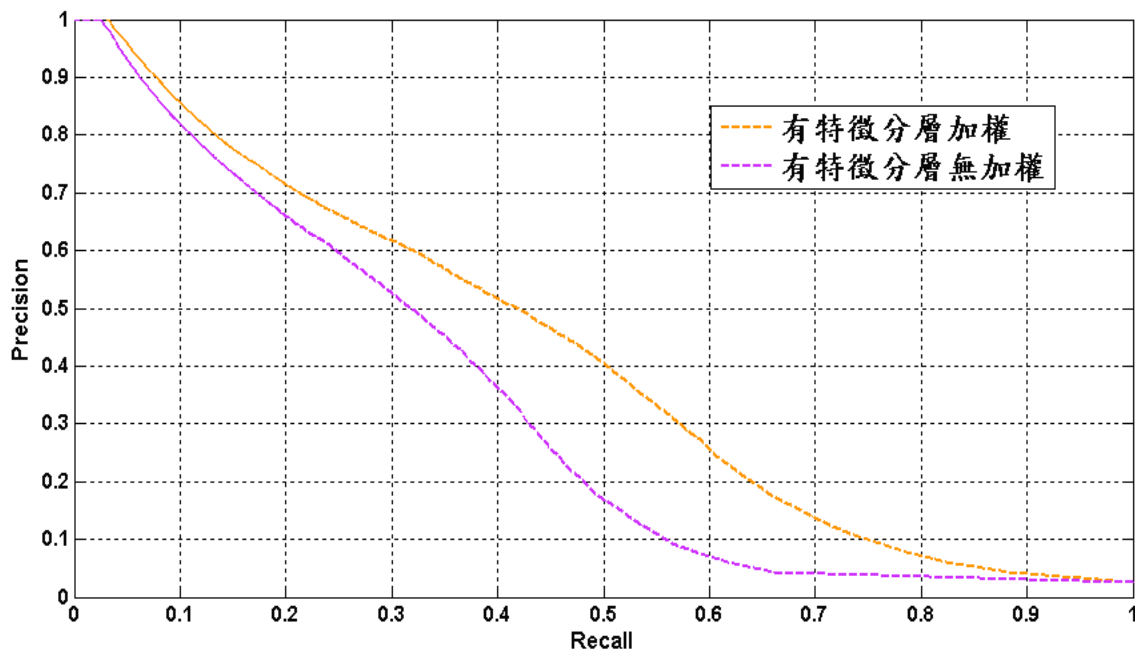


圖 8 特徵分層加權與使用特徵分層未加權方式績效評估

從圖 8 中可以看出，使用長寬比、離心率、緊湊率、質心距離、Zernike moments 的特徵來進行分層加權的方式，用在葉片檢索方面，得到的績效會比有使用長寬比、離心率、緊湊率、質心距離、Zernike moments 的特徵分層但並未使用加權方式的葉片檢索來得高。因此從這樣的實驗結果可以得知，當葉片檢索時將長寬比、離心率、緊湊率、質心距離、Zernike moments 進行分層並使用加權方式時，是可以用來描述葉片的相關資訊，也可以提高葉片檢索的績效，讓檢索的結果有更好的表現。

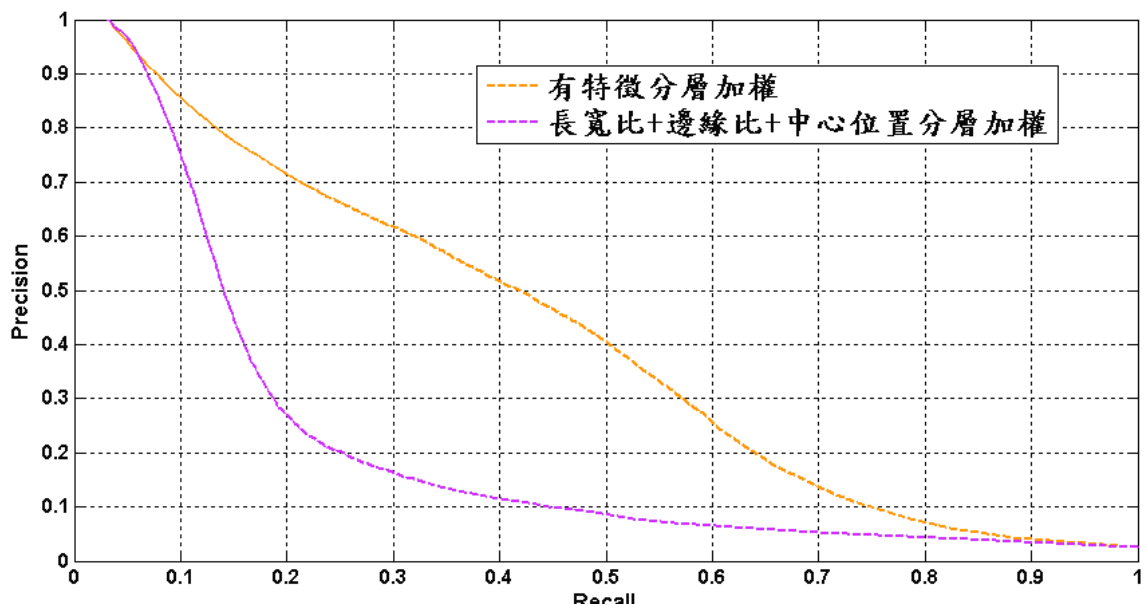


圖 9 本研究加權方式與長寬比、邊緣比及中心位置加權方式績效評估

從圖 9 中可以看出，本研究採用長寬比、離心率、緊湊率、質心距離、Zernike moments 的特徵來進行分層並加權的方式，用在葉片檢索方面，得到的績效會比使用長寬比、邊緣比及中心位置分層加權方式來得好，雖然本研究提出的特徵分層加權方式一開始的績效並不如使用長寬比、邊緣比及中心位置分層加權方式來得高，但是利用歐幾里德距離和相似性之間的對比關係逐次加權後，的確有提高檢索的準確率，當檢索的資料量越大，就能讓使用歐幾里德距離和相似性之間的對比關係的加權方式檢索結果更好，進而慢慢提升葉片檢索的績效，讓使用特徵分層並加權方式的葉片檢索，檢索結果可以越來越好。

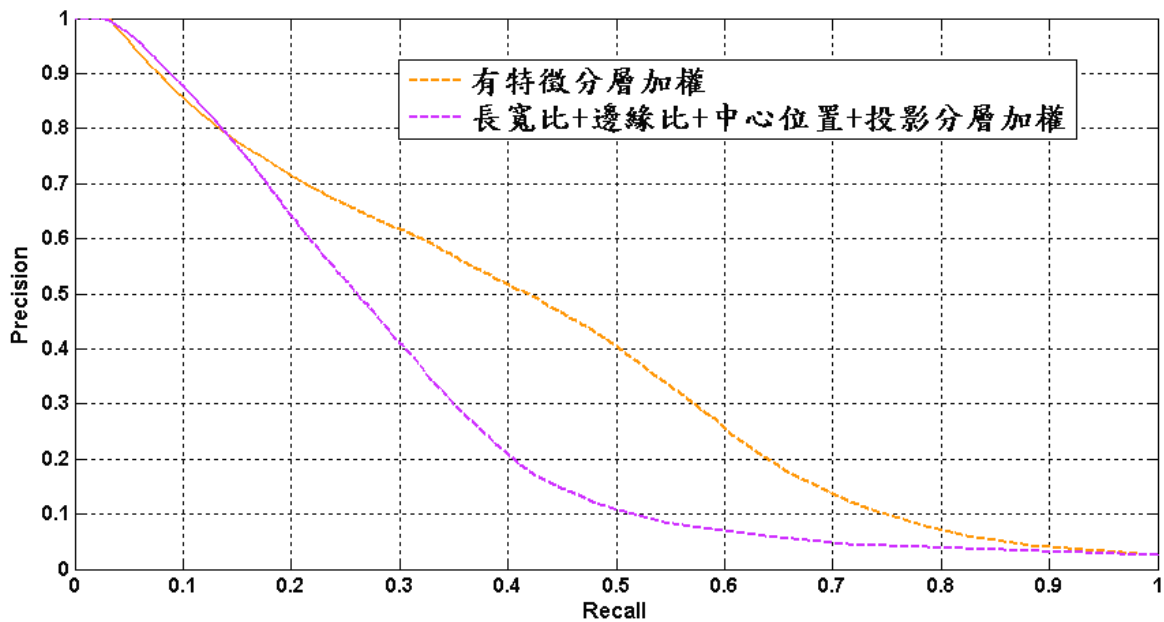


圖 10 本研究加權方式與長寬比、邊緣比、中心位置及投影方式績效評估

從圖 10 中可以看出，本研究採用長寬比、離心率、緊湊率、質心距離與 Zernike moments 的特徵來進行分層並加權的方式，用在葉片檢索方面，得到的績效會比使用長寬比、邊緣比、中心位置及投影的分層加權方式來得好，雖然本研究提出的特徵分層加權方式一開始的績效並不如使用長寬比、邊緣比、中心位置及投影分層加權方式來得高，但是利用歐幾里德距離和相似性之間的對比關係逐次加權後，的確有提高檢索的準確率，當檢索的資料量越大，就能讓使用歐幾里德距離和相似性之間的對比關係的加權方式檢索結果更好，進而慢慢提升葉片檢索的績效，讓使用特徵分層並加權方式的葉片檢索，檢索結果可以越來越好。

## 伍、結果討論

### 一、特徵分層

本研究採用數量分類學的概念來進行葉片檢索系統的設計，主要是因為本研究採用的長寬比、離心率、緊湊率和 Zernike moments 針對不同葉片所要提取的條件會不一樣，若將所有特徵一起進行抽取可能無法讓特徵的優點完全發揮出來，若加上特徵分層的設計，讓葉片檢索系統可以發揮更大的特色，也可以達到良好的檢索結果，而得到一個較高的準確率。

### 二、權重計算

本研究所提出的葉片檢索方式，將特徵進行分層後，再進行權重的計算。權重設定方式是利用歐幾里德距離與相似性對比關係而得到一個加權的方法，透過這樣的設定可以隨著不同葉片所抽取得到的特徵值而計算歐幾里德距離，所以權重值是可以隨著特

徵值所計算的歐幾里德距離而有所變動。本研究決定權重設計可以有所變動的原因在於，葉片檢索中要抽取的葉片影像大小和長寬等條件並不一致，若採用固定的權重計算方式，可能無法完整表現葉片檢索所要表達的需求，爲了讓葉片檢索的特徵抽取得到完整的特徵值，讓葉片檢索的效能達到更好，所以希望透過權重做一個適度的調整，增加葉片檢索的績效，得到更好更精確的檢索結果。

經過經過本研究所提出的特徵分層和利用歐幾里德距離與相似性關係之間的權重來進行葉片檢索的實驗測試，得知本研究提出的方式可以讓葉片檢索得到良好的檢索結果，在績效評估方面，Precision 和 Recall 皆可以高達 95%以上，表示本研究提出的特徵分層及利用歐幾里德距離與相似性關係之間的權重計算的方式的確可以讓葉片檢索發揮更大的功用，也讓葉片檢索系統可以達到良好的檢索結果。

### 三、與其他方式比較

本研究所提出的葉片檢索方式，與葉片分類(李佳玲, 2003)中所提出的長寬比、邊緣比、中心位置的分層加權方式，以及長寬比、邊緣比、中心位置和投影的分層加權方式，分別進行 Precision 和 Recall 的績效評估比較。從實驗結果中可以發現本研究提出的特徵分層並利用歐幾里德距離與相似性對比關係的權重計算方法，一開始時得到的葉片檢索績效評估與準確率都沒有比葉片分類(李佳玲, 2003)所提出的長寬比、邊緣比、中心位置的分層加權方式，以及長寬比、邊緣比、中心位置和投影的分層加權方式來得高。會有這樣的情形發生是因爲本研究所提出的加權方式是利用歐幾里德距離和相似性之間的關係來設定，所以會隨著特徵值的歐幾里德距離進行計算，因此權重值是會隨著不同葉片特徵抽取所得到的特徵值而有所變動。至於葉片分類(李佳玲, 2003)所提出來的權重設定都是給予固定的數值，並不會有所變動，所以本研究所提出的葉片檢索分層及利用歐幾里德距離與相似性對比關係的權重計算方法在一開始的葉片檢索績效評估並不比葉片分類(李佳玲, 2003)所提出的葉片檢索分層權重計算方法來得好。但隨著葉片檢索時得到的檢索結果越多，就會發現本研究所提出的葉片檢索分層及利用歐幾里德距離與相似性對比關係的權重計算方法，會使得葉片檢索的績效評估結果逐漸提高，所以當葉片檢索時得到的檢索結果越多，就可以逐漸調整每項葉片特徵抽取的權重，進而逐步提高葉片檢索的準確性，所以從以上的實驗結果，可以得到本研究所提出的葉片檢索分層及利用歐幾里德距離與相似性對比關係的權重計算方法，確實是可以有效讓檢索結果更好，也可以提高準確性。

### 陸、結論

透過葉片本身的可提供的條件，例如葉子的形狀、邊緣等具代表的特徵來進行檢索。目前常用於葉片影像檢索的長寬比、離心率、緊湊率、質心距離與 Zernike moments 特徵，都是可以有效描述圖片的區域形狀，透過對於影像的描述能力以及抗旋轉、平移和不變性的特質，可以幫助葉片檢索做更進一步的有效特徵抽取。

另外本研究利用數值分類學的概念進行特徵分層的設計，將使用的特徵分成三個階層後進行歐幾里德距離的計算。最後本研究提出一個新的相似性測量概念，就是利用特徵的歐幾里德距離與相似性之間對比的關係，得到一個權重的公式，利用這個公式來計算葉片檢索中的權重，再透過特徵的分層和權重的計算來進行葉片檢索的相似性測

量。

最後利用特徵分層的設計方式，與歐幾里德距離與相似性之間的對比關係所提出的權重計算，建立起葉片檢索系統的架構，先將抽取出來的葉片特徵量化成特徵值，再進行特徵分層和權重計算的相似性測量，最後找到相似的葉片，並將檢索結果完整呈現給使用者。透過有特徵分層與權重計算的葉片檢索系統，不但能讓使用者快速查詢出葉片的種類，也可以找到想要瞭解的葉片資訊。

從實驗結果來看，葉片檢索系統中使用特徵分層和歐幾里德距離與相似性對比關係的加權方法準確率可以高達 95% 以上。與未使用特徵分層並利用歐幾里德距離與相似性對比關係的加權方法進行比較，從結果來看，特徵分層並利用歐幾里德距離與相似性對比關係的加權方法比未使用特徵分層並利用歐幾里德距離與相似性對比關係的加權方法，的確可以讓葉片檢索的準確性更高，也讓檢索的效果更好。

另外在葉片檢索系統中使用特徵分層和歐幾里德距離與相似性對比關係的加權方法與有使用特徵分層卻沒有使用歐幾里德距離與相似性對比關係的加權方法的比較，從檢索的結果來看，特徵分層並利用歐幾里德距離與相似性對比關係的加權方法也比有使用特徵分層但沒有使用歐幾里德距離與相似性對比關係的加權方法，也可以讓葉片檢索的準確性更高，也讓檢索的效果更好。

最後與葉片分類(李佳玲, 2003)所提出的特徵分層和加權方式進行比較，利用長寬比、邊緣比及中心位置的特徵加權方式，以及利用長寬比、邊緣比、中心位置及投影的特徵加權方式，與本研究所提出的特徵分層並利用歐幾里德距離與相似性對比關係的加權方法進行績效評估的判斷，雖然在一開始本研究所提出的特徵分層並利用歐幾里德距離與相似性對比關係的加權方法，並沒有葉片分類(李佳玲, 2003)所提出的特徵分層與加權方法來得高，但是經過葉片檢索結果的增加，再加上利用歐幾里德距離與相似性對比關係的可以變動調整權重的計算方法後，讓葉片檢索的結果可以達到更好，也讓葉片檢索的準確率可以提高。

未來的研究方向，希望可以加入葉脈的特徵抽取，並找出更多有助於葉片檢索系統的相似性測量方法，希望可以提高葉片檢索系統的準確性，達到更好的葉片檢索結果。

## 參考文獻

- [1] 植物學(下). <http://rcs.wuchang-edu.com/Special/Subject/CZSW/SWTS/ZWX2/>
- [2] 丁一賢, & 陳牧言. (2006). *資料探勘*. 滄海出版社.
- [3] 中山大學生物系, & 南京大學生物系. (1990). *植物學之系統與分類*
- [4] 章錦瑜. (1990). *彩色圖鑑景觀植物(一)*. 台北市.
- [5] 李佳玲. (2003). *葉片分類*. 元智大學, 桃園縣.
- [6] 李育強, 楊智雁, 呂學承, & 吳偉誠. (2010). 運用內部切割提昇 Zernike Moments 之特徵辨識效能. *第九屆離島資訊技術與應用研討會摘要論文集*.
- [7] 周振傑. (2007). *以模糊函數量化葉片特徵之植物檢索系統*. 南台科技大學, 台南縣.
- [8] 徐佳民. (2007). *葉片檢索技術之研究*. 國立臺中技術學院, 台中市.
- [9] 孫永新. (2009). 基于多尺度形狀分析的葉形識別系統. *計算機應用*, 29(6), 4.
- [10] 黃薰瑩. (2008). *一個自動化葉片辨識系統*. 國立交通大學, 新竹市.
- [11] 楊志鴻. (2008). *一個基於花與葉片之植物辨識系統*. 國立交通大學, 新竹市.
- [12] Du, J.-X., Wang, X.-F., & Zhang, G.-J. (2007). Leaf shape based plant species recognition. *Applied Mathematics and Computation*, 185(2), 883-893.
- [13] Nam, Y., Hwang, E., & Kim, D. (2008). A similarity-based leaf image retrieval scheme: Joining shape and venation features. *Computer Vision and Image Understanding*, 110(2), 245-259.
- [14] Park, J., Hwang, E., & Nam, Y. (2008). Utilizing venation features for efficient leaf image retrieval. *Journal of Systems and Software*, 81(1), 71-82.
- [15] Qian, G., Sural, S., Gu, Y., & Pramanik, S. (2004). Similarity between Euclidean and cosine angle distance for nearest neighbor queries. *The 2004 ACM symposium on Applied computing*.
- [16] Smeulders, A. W. M., Worring, M., Santini, S., Gupta, A., & Jain, R. (2000). Content-based image retrieval at the end of the early years. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(12), 1349-1380.
- [17] Wang, X.-F., Huang, D.-S., Du, J.-X., Xu, H., & Heutte, L. (2008). Classification of plant leaf images with complicated background. *Applied Mathematics and Computation*, 205(2), 916-926.
- [18] Wei, C.-H., Li, Y., Chau, W.-Y., & Li, C.-T. (2009). Trademark image retrieval using synthetic features for describing global shape and interior structure. *Pattern Recognition*, 42(3), 386-394.

- [19] Wu, S. G., Bao, F. S., Xu, E. Y., Yu-Xuan, W., Yi-Fan, C., & Qiao-Liang, X. (2007, 15-18 Dec. 2007). A Leaf Recognition Algorithm for Plant Classification Using Probabilistic Neural Network. *2007 IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology*.





# 使用浮水印保護乳房 X 光影像

## Protection of Mammograms Using Watermarking

郭枝盈<sup>1</sup>

Chih-Ying Gwo

清雲科技大學資訊管理系

助理教授

ericgwo@cyu.edu.tw

魏嘉宏<sup>2</sup>

Chia-Hung Wei

清雲科技大學資訊管理系

助理教授

李岳<sup>3</sup>

Yue Li

南開大學軟件學院中國

助理教授

張隆君<sup>4</sup>

Lung-Chun Chang

清雲科技大學資訊管理系

助理教授

### 摘 要

當醫療影像資料庫透過醫療影像儲傳系統連接在一起時，這些醫療影像可能遭受安全風險。如果醫學圖像是非法取得或如果惡意地改變其內容，使病人的隱私或健康資訊因而外露。為了解決這個問題，本研究提出了一個乳房 X 光保護的方法，使得病人的信息在不改變其重要的細節的條件之下隱藏於乳房 X 光片裡。特別是本研究的方法還可以直接地提取隱藏信息而且不需原始圖像的任何援助。本研究還採用了浮水印技術蓋住影像內容，防止非法和惡意修改乳房 X 光片的內容。當有授權的使用者欲觀看乳房 X 光片內容時，這一浮水印則可以移除。

**關鍵詞：**醫療影像儲傳系統、浮水印、資料隱藏術、乳房 X 光片、影像保護

## Abstract

As medical image databases are connected together through picture archiving and communication systems, those medical images may suffer from security risks. If a medical image is illegally obtained or if its content is malevolently changed, the patient's privacy or health information to be provided will certainly be undermined. To deal with this problem, this study proposes a method for mammogram protection, which hides patients' information in mammograms without changing their important details. In particular, the proposed method can extract the hidden information from mammograms without the aid of the original images. This study also utilizes a watermarking technique, which masks the contents of the mammogram, for providing mammograms protection against illegal access and malevolent modifications. This watermark can be removed to reveal the masked mammogram when authorization for viewing is obtained.

**Keywords:** Picture Archiving and Communication Systems, Watermarking, Steganography, Mammograms, Image Protection

## 壹、緒論

醫療影像儲存通訊系統結合醫院部門資訊系統的醫學影像和介面，爲了管理和儲存分佈在放射科、醫生、專家、診所和影像中心的圖片。然而當醫學影像資料庫經由醫學影像存檔與通信系統(Picture archiving and communication systems, PACS)被連結在一起，如果他們的內容在某些部份沒有被隱蔽，這些醫學影像可能會受到安全的衝擊。如果醫學影像是非法獲得或內容被惡意竄改，病人的隱私或提供的健康管理就有可能會被破壞。爲了解決資訊偽裝這個問題，隱藏一個機密訊息在圖片內，提取的目的在於可以應用在醫學影像存檔與通信系統醫學影像的保護。應用資訊偽裝在醫學影像仍然面臨著以下的挑戰：

- 一、在醫學影像中嵌入訊息的方法不應該改變任何醫學影像的重要資訊，進而影響後續的應用，例如電腦輔助診斷。
- 二、資訊偽裝方法應該能夠從隱藏的圖片提取隱藏的資訊，而不需憑藉原始的圖片。

這項研究涉及到數位影像隱藏和保護，可達成的方法包括浮水印和資料隱藏，即在數位影像中嵌入訊息[1]，由於人類的視覺系統對於微小的圖片變化是不靈敏的，圖片稍加修改來嵌入訊息而不被察覺。一個浮水印方法可以修改空間區域內的圖片畫素值[2-4]或轉換區域的係數[5-7]。這種修改必須不影響到影像裡的重要內容，只能讓有授權使用者應用相對應的資訊提取演算法，藉由取出和確認認證訊息，使用者可以識別圖片所有權和驗證圖片的完整內容。只要圖片中有浮水印的存在，數位影像鑑定技術就可以保護圖片。因此數位影像鑑定技術可以提供圖片的持續保護。

本研究的目標如下：

1. 提出一個新的隱藏乳房 X 光照片的資訊方法。這個方法可以在不改變其重要細節下隱藏乳房 X 光照片資訊。特別是這種方法可以從偽裝的乳房 X 光照片中提取隱藏的資訊而不需要原始圖片才可以使用。
2. 能夠隱藏乳房 X 光照片內容的浮水印技術被提出來，防止乳房 X 光照片被非法存取和惡意修改。當得到有授權的需可時，浮水印就會被移除而展現被隱藏的乳房 X 光照片。
3. 資訊偽裝和隱藏內容在乳房 X 光照片傳輸和醫學影像存檔與通信系統的儲存是可相容的。

## 貳、文獻探討

資訊偽裝和浮水印保護乳房 X 光照片最主的技術爲浮水印，我們將於探討浮水印的類型與其方法。浮水印可以分爲下列三種類型：

### 一、強健型浮水印(Robust Watermarking)

這一型的浮水印方法可以從常見的符號程序下提取正確的浮水印，運用和攻擊像是幾何變形、共謀偽造[8]。

基於展頻方法是強健型浮水印中最廣泛應用的技術[7]，在這些方法中先將原始圖片轉成頻域，然後浮水印插入到每個高強健係數中[7,9]，或是只插入低扭曲的高頻係數[10]。反向轉換後，浮水印會擴散覆蓋到頻率全部範圍，形成高穩健的結果。Cox 等人提出在 DCT 領域中的基於展頻浮水印的工作過程[7]，浮水印插入所有頻率的係數，是

直接將浮水印加到係數或使用振幅調變因素來線性轉換係數。浮水印可以從檢查收到圖片和浮水印資料庫中的浮水印之間的關聯性來取得，浮水印導致最高的關聯，被定義為嵌入式浮水印，基於 Cox's 的方法，Altun 等人[11]結合幾種方法來建立最理想的基於展頻浮水印技術，包括嵌入強度最大化方法、最小頻率加權知覺扭曲方法和最小浮水印紋路能見度方法。Gkizeli 等人[12]提出由最大限度的訊號干擾雜訊比決定嵌入最大值強度的方法。線性的轉換是用於浮水印的調整，來達到最大訊號干擾雜訊比。結果在 Gkizeli 的方法在檢測中達到一個很低的誤差率，意味著這個方法包含更高的穩健性。

另一種擴張範圍的技術[13]提出由恰辨差(JND)來支援最小浮水印紋路能見度，JND 是測量人類視覺系統的實驗，是與內容有關的功能，說明最大量的資料可以被嵌入圖片而不被人類發現。在[13]，一個基於非線性函數的恰辨差，這個函數調整浮水差達到最小浮水印紋路能見度較低的扭曲和較高的穩健性。除了上述說明的有效的嵌入演算法，Maity 等人[14]能有效的由基於展頻方法的演算法來提取浮水印，為了達到低錯誤的比率，進而提高檢測的穩健性。在他們方法的提取階段，最小均方誤差(MMSE)演算法是應用在評估被篡改的浮水印圖片雜訊強度，然後一個模糊邏輯函數是機器學習函數，用來計算浮水印變異數的決策。變異數決定的價值排序為非常強、強、弱和非常弱。然後浮水印對應的決策變異量價值是非常強，定義成嵌入浮水印。結果 Maity 的提取方法達到更低的檢測錯誤率，這意味著有更高的穩健性。

除了 DCT 領域的方法，為了達到較好的效能，基於展頻方法可以應用在其他轉換領域[15,16]。例如 Ghouti 等人[15]提出基於適性展頻方法在穩定的小波轉換領域，由適性知覺模型的浮水印因而在變形和穩健性之間達到好的平衡，在此同時 Kumsawat 等人[16]為了確定最好的嵌入強度參數，使用遺傳演算法訓練圖片的浮水印，然後在離散多層小波轉換領域的最佳效能嵌入浮水印。

基於展頻技術在多媒體標誌已經被廣泛使用在嵌入少量浮水印位元，基礎量化在大量浮水印方法的鑑定更是常見[17]。由 Chen[18,19]提出一種流行的技術，通常被稱為量化索引值調變(QIM)，他們的技術是考慮是以量化為基礎的浮水印方法初期工作，QIM 選擇一個量化步驟的範圍，使用大概的特徵，可以是像素的強度值或轉換領域的係數，最接近的量化偶數倍數嵌入浮水印的位元"0"，奇數倍數嵌入浮水印的位元"1"。要從扭曲的圖片雜訊中提取 QIM 嵌入浮水印，原始 QIM 方法是應用在最近鄰居法規則[20]，確定從量化值到接收的數值的最相近值，假如量化值是一個甚至多個量化步驟，就示浮水印位元為"0"，反之亦然。

除了這個最近鄰居法規則，其他提取方法是由 QIM 被開發為了增強穩健性和降低提取的錯誤率。假設雜訊隨著 Cauchy 和 Gaussian 分佈，Cauchy[21]檢測器是標誌檢測概率模型，應用於 QIM 嵌入浮水印的檢測[22]。在其他的方法[23]，一個訓練序列適合使用傅立葉分析來估計不規則的雜訊，然後從接收到的資料減去雜訊。這個方法經由降低浮水印提取的錯誤率來提高穩健性。

在基於量化的浮水印[17]，扭曲控制和穩健性是相衝突的因素，一般來說較多的量化步驟確保更高的穩健性，然而也會導致較高的嵌入扭曲。為了減少穩健性成本的嵌入扭曲，扭曲補償量化索引值調變(DCQIM) [24]，開發對於原始強度的量化數值稍微修改當作補償，這種補償的距離是由量化值和原始值之間的歐氏距離決定，更長的距離導致更大的補償，反之亦然。

另一種扭曲補償的方法是由 Pei[25]提出，量化值可以經由嵌入扭曲和強度的機率密

度函數(PDF)的結合來做適當的決定。如果量化的強度能有較高的機率密度，意味著有更高的頻率出現在圖片中，這個數值將會得到更顯著的補償。反之，在圖片裡較小的扭曲補償分配到較不頻繁的強度。Pei 的方法大大減少了基於量化的扭曲浮水印方法。另外基於量化的方法可以應用在爲了提高穩健性的轉換領域。Wang 和 Lin [26]聚集小波係數的影像進到所謂的超樹(super trees)，經由位元平面係數的結合，然後嵌入由量化的超樹浮水印。被量化的樹狀顯示一個大規模足夠的統計差異，因此儘管雜訊號已在圖片中被加入，在浮水印提取的過程中，量化的結果仍然可以經由統計來正常的識別。由於中浮水印位元是嵌入在超樹重要頻率波段的感知，Wang 和 Lin 的方法更能抵抗基於頻率的攻擊，像是低通濾波器[27]，此外浮水印更是擴散遍佈空間區域，產生更大的穩健性來反抗空間領域的幾何攻擊。

還有其他穩健性浮水印方法附加在基於展頻的浮水印方法和基於量化浮水印方法[28-31]。例如在 [28]嵌入特徵點的浮水印是在計算多尺度曲線轉換領域。這種特徵點記錄圖片內容的物件邊緣，因此假如圖片內容不變，特徵點可以正確的識別和在特徵點的浮水印可以被提取。在 Kim 等人[29]，相似的技術提出 Zernike 不變矩嵌入到浮水印，這在圖片內容也表示一個物件形狀的特徵。雷登轉換的特徵點是抵抗多數旋轉和縮放操作，也被用來嵌入浮水印[30]。

## 二、易碎型浮水印(Fragile Watermarking)

一個易碎型浮水印方法可以被用來鑑定圖片，其中嵌入浮水印很容易透過任何的修改被破壞，這種破壞可能是全區域的，即沒有浮水印的部分或局部可以被恢復，換言之只有浮水印的部分可以被改變。

在易碎型浮水印，關鍵問題是如何建立一個區塊-方向/像素-方向的關係，讓浮水印的嵌入不只需要區塊/像素，也需要其他鄰近區域的區塊/像素[4,6]。隨著前後文的呼應，易碎型浮水印方法可以成功提高修改的警覺和針對修改區域常見的攻擊，如覆蓋/剪貼[32]和 Holliman-Memon 的偽冒攻擊法[33] (也被稱爲生日攻擊法[32]、向量量化攻擊[34]或拼貼攻擊法[35,36])。覆蓋攻擊法的操作是切割圖片的一個地區或區塊貼到同一張圖片的其他地方或是其他圖片。Holliman-Memon 的偽冒攻擊法/生日攻擊法建立在所謂的生日悖論[37]，根據生日悖論，假如易碎型浮水印系統使用一個雜湊函數  $l$  產生一個字串位元的長度，使用者可以沒有提出任何的警告就成功修改圖片，假如只有他/她可以獲得複製的浮水印圖片  $2^{l/2}$ 。爲了對付這些攻擊，Li[4]提出，在建立的浮水印中成立一個前後文非理論性相關的方法，這個相關方法既是區塊-方向，包含增加浮水印的鄰近區塊資訊[6,38]，也是像素-方向包含增加浮水印周圍所有的像素[39]。同時這種前後文非理論性相關必須由密鑰控制才會有更高的安全性。

此外增加浮水印，易碎型浮水印方法有很多嵌入方法被提出，一個最簡單和最常見的方法是最低有效位元(LSB)方法[40]。由明亮度組成的圖片可以分解成平面位元透過二進制表示，這是每個整數都獨一無二的。考慮灰階圖片(根據 8 位元的像素)，每個像素可以表示非負正數  $D$  的距離。二進制表示  $D$  這個值爲

$$D = \sum_{i=0}^7 b_i \cdot 2^i, \text{ where } b_i \in \{0,1\} \quad (1)$$

$b_i$  是第  $i$  個位元的二進制， $b_0$  是改變後導致最小扭曲，因此  $b_0$  是定義為 LSB 的像素。在基於 LSB 的方法，浮水印被插入覆蓋圖片平面的最低有效位元，直接取代 LSBs [41] 或修改 LSBs 對應的反轉函數[42]。在[41]，浮水印被轉成平面位元並取代 LSB 直接的像素，浮水印經由取代被嵌入，可以從 LSB 的浮水印圖片簡單的讀出，打開一個潛在攻擊的安全漏洞，因此在[43]浮水印的平面位元是隨機排列對應的密鑰，然後運用一個 XOR 添加到 LSB 的像素。這個方法引入一個額外的關鍵安全控制到基於 LSB 浮水印方法。一個更安全的 Fibonacci 的 LSB 基礎浮水印[44]方法是由 Battisti 等人提出。他們分解 Fibonacci  $p$  序列的像素平面位元，使用  $p$  多項式來轉換十進位整數到二進元表示的方法。那麼 LSB 強度的像素可以由浮水印位元取代，來符合 Zeckendorf 條件。Zeckendorf 條件定義為每個正整數的 Fibonacci 表示法。

群集演算法也可以用來建造在空間領域的易碎型浮水印方法，為了完成高容量和低扭曲[2,45]。基於群集的浮水印方法主要的想法是聚集相似強度值成一個群集，使用強度值的索引表示出浮水印位元[2,45]。Seppanen 等人[45] 提出彩色圖片的  $k$ -mean 基本叢集浮水印方法，有他們的方法，RGB 色彩空間被劃分成許多群集和在群集裡所有強度值編入索引。嵌入浮水印位元到群集像素，對所屬的強度像素確認，然後強度索引等於浮水印位元是用來取代原本的強度。雖然這個高嵌入容量方法已經被揭發，高扭曲使得這個方法不可能接受。基於 Seppanen 的工作[45]，Brisbane 等人針對交易能力較低的扭曲來提出其他方法[2]，他們的方法取代了使用嵌入的每個像素，只有像素更接近群集中心是被選擇嵌入，因為扭曲的上限會導致較低的扭曲結果，由距離來決定從強度到群集中心的減少。同時由一個鑰匙來選擇操作，進而增加了安全方面的方法。

群集演算法也可以應用在結合向量量化(VQ)演算法，這是一個流行的圖片壓縮演算法，使用一個預定向量表示圖片像素的區塊[46]。預定向量也被稱為 VQ 壓縮的代稱，代號的集合叫做字碼書。Lee 等人[47]集合了浮水印的字碼，在 Lee 的方法，字碼在最小生成樹組成一對最相近距離，然後編索引來表示浮水印位元。Xing 等人[48]利用  $k$ -means 群集演算法組成字碼成大於兩個組合以上的群集，因而導致更高的容量。Chang 和 Wu [49] 提出另一個改進基於群集浮水印方法來應用在字碼排列和適合的群集。當嵌入一定數量的浮水印，字碼會在排列後重新組合適合，儘管高計算負荷，Chang 和 Wu 的方法能提供更好的圖片品質和嵌入容量。

無論是基於 LSB 浮水印和基於群集浮水印都應用在空間領域，然後他們總不是都適用在轉換必要的圖片壓縮，因為在空間領域，每個小程度的量化係數值會對應著一個大的量化等級，這使得嵌入一個視覺侵入操作更徹底[4]，為了克服和維持低扭曲的嵌入一樣的問題，浮水印方法的轉換領域[50,51]傾向浮水印在中期頻率的電腦圖片選擇係數，提出該方法的 Winne 等人[50]，減至最小的嵌入扭曲，浮水印在明亮度組合的最細微規模只有子集合的高頻率係數。所有其他係數和組件既不是印浮水印，也不涉及浮水印的處理過程，因此他們演算法主要的限制是不保護所有的係數，使得很容易受到剪貼、向量量化和轉移的攻擊[32]。在 Yuan 和 Zhang 的操作[51]一個高斯混合模型被用來獲得小波係數的參數分佈，一些較大的係數值被修改用來嵌入浮水印，然而因為鄰近區域是大量的，當圖片被竄改時該方法不能準確找出被竄改的局部區域。Li [6]提出在 DWT 領域的易碎型浮水印方法為了準確定位所有被修改的區域和保護所有圖片的係數。在低頻組合的係數，被定義為非可加浮水印，在高頻率組合中循環投射到可加浮水

印的係數，密鑰是被用來確定低頻組合和高頻組合之間的投射，因此關鍵控制的非確定性相關在 Li 的方法中設定。雖然不是每個係數都可被加浮水印，所有係數都受到非確定性區塊-方向相關的保護，藉由檢查缺少的相關連結，該方法可以準確的定位修改後的區域。除了 DCT 和 DWT 領域，Ho 等人[52]利用零矩陣定位在 z 轉換領域嵌入浮水印，z 轉換建位一個全域性的圖片相關像素，這種相關是每個單一像素的感光數值變換，使 z 轉換領域可以有效識別任何細微的修改。

### 三、易碎型浮水印(Semi-Fragile Watermarking)

半易碎型浮水印是其中一種浮水印技術，浮水印預計要毀掉任何修改，除了極少數偶發的修改[53]，與易碎型浮水印對照，易受到任何的修改，半易碎型浮水印的正當操作更寬大些，像是耗損壓縮和品質的提升，因此半易碎型浮水印有應付複雜情況能力，不合法的修改必須確定定位，但合法的控制應該不會在鑑定過程引起驚擾[54-56]。一般來說，半易碎型浮水印方法需要針對意外竄改的穩健性和非確定性相關的圖片內容。穩健性是必要的，因為半易碎型浮水印方法必須針對合理操作達到一定程度的穩健性，非確定性的相關是必要的，因為半易碎型浮水印方法需要根據浮水印破壞來局部修改[57]。

在空間領域中的半易碎型浮水印通常是以統計模型的基礎來發展，該統計模型的特點是保存了偶然的竄改，但破壞了圖片內容的修改[58-62]。同時統計模型也建立相關像素，使得在內容中所有像素將被保護和操作，可以準確的定位。例如 Marvel 等人[60,61]利用高斯模型開發半易碎型浮水印方法，主要工作是浮水印和一些錯誤修正碼的位元一樣，都是第一嵌入到對立座標系統的像素。錯誤修正碼增加了方法的附帶修改穩健性，因為可以被用來修正浮水印的提取過程，浮水印區域調整由高斯符號引入全域相關。在提取階段，浮水印從解調區域來提取，然後修正錯誤修正碼的鑑定。Quelez 等人[58,59,62]半易碎型浮水印採用基於隨機基礎函數的統計模型，將圖片劃分成非重疊的 $3 \times 3$ 像素區域，每個區域被視為一個矩陣，然後使用隨機基礎函數投射到一個隨機向量空間，這項預測結果有條理的排序，向量的中位數基於浮水印訊息來被量化，附帶的修改應不改變區塊排序的數值，因此量化過程是穩健性的附帶修改。

在轉換領域中的半易碎型浮水印方法主要發展在 DCT 領域和離散小波轉換(DWT)領域[1,5,63-67]。由於 JPEG 壓縮是 DCT 領域操作和 JPEG 2000 是 DWT 領域的操作[68]，半易碎型浮水印方法在這些領域有能力區分不同的操作，從非法修改如覆蓋/剪貼[32]及低通濾波器的攻擊[27]。Lin 和 Chang [65,66]提出 DCT 領域的半易碎型浮水印，基於在 JPEG 壓縮後的 DCT 係數不變關係，基於浮水印位元的係數是隨機選擇，以不自然的單數或偶數倍數的量化步驟，量化步驟是根據 JPEG 壓縮的量化表格來決定，Lin 和 Chang 的方法沒有涉及非確定性的關係，使他們的方不夠靈敏察覺到 Holliman-Memon 的偽冒攻擊法[33]，同時他們的方法針對胡椒鹽雜訊不夠穩健[69]，為了克服這些問題，Fridrich 等人[5,63,64]應用在中低頻率的 DCT 係數的索引功能，索引功能由修改係數嵌入到浮水印，根據浮水印和之前基於 zigzag 搜尋的係數索引。修改後，浮水印係數滿足預計的幾何序列，這是一個遞增序列控制門檻  $\alpha$ ，在幾何序列裡介紹了非確定性相關的係數，因此這些方法可以有效定位圖片被篡改的區域。Fridich 的方法可以顯示比 Lin 和 Cheng 的方法對於胡椒鹽雜訊有更穩健的附帶操作。在 DWT 領域，Kundur 和 Hatzinakos [1,67]在基於浮水印的量化步驟，量化 DWT 係數成奇數/偶數倍數，他們的方法對於 JPEG 2000 壓縮特別穩健[70]。除了從 DCT 和 DWT 領域，也有其他轉換應用在半易碎型浮水印方

法，Zhao 等人[71] 嵌入浮水印到 LSB 係數的斜轉換，這是圖片的線型轉換。斜轉換建立像素的全域相關，因此該方法可以準確定位被篡改的區域。另一方面，斜轉換可適用在 JPEG 壓縮，使得 Zhao 方法可以從惡意操作的 JPEG 壓縮來區分像是剪貼攻擊，此外一個線性轉換，斜轉換比 DCT 和 DWT 方法導致更快的處理速度。

## 參、方法

本研究提出的方法如圖 1 顯示，可劃分成前置處理與後端處理。前置處理的目的是嵌入病人的資訊到乳房 X 光照片，乳房 X 光照片的內容和資訊在非法存取和惡意修改可受到保護。前置處理的第一個階段是將乳房 X 光照片分割成乳房和背景的部分。由於乳房 X 光照片的背景部分不包含任何有對病人的健康資訊，所以這部分可以用來隱藏和攜帶病人原本的訊息。然後，更進一步處理隱蔽內容的操作，為了防止未授權的人可以觀看乳房 X 光照片。在隱蔽內容的階段，浮水印去除被用在調整乳房 X 光照片來掩蓋其內容。

後端處理是允許合法使用者存取隱蔽的圖片和檢索隱藏的資訊。首先，執行去除隱蔽圖片的浮水印來恢復內容的操作，經過這個階段，乳房 X 光照片的原始內容被恢復，視為合法使用者只能存取的內容，但沒有病人的個人資訊和診斷資訊。要允許人員完全存取儲存在乳房 X 光照片的全部資訊，更進一步提取資訊的構成要素是提供背景部分資訊偽裝的檢索。這需要分割揭露乳房 X 光照片成為乳房和背景部分。最後隱蔽的資訊偽裝方法被用在乳房 X 光照片背景部分的資訊檢索。

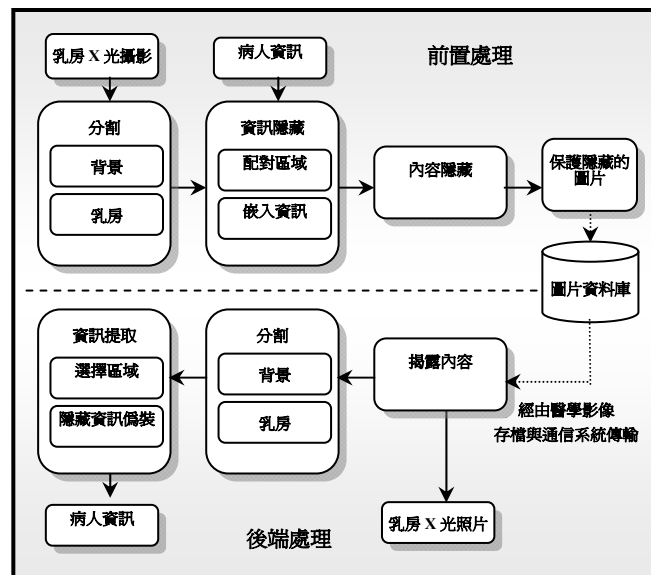


圖 1 在乳房 X 光照片內容中遮掩隱藏資訊的方法

### 一、前置處理

本研究的前置處理描述如下：



### (一)影像切割

第一建階是切割乳房 X 光照片成乳房和背景部份的要素保存方法。乳房部位包含重要的醫療資訊，在資訊隱藏過程中不應該被修改。背景區域是沒有醫學意義，因此可以用來隱藏病人的資訊。

本研究的切割方式是採用閾值法，閾值法是一種有效的技巧，用來區分不同亮度的背景和物體。當確定一個閾值後，影像的每個像素值會和這個閾值比較。如果像素值高於閾值，則此像素被認為是前景，並且設置為切割所建立遮罩(mask)裡的白色。如果其值小於或等於閾值，它被認為是背景並設置為切割時所建立遮罩裡的黑色。這個黑白遮罩則可以從影像中切割出前景部分。閾值法成功的關鍵取決於一個合適閾值的選擇。本研究計畫所提出的矩量恆定法即是運用閾值法來決定一個合適閾值以進行二元切割。

在一張  $X \times Y$  像素的灰度影像，影像  $I$  裡  $(x,y)$  位置的灰階值定義為  $I_{x,y}$ ，影像的第  $i$  個矩量(moment)則被定義為下列的公式[72]。

$$m_i = \left\{ \frac{1}{X \times Y} \right\} \sum_{x=1}^X \sum_{y=1}^Y I_{x,y}^i \quad (2)$$

為了將影像  $I$  分割成  $p_0$  和  $p_1$  個兩組的像素， $p_0$  的灰階值表示為  $z_0$ ， $p_1$  的灰階值則表示為  $z_1$ 。這個閾值  $T$  則可以使用下列公式的方程組來決定。其中  $m_0, m_1, m_2$  和  $m_3$  是前四個矩量。

$$\begin{cases} p_0 z_0^0 + p_1 z_1^0 = m_0 \\ p_0 z_0^1 + p_1 z_1^1 = m_1 \\ p_0 z_0^2 + p_1 z_1^2 = m_2 \\ p_0 z_0^3 + p_1 z_1^3 = m_3 \end{cases} \quad (3)$$

$z_0$  和  $z_1$  為兩個灰階參數值，在 moment preserving 演算法的想法：當我們把原始影像中所有點的灰階值進行改變，給予每個像素為  $z_0$  或  $z_1$ 。那麼該影像改變前後的 0 至 3 階 moment 就不會產生變化。 $p_0$  和  $p_1$  為分別被給予  $z_0$  和  $z_1$  點的個數，而  $z_0$  和  $z_1$  為賦予每個影像原點的灰階值。對於切割演算法，我們需要根據原始圖像的 0~3 階 moment，來分別計算未知的  $p_0$ ， $p_1$ ， $z_0$  和  $z_1$ 。一旦  $p_0$  和  $p_1$  被解出來之後， $p_0$ -th 和  $(p_0+1)$ -th 之間的閾值  $T$  就可以被決定(Tsai, 1985)。這個閾值  $T$  就被用來分割一張乳房 X 光照片裡的乳房和背景的部分。

### (二)資訊隱藏

乳房 X 光照片被分割之後，乳房 X 光照片被劃分成每個元素被覆蓋的區域，這些區塊包含被標示為乳房區塊的醫療區域和被標示成背景區塊的背景區域。在背景區域植入病人資訊的過程只是增加第一個區域配對，然後在植入病人資訊的區域中使用合夥人當成參數，這個區域配對的演算法描述如下：

區域配對演算法：

1. 排序  $n$  個背景區塊成一個序列  $m$ ，由一個私鑰  $k_1$  來決定區塊的索引。
2. 序列  $m$  中每個區塊為  $i$ ，挑選一個區塊  $j(I \neq j)$  隨機使用私鑰  $k_1$  來讓  $i$  和  $j$  成對。
3. 從  $m$  中刪除成對的  $(i, j)$
4. 假如  $m$  不為空則回到步驟 2

根據密碼學[2]，資訊偽裝演算法的安全應依賴秘密的私鑰，而不是保密或本身不適用的演算法。這個方法使用一個有配對的 A 區塊，當成參數調整其他的 B 區塊，在相同配對中之陸續嵌入資訊的處理。由於序列  $m$  中區塊的順序和區塊方法的配對都是由私鑰來決定，因此在調整過程中的使用的參數會是未知的攻擊者。在區域配對階段之後，接著使用下面嵌入演算法，然後計畫在區域內隱藏病人資訊。

資訊隱藏演算法：

嵌入資訊到乳房 X 光照片的方法描述如下：

1. 在  $m$  裡選擇一個區域來執行離散餘弦轉換(Discrete Cosines Transform, DCT)，雖然這裡每個區域裡有 64 個 DCT 係數，沒有失去一般性，每一對  $i$  區塊有  $A_i$  和  $B_i$  區塊，表示  $a_i$  和  $b_i$  分別當成  $A_i$  和  $B_i$ ，任意 DCT 係數
2.  $b_i'$  是一個調整係數，這樣的調整係數  $b_i' = \gamma \cdot b_i$ ， $\gamma$  是一個比例因子， $10 < \gamma < 10000$ 。
3. 找到最相近的原始數值  $p_{i1}$  和  $p_{i2}$ ，滿足  $p_{i2} < a_i \cdot b_i' < p_{i1}$

在圖 2，第一條水平線指出  $p_{i1}$ ,  $p_{i2}$  and  $a_i \cdot b_i'$  的相對位置，證人演算法[1]尋找被採用的相近數值。已經被證實[1]發現相近數值  $p_{i1}$  需求  $\frac{\ln(\ln(a_i \cdot b_i'))}{2}$  測驗  $\lfloor \cdot \rfloor$  是浮點函數，回到小於或等於自己的最接近整數。

4. 計算  $c_i$  訊息的長度來嵌入每個對應的  $a_i$  和  $b_i$  係數

$$c_i = \left\lfloor \log_2 \left( \frac{p_{i1} - p_{i2}}{a_i} \right) \right\rfloor \quad (4)$$

5. 獲得病人資訊的  $c_i$  位元(以二進位形式)，轉換  $c_i$  位元數值到十進位數值  $\mu_i$

$$6. \text{計算 } b'' = \left\lfloor \frac{p_{i1} - \mu_i \cdot a_i}{a_i} \right\rfloor \quad (5)$$

注意因為演算法一次得到成對的係數，下標  $i$  可被簡略忽略。在圖 2 第二和第三水平線表示嵌入過程， $a \cdot b'$  是根據二進位訊息的修改來調整。

7. 計算  $\bar{b} = \frac{b''}{\gamma a}$  和取代 B 區塊裡的  $b$  成爲  $\bar{b}$ 。

8. 在 A 和 B 區塊反向實施 DCT。

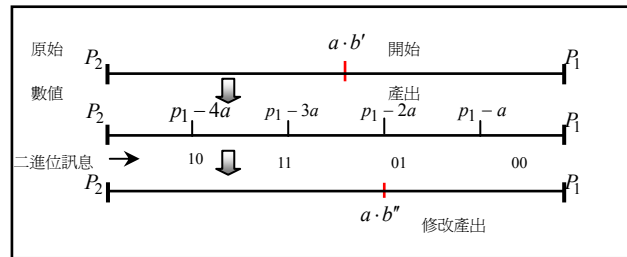


圖 2 為了嵌入訊息修改數值的方法

其中步驟 2 裡，這個放大  $\gamma$  的原因有兩個，第一、由於  $\alpha$  和  $b''$  都是 DCT 係數，而 DCT 係數，我們瞭解到在高頻部分都是比較小的，以  $8*8$  塊為例，這個區域的高頻部分係數單位為 0.0001，這樣兩個類似大小係數相乘，最終結果太小，不足以完成後續的整數範圍影射；第二是浮動係數可以在一定程度上，引入了額外的演算法隨機性（獨立於配對演算法隨機性之外），加強演算法安全性。

### (三)內容遮蔽

浮水移除方法[4]被提出用在乳房 X 光照片內容遮蔽，嵌入函數表示為  $O = I \times (1 + \alpha \cdot w)$ ， $I$  是嵌入病人資訊的隱藏圖片， $w$  是亂數產生的，與 X 光片等大的一張影像，但不是以 X 光片為私鑰，是以 X 光片編號的 hash 值等作為私鑰。遮蔽強度需要進行控制，從公式  $O = I \times (1 + \alpha \cdot w)$  可知，(1)當輸出  $O$  大於 255 則產生溢位(overflow)；進而有(2)若  $\alpha \cdot w$  大於  $(255 - I) / I$  的時候，就會產生溢位(overflow)。故此對於產生的  $w$  可以做一下的限制，即對產生的隨機浮水印  $w$  進行線性的 rescale，使其小於等於  $(255 - I) / (I * \alpha)$ 。值得注意的是，當  $I$  趨於 255 的時候， $w$  的數值範圍將趨於 0，顯然這是不合理的。另一方面注意瞭解到，對於高亮圖原點，以  $I=240$  為例，對於用肉眼觀察的人來說， $I=240$  和  $I=255$  沒有明顯區別，故此可以設定一個閾值， $T=240$ ，並規定產生的遮蔽浮水印滿足  $(255 - T) / (T * \alpha)$  即可有效避免溢位(overflow)。而在這項工作中，最好超過或等於 0.5。(詳見圖 4)

## 二、後端處理

在後端處理中，私鑰  $(k_1, k_2)$  被分佈在基於不同的驗證層級，當不需要病人的資訊時，只要分享能足夠展現被遮蔽的乳房 X 光照片的複雜部分。應用在公式(5)的反向計算，被遮蔽的隱藏圖片可以被恢復。

從診斷的目的在知道病人的資訊是必要的，因此需要共享私鑰。當配對區域是從使用的  $k_1$  來決定的， $a, b''$  可以被計算，而  $p_1$  和  $p_2$  可以由  $p_2 < a \cdot b'' < p_1$  來被決定，病人資訊的提取的位置是由圖 2 中第二條線底部來決定。

## 肆、實驗結果與討論

### 一、實驗設置與過程

在實驗中使用的乳房 X 光照片是來自乳房 X 光照片分析協會(Mammographic Image Analysis Society, MIAS)的尺寸像素。圖 3 說明前置處理。乳房 X 光照片(圖 3a)分割成背景和乳房區域(圖 3b)，爲了保留乳房邊緣的醫療細節，執行擴張爲了擴大乳房區域(圖 3c)，所以當兩個區域被分割成區塊，邊界區域將不包括乳房的任何一部份。擴張的圖片然後被分割成區塊(圖 3d)，所以邊緣區塊可以被使用在嵌入病人資訊(圖 3e)，最後隱藏圖片被覆蓋(圖 3f)，經由浮水印技術來保護乳房 X 光照片。

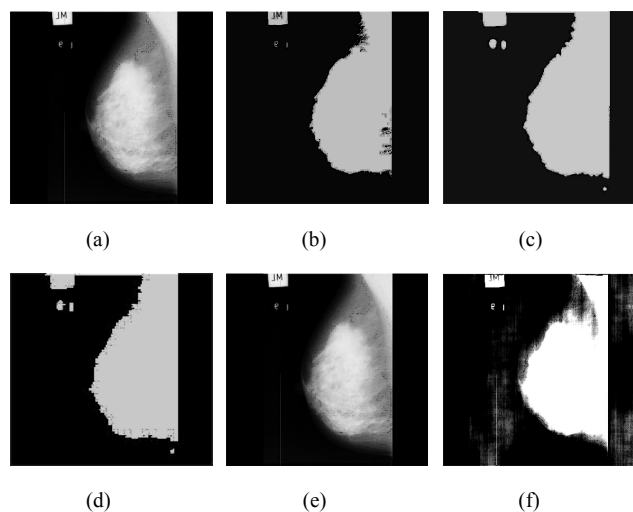


圖 3 (a)原始乳房 X 光照片(b)分割的乳房 X 光照片(c)擴張的乳房 X 光照片(d)分離區塊(e)隱藏乳房 X 光照片(f)遮蔽乳房 X 光照片

### 二、績效評估與分析

#### (一)資料容量

由於我們只使用背景部份來嵌入病人資訊，因此嵌入資格被定義爲經由修改像素的位元平均(bit per modified pixel, bpp)，由下列公式進行計算：

$$T = \frac{\sum c_i}{N_b} \quad (6)$$

$N_b$  是背景部份的像素數目， $c_i$  是第  $i$  個係數嵌入資訊的總數。表 1 顯示在不同範圍的數值中，提出方法的嵌入資格。表 2 比較提出方法的嵌入資格與其他方法的對照，包括最小有效位元(Least Significant Bit, LSB)和差值擴張法(Difference Expansion, DE)。

本研究所提的方法，兩個背景像素才能放入  $C_i$  個 bit 資料，表 1 和表 2 裡數據不除

2 的原因如下：第一是 ROI 中提取  $a_i$ ，只是爲了增加整個演算法的安全性，與隱藏效果無關。我們完全可以考慮不保留 ROI，提取  $a_i$ ，而是採用亂數的方法。我們之所以使用配對，是由於浮水印安全領域中[4]討論過的，dependence 的重要性（即資料內容的相關度）。如果不適用 ROI 中的  $a_i$ ，而是使用每一 bit 對應一個亂數產生的  $a_i$ ，那麼我們仍然是 1 bit per pixel。第二是爲了更好的保留下 ROI，所以我們不對 ROI 進行資料隱藏。如果 LSB 方法也做這種處理的話，LSB 的容量應該也是需要除以 2 的。故此，我們不討論整張影像的 bpp (bit per pixel) 而是討論基於背景的 bpp。

表 1 在不同範圍的數值中，提出方法的嵌入資格

原始數值的範圍	數值的基本	平均差距	嵌入係數
1-100	25	4	2
1-2000	303	6.6	2.7
1-10000	1129	8.85	3

單位：bpp

表 2 嵌入資格與其他方法的比較

提出方法	DE	LSB
1-100	2	0.5
1-2000	2.7	0.5
1-10000	3	0.5

單位：bpp

## (二) 嵌入失真

沒有嚴格控管嵌入失真控制因爲下列兩個因素：第一個是乳房 X 光照片的背景部分不包含任何醫療資訊，第二個是乳房 X 光照片的背景部分接近黑色(強度介於 0 到 30)，人類眼睛在這個強度範圍無法靈敏的察覺到差異。這兩個因素意味著較高的失真也可被接受。因此這個研究的失真閾值設定爲  $PSNR \geq 30$  dB，當與類似工作比較時[6]，因爲上述提到的因素，所以可以接受一個相對高失真。

## (三) 內容遮蔽

在這個研究中，內容遮蔽可以防止未授權的人觀看到乳房 X 光照片的內容，遮蔽乳房 X 光照片的內容，公式 3 的移除浮水印強度可以設定不同安全層級。圖 4 顯示當有不同價值觀被使用時的隱藏效果。當  $\alpha$  等於 0.5，乳房 X 光照片的重要詳細資料變暗了(圖 4a)，雖然被遮蔽的圖片無法進行醫療分析，但微小的細節仍然存在。當  $\alpha$  設定爲 10，乳房 X 光照片完全被遮蔽住(圖 4c)。

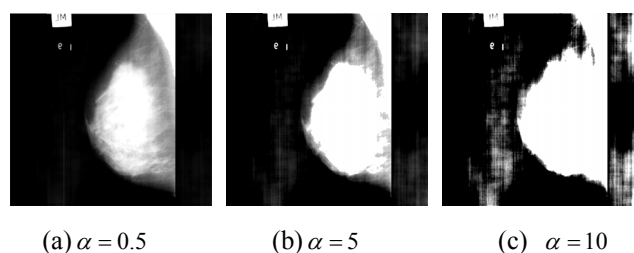


圖 4 不同浮水印嵌入強度  $\alpha$  對於乳房 X 光照片的遮蔽

#### (四)防偽造

利用資訊隱藏和浮水印進行乳房 X 光照片被防止偽造，可以提供數位影像的可信賴性和完整。

#### (五)數位影像版權保護

利用資訊隱藏和浮水印進行乳房 X 光照片可以確認圖片所有權或確認圖片來源，並保護乳光 X 光照片的版權。

表 3 存取權限的分類

角色/使用者	存取權限	發給的存取鑰匙
第 0 層使用者	沒有權限 (乳房 X 光照片的內容被遮蔽讓使用者無法看到)	無鑰匙
第 1 層使用者	只有圖片的權限 (也就是乳房 X 光照片中病人資訊是被隱藏無法提取的)	半授權的鑰匙
第 2 層使用者	圖片和病人資訊的權限。	全授權的鑰匙

#### (六)存取控制

存取控制也是乳房 X 光照片一個重要的鑑定功能，由於乳房 X 光照片是牽涉病人的隱私的圖片，所以必須讓有授權的使用者才能進行存取。例如由李等人提出的保護數位乳房 X 光照片的系統[73]，根據使用者的角色將存取權限分成三層，由表 3 所示。利用這個存取控制的例子，對應不同的存取階層可以產生不同的鑰匙，基於有使用者存取權限的使用者來分配這些鑰匙。因此只有有授權的使用者有才正確的鑰匙可以存取圖片[74]。

## 伍、結論

在本研究裡我們提出一個打擊醫學影像存檔與通信系統乳房 X 光照片安全議題的架構，提出的架構提供兩個層級來保護乳房 X 光照片：醫療資訊隱藏和內容遮蔽。在資訊隱藏中，隱藏被推薦在背景區域嵌入病人資訊的資訊偽裝，這裡沒有有意義的醫療資訊存在，特別是這種方法可以從乳房 X 光照片中提取隱藏資訊而不用經過原始的版本。可移除浮水印能進一步應用在隱藏乳房 X 光照片的內容，來打擊非法存取並提供保護，當有授權時可以移除浮水印來獲得觀看的權利。這個計畫是乳房 X 光照片傳輸和醫學影像存檔與通信系統儲存是能相容的。

## 參考文獻

- [1] D. Kundur and D. Hatzinakos(1999), Digital watermarking for telltale tamper proofing and authentication, *Proceedings of the IEEE*, vol. 87, no. 7, pp. 1167-1180.
- [2] G. Brisbane, R. Safavi-Nani, and P. Ogunbona(2005), High-capacity steganography using a shared colour palette, *IEE Proceedings on Vision, Image, and Signal Processing*, vol. 152, no. 6, pp. 787-792.
- [3] C. T. Li and Y. Yuan(2006), Digital watermarking scheme exploiting non-deterministic dependence for image authentication, *Optical Engineering*, vol. 45, no. 12, pp. 1-6.
- [4] J. Fridrich(1998), Combining low frequency and spread spectrum watermarking, in *Proceedings of the SPIE International Symposium on Optical Science, Engineering, and Instrumentation*, pp. 19-24.
- [5] C. T. Li and H. Si(2007), Wavelet-based fragile watermarking scheme for image authentication, *Journal of Electronic Imaging*, vol. 16, no. 1, pp. 013009-1-013009-9.
- [6] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamoan(1997), Secure spread spectrum watermarking for multimedia, *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 6, no. 12, pp. 1673-1687.
- [7] B. Macq, J. Dittmann, and E. J. Delp(2004), Benchmarking of image watermarking algorithms for digital rights management, *Proceedings of the IEEE*, vol. 92, no. 6, pp. 971-984.
- [8] H. Malik, R. Ansari, and A. Khokhar(2008), Robust audio watermarking using frequency-selective spread spectrum, *Information Security*, vol. 2, pp. 129-150.
- [9] H. O. Altun, A. Orsdemir, G. Sharma, and M. F. Bocko(2009), Optimal spread spectrum watermark embedding via a multistep feasibility formulation, *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 18, no. 2, pp. 371-387.
- [10] M. Gkizeli, D. A. Pados, and M. J. Medley(2007), Optimal signature design for spread-spectrum steganography, *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 16, no. 2, pp. 391-405.
- [11] W. Liu, L. Dong, and W. J. Zeng(2007), Optimum detection for spread-spectrum watermarking that employs self-masking, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 2, no. 4, pp. 645-654.
- [12] S. P. Maity and S. Maity(2009), Multistage spread spectrum watermark detection technique using fuzzy logic, *Signal Processing Letters*, vol. 16, no. 4, pp. 245-248.
- [13] L. Ghouti, A. Bouridane, M. K. Ibrahim, and S. Boussakta(2006), Digital image watermarking using balanced multiwavelets, *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 54, no. 4, pp. 1519-1536.
- [14] P. Kumsawat, K. Attakitmongcol, and A. Srikaew(2005), A new approach for optimization in image watermarking by using genetic algorithms, *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 53, no. 12, pp. 4707-4719.
- [15] M. Wu(2003), Joint security and robustness enhancement for quantization based data

- embedding, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 13, no. 8, pp. 831-841.
- [16] B. Chen and G. W. Wornell(2001), Quantization index modulation methods for digital watermarking and information embedding of multimedia, *Journal of VLSI Signal Processing Systems*, vol. 27, no. 1-2, pp. 7-33.
- [17] T. M. Cover and P. E. Hart(1967), Nearest neighbor pattern classification, *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 13, no. 1, pp. 21-27.
- [18] E. Hecht, *Optics*. Wesley: Addison, 1987.
- [19] B. Alexia and S. Michael(2004), Optimal watermark detection under quantization the transform domain, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 14, no. 12, pp. 1308-1319.
- [20] X. G. Kang, J. W. Huang, and W. J. Zeng(2008), Improving robustness of quantization-based image watermarking via adaptive receiver, *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 10, no. 6, pp. 953-959.
- [21] J.-P. Boyer, P. Duhamel, and J. Blanc-Talon(2007), Performance analysis of scalar DC-QIM for zero-bit watermarking, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 2, no. 2, pp. 283-289.
- [22] S. C. Pei and J. H. Chen(2006), Robustness enhancement for noncentric quantization-based image watermarking, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 16, no. 12, pp. 1507-1518.
- [23] S.-H. Wang and Y.-P. Lin(2004), Wavelet tree quantization for copyright protection watermarking, *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 13, no. 2, pp. 154-165.
- [24] C. Quendo, E. Rius, C. Person, and M. Ney(2001), Integration of optimized low-pass filters in a bandpass filter for out-of-band improvement, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 49, no. 12, pp. 2376-2383.
- [25] C. Zhang, L. L. Cheng, Z. D. Qiu, and L. M. Cheng(2008), Multipurpose watermarking based on multiscale curvelet transform, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 3, no. 4, pp. 611-619.
- [26] H.-S. Kim and H.-K. Lee, Invariant image watermark using Zernike moments(2003), *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 13, no. 8, pp. 766-775.
- [27] D. Simitopoulos, D. E. Koutsonanos, and M. G. Strintzis(2003), Robust image watermarking based on generalized Radon transformations, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 13, no. 8, pp. 732-745.
- [28] P. S. L. M. Barreto, H. Y. Kim, and V. Rijmen(2002), Toward secure public-key blockwise fragile authentication watermarking, *Vision, Image and Signal Processing*, vol. 149, no. 2, pp. 57-62.
- [29] M. Holliman and N. Memon(2000), Counterfeiting attacks on oblivious block-wise independent invisible watermarking schemes, *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 9, no. 3, pp. 432-441.



- [30] P. W. Wong and N. Memon(2000), Secret and public key authentication watermarking schemes that resist vector quantization attack, *Proceedings of SPIE Security and Watermarking of Multimedia Contents II*, pp. 40-47.
- [31] J. Fridrich(2002), Security of fragile authentication watermarks with localization, *Proceedings of SPIE: Security and Watermarking of Multimedia Contents, VI*, vol. 691, no. 700.
- [32] W. Stallings, *Cryptography and network security - Principles and practice* Prentice Hall, 1998.
- [33] C. T. Li and F.-M. Wang(2003), One-dimensional neighborhood forming strategy for fragile watermarking, *Journal of Electronic Imaging*, vol. 12, no. 2, pp. 284-291.
- [34] C.-C. Chang, J.-Y. Hsiao, and C.-S. Chan(2003), Finding optimal least-significant-bit substitution in image hiding by dynamic programming strategy, *Pattern Recognition*, vol. 36, no. 7, pp. 1583-1595.
- [35] C. K. Chan and L. M. Cheng(2004), Hiding data in images by simple LSB substitution export, *Pattern Recognition*, vol. 37, no. 3, pp. 469-474.
- [36] R. G. van Schyndel, A. Z. Tirkel, and C. F. Osborne(1996), A digital watermark, in *Proceedings of the International Conference Image Processing*, pp. 86-90.
- [37] H. T. Lu, R. M. Shen, and F.-L. Chung(2003), Fragile watermarking scheme for image authentication, *Electronics Letters*, vol. 39, no. 12, pp. 898-900.
- [38] F. Battisti, M. Carli, A. Neri, and K. Egiazarian(2006), A generalized Fibonacci LSB data hiding technique, in *Proceedings of the third International Conference on Computers and Devices for Communication*.
- [39] T. Seppanen, K. Makela, and A. Keskinarkaus(2000), Hiding information in color images using small color palettes, in *Proceedings of the Third International Workshop on Information Security*, pp. 69-81.
- [40] P. C. Cosman, K. L. Oehler, E. A. Riskin, and R. M. Gray(1993), Using vector quantization for image processing, *Proceedings of the IEEE*, vol. 81, no. 9, pp. 1326-1341.
- [41] C.-F. Lee, C.-C. Chang, and K.-H. Wang(2008), Hiding data in VQ-compressed images using pairwise nearest codewords based on minimum spanning tree, in *Proceedings of the 2008 International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, pp. 1293-1296.
- [42] W. Xing, Z.-M. Lu, and H.-X. Wang(2003), A digital watermarking method based on classified labeled-bisecting-k-means clustering, in *Proceedings of the 2003 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, pp. 2891-2895.
- [43] C. C. Chang and W. C. Wu(2006), Hiding secret data adaptively in vector quantisation index tables, *IEE Proceedings on Vision, Image, and Signal Processing*, vol. 153, no. 5, pp. 589-597.
- [44] D. A. Winne, H. D. Knowles, D. R. Il, and C. N. nagarajah(2002), Digital watermarking in wavelet domain with predistortion for authenticity verification and localization,

- Proceedings of SPIE Security and Watermarking of Multimedia Contents IV*, pp. 349-356.
- [45] H. Yuan and X. P. Zhang(2003), Fragile watermark based on the Gaussian mixture model in the wavelet domain for image authentication, in *Proceedings of International Conference of Image Processing*.
- [46] A. T. S. Ho, X. Zhu, J. Shen, and P. Marziliano(2008), Fragile watermarking based on encoding of the zeros of the z-transform, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 3, no. 5, pp. 567-579.
- [47] M. Barni and F. Bartoloni, *Watermarking Systems Engineering* Marcel Dekker, 2004.
- [48] R. Chamlawi, C.-T. Li, I. Usman, and A. Khan(2009), Authentication and recovery of digital images: potential application in video surveillance and remote sensing, in *Digest of Technical Papers in the International Conference on Consumer Electronics*, pp. 1-2.
- [49] M. U. Celik, E. Saber, G. Sharma, and A. M. Tekalp(2001), Analysis of feature-based geometry invariant watermarking, *Proceedings of SPIE: Security and Watermarking of Multimedia Contents III*, vol. 4314, pp. 261-268.
- [50] M. P. Queluz(2001), Authentication of digital image and video: generic models and a new contribution, *Signal Processing: Image Communication*, pp. 461-475.
- [51] L. M. Marvel, G. W. Hartwig, and C. Boncelet(2000), Compression compatible fragile and semi-fragile tamper detection, in *Proceedings of the SPIE: International Conference on Security and Watermarking of Multimedia Contents II*, pp. 131-139.
- [52] C. Y. Lin and S. F. Chang(2000), Semi fragile watermarking for authentication JPEG visual content, in *Proceedings of SPIE: Security and Watermarking of Multimedia Contents*, pp. 113-118.
- [53] S. Grgic, M. Mrak, M. Grgic, and B. Zovko-Cihlar(2003), Comparative study of JPEG and JPEG2000 image coders, in *Proceeding of the 17th International Conference on Applied Electromagnetics and Communications*, pp. 109-112.
- [54] Q. Ekici, B. Coskun, N. Umut, and B. Sankur(2001), Comparative assessment of semi-fragile watermarking techniques, in *Proceedings of SPIE: Multimedia Systems and Applications IV*, pp. 177-188.
- [55] Q. Ekici, B. Sankur, B. Coskun, N. Umut, and M. Akcay(2004), Comparative evaluation of semifragile watermarking algorithms, *Journal of Electronic Imaging*, vol. 13, no. 1, pp. 206-216.
- [56] X. Zhao, A. T. S. Ho, H. Treharne, V. Pankajakshan, C. Culnane, and W. Jiang(2007), A novel semi-fragile image watermarking, authentication and self-restoration technique using the Slant transform, in *Proceedings of IEEE the third International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing*.
- [57] W.-H. Tsai(1985), Moment-preserving thresholding: A new approach, *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, vol. 29, pp. 377-393.
- [58] C. T. Li and Y. Li(2009), Protection of digital mammograms on PACS using data hiding techniques, *International Journal of Digital Crime and Forensics*, vol. 1, no. 1, pp.

75-88.

- [59] M. R. Low and B. Christianson(1994), Technique for authentication, access control and resource management in open distributed systems, *Electronics Letters*, vol. 30, no. 2, pp. 124-125.

使用浮水印保護乳房 X 光影像

郭枝盈<sup>1</sup> 魏嘉宏<sup>2</sup> 李岳<sup>3</sup> 張隆君<sup>4</sup>

---

# 中亞諸國與列強在中亞的戰略關切與選擇

## The Strategic Concerns and Options of Central Asian Countries and the Great Powers in Central Asia

顏建發

Jiann-fa Yan

清雲科技大學企管系副教授  
兼國際合作處處長

jiannfay@cyu.edu.tw

### 摘 要

九一一恐怖攻擊使得中亞轉為一個強權政治爭奪的競技場。從戰略的利益出發，美、俄、中與中亞不必然是一種零和關係，諸國都希望能壓制回教極端主義、非法毒品、人口販賣、走私等勢力在此地的氣燄。除此之外，各方也希望從此地區經濟發展的強調而獲利，尤其是能源的開發。但各國看待此區利害關係的著眼點有異，自有互不相容之處。中亞五國政府在意的主要是主權的獨立行使，俄羅斯和中國重視在此區的經濟利益，而美國似乎較關切全球政治。在中亞這個競技場，涉入的行動者有共通利益，自然也有扞格。諸國之間的關係不宜簡化地詮釋為矛盾或和諧。自 2010 年中以來，隨著中國崛起，美國在此區的影響力雖有逐漸式微之勢，但勝負仍未到蓋棺論定的地步。

**關鍵詞：**中亞、中國、美國、俄羅斯、戰略

## **Abstract**

The 9/11 terrorist attacks turned Central Asia into an arena of the political struggles among the significant players in the Central Asia. In terms of strategic interests, the relations among the US, Russia, China, and Central Asian countries need not be a zero-sum game. All the three countries, along with Central Asian states themselves, have an interest in defeating the terrorist threats from Islamic extremists, countering illegal drugs and human trafficking, and addressing illegal arms trading. Besides, they all pay a high interest in economic development in the region, above all, the energy issue. The governments of Central Asian countries are much more concerned about their sovereign independence while Russia as well as China about economic development; the US more about global politics. In the arena of Central Asia, involved players have some common interests, but in other areas, they are irreconcilable. The relations between Central Asian countries and the US, Russia as well as China cannot be simplistically interpreted as being contradictory or harmonious. In the wake of China rising, after mid-2010s, the U S influence in Central Asia has seemed significantly waned, but it is still too green to make a judgment over who will be the final winner in a foreseeable future.

**Keywords:** Central Asia, China, US, Russia, Strategy

## **I. The Permanent and Changing Strategic Concerns of Central**

### **Asian Countries**

Central Asia is composed of five countries, including Kazakhstan, Kyrgyzstan, Tajikistan, Turkmenistan and Uzbekistan. Geographically speaking, Central Asian countries themselves situated in the center of Euro-Asian continent have been highly determined by their external relations. Constrained by some historical and domestic reasons, Central Asian countries appear centralized, poor, and underdeveloped; they are all in face of the presences of strong military powers from without. Central Asian countries are endowed with rich natural resources, especially, Kazakhstan, Turkmenistan, and Uzbekistan are the three main energy-producing countries in Central Asia. Amid the great powers, Central Asian countries have gained their leverages in energy resources and geo-strategic advantages in the play of regional politics. The rebuilding of an authoritarian state at the cost of political freedom and the claiming of an assertive foreign policy based on the rise of global demand for gas and oil shape the political reality in Central Asian countries. Different from the great power-dominated era in the 19<sup>th</sup> century, the Central Asian states largely determine who they will form partnerships with. They may shift balance of global power to create more options and new partnerships (Akiner, 2011:401).

Nevertheless, basically, Central Asian countries are very fragile in coping with external threats. The US, Russia, and China are the three dominant players in this region. They do not act with one accord, as offers chances for Central Asian countries to survive. However, for Central Asian countries, the presences of powers in this region have brought about more challenges than opportunities. Under these circumstances, Central Asian countries need to know how to adjust themselves to a very much complicated and precarious environment in striving for better survival. Not surprisingly, some highlighting concepts often adopted in the Central Asia's international politics include regional peace, regional stability, regional balance, regional cooperation, political neutrality, non-violence, non-military, and non-nuclear, etc.

In contrast to dominant powers, Central Asian countries are exposed to daily and immediate threats and challenges, mostly categorized as non-traditional security. The Taliban strong foothold in Afghanistan is a typical case which generates the threats of terrorism, drug trafficking, and international crime intimidating all of the leaders in Central Asian countries. In combating against Taliban-dominated Afghanistan, the US presence in Central Asia is greatly welcomed by Central Asian leaders. Nevertheless, backed by the US, "the Color Revolution" erupted in Georgia, Ukraine, and Kirghizia has brought about the danger of regime change for any incumbent government. The basic concerns for the Central Asian leaders are primarily on the safeguard of their own sovereign independence. Any encroachment on the sovereign independence of the individual countries will be regarded as an unfriendly move in this region. It would certainly deteriorate the relations between the US and the individual Central Asian countries, and then, simultaneously offer the space for other powers, especially both Russia and China, to move in. Kazakhstan and Uzbekistan are two of

the Central Asian countries with much more ambition in regional politics. The US as well as the EU, under the name of human rights and democracy issues, strongly interfering into Uzbek government's cracking down on a protest in the town of Andizhan had angered Uzbek government. The political relations between Uzbekistan and the West turned worse. The US base was then evicted from Uzbek Karshi-Khanabad air base on November 21<sup>st</sup>, 2005. A week prior to it, Russia and Uzbekistan signed an agreement on "Treaty of Alliance Relations" on November 14<sup>th</sup>, 2005. The US is forced to shift its garrison to the airbase in Afghanistan. But, there is no forever friend and there is no forever enemy. The United States was reportedly conducting talks with Turkmenistan and Uzbekistan about opening up bases since March 2009 (Abbasov, 2009).

From a security point of view, the geographic proximity also makes Russia's and China's presence in this region much easier than that of the US. The daily contacts of different people across the borders of the neighboring countries will shape solid structures of the daily life which may significantly overwhelm diplomatic processes. President Putin's presidency made very clear his commitment to re-establish Russia's preeminent regional as well as international positions (Kanet, 2010:4). Chinese leaders also see Central Asia as its historic backyard. China has made a lot of efforts in catering for Central Asian countries with practical interests.

The great powers are striving for their own national interests in this region. However, in terms of strategic concerns, the relations between Russia, China, and the United States, need not be a zero-sum game. The most sensitive matters for them are any coordinated effort made by any of them. In a sense, China, Russia, and the US are all concerned about their relative positions vis-à-vis the other two (Villalobos, 2010). It is noted that since the seeking of practical interests is so crucial to every player in this arena, hence, the disparities among them cannot be over-exaggerated. For instance, all the three countries, along with Central Asian states themselves, have an interest in defeating the terrorist threats from Islamic extremists, countering illegal drugs and human trafficking, and addressing illegal arms trading. Besides, as far as the main players are concerned, they all pay a high interest in the economic development of the region (Villalobos, 2010).

Clearly, 9/11 makes Central Asia the focus of the powers' struggle and, under the guise of peace and stability, the involved major players have been scrambling for their own strategic interests and concerns. In order to maintain the regional economic prosperity and political stability, an increase of oil production and export seems to be a must for all the major participants in this region (Amineh & Houweling, 2004:91-92). Paradoxically, political stability has no easy ride in a resource-rich region unless there is a concerted effort in exploiting the oil and gas resources. It seems inevitable that competition and cooperation co-exist in the energy politics in this region (Amineh & Houweling, 2004:231).



## II. Russia's Strategy toward Central Asia

After the collapse of the Soviet Union, the commonwealth of Independent States (CIS), comparable to a very loose association of states, has appeared as a successor entity to the USSR. The CIS was founded on 8 December 1991 by the Republic of Belarus, the Russian Federation, and Ukraine. On 21 December 1991, the leaders of eight additional Soviet Republics—Armenia, Azerbaijan, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Moldova, Turkmenistan, Tajikistan, and Uzbekistan---signed the Alma-Ata Protocol and joined the CIS. Based upon the Alma-Ata Protocol, the CIS consists has brought the number of participating countries to eleven<sup>1</sup> In a geo-strategic point of view, Russia has regarded the west and the south as its main sources of external threats. Central Asia, without question, has become a vital part in its defense concerns. Russia has even some military bases and weapons test sites in Central Asian countries.

Since mid-1990s, as then-President Vladimir V. Putin criticized, the US government has been continuing its containment policy toward Russia by collaborating US oil companies in negotiating their access to the gas fields and to building gas pipelines to the West. Nevertheless, it was only after the 9/11 terrorist attacks, did the US actively expand its activities in Central Asia. Furthermore, the theme of US strategic interests has been gradually shifted to anti-terrorism in wider regional and global contexts although the disagreements dividing both Russia and the US since 1990s have not disappeared (Kanet,2006:14). Under these circumstances, Russia has turned itself ambivalently to be both a supporter of and a defender against the US involvement in its backyard (Kanet, 2006: 15). But, Russian leaders, like Putin as well as President Dmitry Medvedev, have reiterated again and again that Russia has been ignored by the West. In pursuing its glorious past, Russian leaders will not permit Russia to become a dependent supporter of the US (Kanet, 2006: 21).

As a matter of fact, ever since Putin took power, both economic growth and nationalism have been the foundations on which Russian government has tried to rebuild its authoritarianism for its glorious past. Russia tried very hard in consolidating its security linkages with Central Asian countries and strengthened its influences in the oil and gas sectors in Central Asia. In May of 2007, Russia sealed an agreement with Kazakhstan and Turkmenistan to upgrade the Prikaspiiski natural gas pipeline that travels around the Caspian Sea. Besides, Turkmenistan, Kazakhstan, and Uzbekistan agreed to restore two other natural gas pipelines. Russia stands to double its imports of Central Asian gas to nearly 90 billion cubic meters. Russia also secured an agreement with Kazakhstan to expand the Caspian Pipeline Consortium (CPC) route and convinced Kazakhstan to supply up to 17 million tons of oil per year through a Russian-controlled pipeline running between Bulgaria and Greece. Russia's successful engagements with Central Asian countries in energy projects have impeded US hope to build a trans-Caspian pipeline. With these deals, Russia skillful constrains the US influences in Central Asia. It is a fact that the growing European

---

<sup>1</sup> <http://www.answers.com/topic/commonwealth-of-independent-states>

dependence on Russian energy has raised serious concerns of the US and a number of Central European countries.

Besides, when the president of Uzbekistan Islam Karimov was rebuked by the West, July 2005, Putin extended his warmest welcome to Karimov's visiting Moscow. Putin also actively started political dialogue with President of Kyrgyzstan Kurmanbek Bakiev. Clearly, Russia tried to offer strong political support in appeasing the power-holders and to triumph over US presence in this region. It is not only a matter of security, but also one of Russian historical missions. Besides, in order to safeguard its freedom to get rid of US domination, Russia may choose to strategically lean towards the EU or rising China.

### **III. China's Strategy toward Central Asia**

From a geo-strategic point of view, historically Central Asia has been the very crucial frontier for China. Chinese government has poured a plenty of sources in a defense build-up and the ethnic fusion. Besides, Central Asia is also a very important region for China's procurement of energy and trade for developing China's economy. In order to skillfully stabilize and harmonize its relations with Central Asian countries, Chinese government actively takes a soft approach by setting up both physical and spiritual infrastructures, such as energy pipelines, railroads and highways, and, Confucius institutes which are to spread Mandarin throughout Central Asia (Wong, 2011).

For the sake of diversifying sources of energy, Central Asia has become an alternative outside the Middle East for China. Not like the Strait of Malacca, the new pipelines from Central Asia to Xinjiang will not be disturbed by US military presence. China tends to strategically use "peaceful development" as a pretext to skillfully and silently expand its influences into its neighboring countries around its borders. In accordance with this strategy, Beijing set up many trade missions in every Central Asian country, invested in local enterprises, donated money to aid projects and gave a high profile to the Shanghai Cooperation Organization (SCO). Certainly, even in a passive sense, a stable Central Asian region also favors China because Central Asia's running into military conflicts will be likely to spread over to China's Xinjiang. In a word, it is quite of China's interests to help Central Asian countries develop their own market economies and create their infrastructures (Bransten, 2004).

The complicated religious and racial relations and problems are also one salient feature in Central Asia. Muslim has been the most predominant religion in Central Asia. Adjacent to Central Asia, Xinjiang is a Muslim-dominated and the biggest province of China. A stable and prosperous relationship with Central Asia is of great importance for China. In this sense, for China, American troops and military alliances in Central Asia, India and Afghanistan have been regarded as a containment strategy aimed at China. Amid the significant players in Central Asia, China has also tried very hard to unite Russia to counter against the US (Wong, 2011).

Currently, the strategic significance of China's new presence in Central Asia is more in

an economic sense, trying to integrate Xinjiang with Central Asia. Economy, instead of military presence, is a smart approach which is welcome, at least not opposed, by the US in looking for the individual national interests. The energy issues have been of China's concerns. The Turkmenistan-China natural gas pipeline transits Uzbekistan and Kazakhstan. Central Asian countries, especially Kyrgyzstan, have become an important transit point for Chinese goods to export to the Caspian Sea region, Russia and Europe. Besides, the trade between China and the five Central Asian countries totaled \$25.9 billion in 2009, up from \$527 million in 1992. The headline of "China Quietly Extends Footprints into Central Asia" in an article has clearly pointed out the increasing substantial influences of China in this region (Wong, 2011).

The economic development has become the common interests for the major players in this region, resulting in the reopening of the ancient Silk Road trade routes through Central Asia (Villalobos, 2010). Central Asia has been well-known for its reserves of oil and gas. Turkmenistan holds the fourth-largest gas reserves in the world, is selling more gas to China than to Russia. China's interests in countries such as Kazakhstan and Turkmenistan are motivated to a large extent by its need for energy resources.

In November 2009, China financed Kazakhstan \$10 billion for building roads, railways, and telecommunications networks. The west of Kazakhstan is recently known as the planet's biggest oil field in more than two decades. Chinese firms now control roughly one quarter of Kazakhstan's oil production. The pipeline stretching from western Kazakhstan through Tian Shan Mountains to Xinjiang is expected to carry 20 million tons of oil a year by 2013 (Beech, 2011:79). Chinese President Hu took with him \$ 2.5 billion in investment and currency deals when he visited Kazakhstan in June, 2011 (Beech, 2011:79). In June 2010, China agreed to lend Turkmenistan \$4 billion to develop its largest gas field, South Yolotan. This was part of a 30-year deal that should eventually bring China 40 billion cubic metres of gas each year. In December, 2009, President Hu and the leaders of three Central Asian countries gathered at the Saman-Depe gasfield in eastern Turkmenistan to inaugurate a 1,833km (1,139-mile) gas pipeline, running through Uzbekistan and Kazakhstan into China's far-western region of Xinjiang. Kazakhstan now sells one quarter of its oil to China. That pipeline is expected to reach its full capacity of 40 billion cubic meters by 2012 or 2013, and Turkmenistan has been contracted to transport gas to China for 30 years. In addition to paying for pipeline expansions, China is paying for a 3,000-kilometer highway across Kazakhstan (Brooke, 2010).

The Chinese government is adept at mobilizing governmental or party networks to facilitate its business opportunities. Earlier September 2011, the head of China's National Energy Administration Liu Tienan visited Kazakhstan, Turkmenistan, and Uzbekistan for energy cooperation. Liu's trip to Uzbekistan was soon followed by another Beijing delegation led by Wu Banguo, Chairman of the Chinese National People's Congress. Wu took that occasion to sign agreements with the president of Uzbekistan's senate, Ilgizar Sabirov, on the implementation of a number of trade and economic cooperation agreements and also inter-parliamentary cooperation. Then there followed a visit of Uzbekistan President Islam

Karimov to Beijing in April 2011. The April deals were worth US\$5 billion for investment projects (Cutler, 2011).

For China, the new line forms part of a global effort to secure energy supplies for its rapidly growing economy. Basically, Central Asia may meet China's thirst for energy consumption of oil and gas: gas from Turkmenistan and oil from Kazakhstan. Chinese investment is also going into other energy resources, such as hydroelectric projects in Tajikistan and Kyrgyzstan. Strikingly, Chinese governments' organizational supports for the economic expansionism are also contributing to its mounting influences in this region. With the crisscrossed engagement of Chinese officials and business leaders through signing cooperation agreements and contracts, there follows an influx of Chinese businesses and people into this region. It is a foreseeable spectacle to see China rising in this region. In Central Asia, linguistically, Russian is the popular trading language, but, commercially, Chinese is dominant: commodities offered by vendors including blue jeans, humidifiers, mobile phone chargers, and fresh apples are all imported from China. The mushroom growth of permanent shops represents a fixture of Central Asian urban life (Bransten, 2004). Beyond this, China's massive oil and gas investments have revealed its insatiable thirst for energy procurement. The International Energy Agency reports China is displacing the United States this year as the world's-largest energy consumer (Bransten, 2004). For resource-rich Central Asian countries, it is a chance to reduce dependence on Russian demand. Although Putin said that Russia could be comfortable with Turkmenistan's gas flowing eastward, many Russian strategic commentators showed their worries toward China (Comments, 2010).

It is well known that both the collapse of Soviet Union and 9/11 terrorist attacks left a structural space for China to expand its influences in Central Asia. As China is rapidly emerging as a world power, it is speculated that, in a decade or two China might directly challenge the supremacy of the United States. But before this happens, tactically, Beijing's leaders are trying to create a zone of friendly and stable countries around China's borders that will give them political support, as well as economic leverage in the future (Bransten, 2004). Apparently, China's skillful offer of credit policies, without any political stricture, to Central Asia in the wake of the global financial crisis erupted in the end of 2008 also upholds China's prestige in Central Asia. Besides, the Shanghai Cooperation Organization also assumes a very effective institutional setting for China to maneuver. Over years, the function of the SCO has become visible. With it, geo-strategically enmeshed with Central Asia, China's role as an integral and influential player in the region is also re-enforced (Freeman, 2011). In June 2010, President Hu Jintao granted \$10 billion in loans to the Shanghai Cooperation Organization nations to shore up the struggling economies. Apparently, the SCO plays a very important strategic role for China to exercise its influences in Central Asia. The improved bilateral relations between Central Asian countries and Russia, China, and Iran respectively as well as the enhanced operation of SCO have diluted the predominant influence of the US in Central Asia (Villalobos, 2010).

A materialist approach has brought China about immense interests domestically as well as diplomatically. To kill two birds with one stone, Chinese government tried to use economic means to neutralize political tension by transforming the site of 2009 riots, Urumqi, into a regional energy production hub. In a materialist mode of thought, Chinese leaders tend to believe that economic growth will facilitate its peaceful relationship and its political ties with its peripheral areas. By the same logic, the economic approach was also adopted in dealing with its Central Asian neighbors. The 2009 financial crisis made China much more competitive with its cash-rich presence. Hu Jin-tao announced a loan of \$10 billion loan to the Shanghai Co-operation Organisation (SCO) to shore up members faltering in the global downturn.

Although Beijing's influence on Kazakhstan is still not as pervasive as Moscow's. One-third of Kazakhstan's population is ethnically Russian; many Kazakhs speak Russian. But an influx of Chinese businesses and people into this region has worried many policy makers in this region. Above all, Chinese are very close-minded. They bring their workers, staff, and equipment from China under close supervision from Beijing (Beech, 2011:79). There is a latent and potential fear, especially in the countries bordering China that Chinese are hungry for land. They sometimes violate Kazakhstan's immigration and customs laws (Beech, 2011:79). As a most populous country, China's immigration naturally worries the region (Bransten,2004).

The increasing influences of China on Central Asia have also aroused fears of Central Asian countries toward China's expansionism and their nationalist sentiments against Chinese, especially in Almaty, Kazakhstan, which were again exacerbated by China's suppression of Xinjiang's rioting Uighurs in July 2009, who are regarded by Kazakhs as their brethren. In January of 2010 in Almaty, Kazakhstan, a protest erupted against a proposed land deal involving China (Wong, 2011). In May, 2011, Kazakhstan's opposition party sponsored a hundreds-strong demonstration against China.

#### **IV. The US Strategy toward Central Asia**

Central Asia, as everywhere, has been regarded by the US as a chess piece in the old battlefield of Euro-Asia for the new "Great Game." The US interests in Central Asia have been stressed on three areas over the past decades: security, political and economic reform, and energy access. Prior to September 11<sup>st</sup> 2001, the US focused primarily on ensuring a diversity of long-term Western energy reserves. Ever since the outburst of 9/11 terrorist attacks, the US has quickly changed its national interest priorities in Central Asia. Nevertheless, the wars on anti-terrorism and Islamic extremism remained the top priority for the US in Central Asia (Villalobos, 2010). Apparently, after US's invasion of Afghanistan owing to 9/11 terrorist attacks, US tremendously increased its powerful military presence in Central Asia for 13 military bases. The US took Central Asia as its defensive base to unseat the Taliban in Afghanistan (Villalobos, 2010).

To suppress Taliban-dominated Afghanistan is of Central Asian interests, the entire region of Central Asia therefore swiftly granted the United States basing access and over-flight rights after 9/11 terrorist attacks (Villalobos, 2010). However, the rifts between Uzbekistan and the US as well as the EU over Uzbek government's cracking down on a protest in the town of Andizhan deteriorated the government-to-government relations, as then pushed Uzbekistan to stick to Russia tighter. As revealed earlier, a balanced approach toward external powers has been always Central Asian countries' policy, the negotiations between the US and Uzbekistan over returning Uzbek Air base have never stopped since March 2008 as Uzbekistan allowed some US-led NATO members to use an airbase to assist operations in Afghanistan (Villalobos, 2010). On February 21, 2010, Richard Holbrook, the Obama administration's special representative for Afghanistan and Pakistan, rejected it and maintained that the US continues a transit hub at the Manas base in Kyrgyzstan (Moran, 2010). But, Holbrook's comments may be only diplomatic if the shutdown of the Manas base is inevitable finally.

In contrast to Russia and China, over the last few years since 2005, US influence in Central Asia seems to have significantly waned. The Polls show that Muslim society still largely distrusts the US because American troops remain in Iraq and Afghanistan (Growley, 2011). A very realistic concern for Kyrgyzstan has been reflected in the new president Almazbek Atambayev's speech. He claimed on November 1, 2011 that US's airbase in Kyrgyzstan has to be closed by 2014 since US presence has made Kyrgyzstan exposed to the threats of neighboring attacks starting from Iraq, then Afghanistan, and later Iran .

The US garrison not only angered local citizens, but also Russia. Russia sees Kyrgyzstan as part of its traditional sphere of influence. Interestingly, Russia also has a military airfield in Kyrgyzstan but was not mentioned by Present Atambayev while he commented the US garrison. He expressed his deep worry that Kyrgyzstan might have to look to Russian protection after the closure of US's air base . He even showed his interests in joining the customs union led by Russia (Schwartz, 2011).

It is widely believed that the setbacks were due in part to Russian and Chinese efforts to weaken U.S. influence in the region. It was very much speculated since former President Kurmanbek Bakiyev was in Moscow and had received a guarantee by Russia of over \$2 billion in financial aid at the time of the decision to close the American base at Manas (Villalobos, 2010). In a fierce competition with Russia as well as China in safeguarding its energy security in this region, it can be seen as a signal when the US sent its ambassador in May of 2011 to Turkmenistan for the first time over the past five years (Hurriyet Daily News, 2011). The US seemed to be trying to strengthen its presence in this region.

At any rate, in contrast to both Russia and China, United States' over-stress on a politico-strategic, instead of eco-strategic, approach toward Central Asian countries focusing on democratization and human rights issues apparently can hardly make allies with local governments in the region; on the contrary, Russia's and China's materialist approaches in stressing economic interests, such as new-found oil and gas wealth, seem more welcome.

The continued access to military bases in Central Asia will remain a vital interest to the United States for the foreseeable future. But United States' primacy on politico-strategic and military security may not match Central Asian countries' interest priority; the governments of Central Asian countries may be more interested in economic reform as well as the profit-making of energy. Nevertheless, the sense of crisis underling political regime had diluted the longing for United States' economic aids. They understood that they might have to pay huge cost for the economic aids.

Hence, since United States' primacy on politico-strategic and military security in Central Asia, with this reason, Russia and China will continue to oppose any continuing American presence in Central Asia; and they will also focus more on lucrative issues to cater to Central Asia's economic interests (Villalobos, 2010).

It is predicted that, in ten years, China and Russia will be the main rivals in Central Asia. Historically, Russia has the habit of dominating Central Asia as the former Soviet Union had. China, through the SCO, has shown its strong vigor and long-term ambition. For Central Asian countries, in contrast to the fading Russian legacy, China's influences in economic, social, and cultural spheres are rising up. More and more young people receive education in China and Chinese-educated elites may become a dominant force in Central Asia. As a piece of slang in Kazakhstan says that: "If you want to leave, study English. If you want to stay, study Chinese." (Brooke, 2010) The tactics that China engages Central Asia are not only loyalty but also money. Amid the fierce competition, America, Europe and other powers will become less important (Comments, 2010). Nevertheless, China rising has also aroused deep worries of the people in this region. Many Kazakhs are uneasy about China, a neighbor with a population 100 times that of Kazakhstan (Brooke, 2010). Then, if the above speculation comes into being, what will Russia and the US as well as the EU do next? Will they stand together to fight against China rising or they will expediently look for further collaborations with China for the sake of their respectively immediate interests?

## **V. Concluding Remarks**

Clearly, driven by the wheel of globalization, Central Asia's vitality and importance has been quickly rediscovered for its being recognized as an important stakeholder in many respects such as energy security, bordering zones of conflict and insecurity among Afghanistan, China's Xinjiang province, and Iran, a playground of Russian power politics, a transit area for criminal activity, and religious fervor in Afghanistan. This paper has indicated the complicate and entangled relations among the players involved, especially in the post-9/11 environment. It depicts the convergences and divergences innate in the changing relations. The relations among the US, Russia, China, and Central Asian countries need not be a zero-sum game, but someone may triumph eventually. During the marathon race for survival, power, and interests, someone may suffer a loss in the arena. Any policy maker in the process has to do something before it is too late. It will encourage policy makers to take pro-active

measures to defend their own national interests. Some of the issues are negotiable, but some are not. Strategies matter and the timing is also significant. Anyhow, the consciousness of development in this region based upon oil production remains a common value for all the major participants in this region.

As it is pointed out that after mid-2010s US influence in Central Asia has seemed significantly waned and to a certain extent displaced by both Russia and China. Above all, China's influences may match Russia's. Nevertheless, this evaluation may over-estimate economic primacy and overlook a balanced approach commonly pursued by Central Asian countries. It may also underestimate the potential desire for both democratic changes internally and nationalistic dignity externally underling the river of history. To prospect a changing Central Asia, there remain a lot of uncertainties ahead. It is quite too green and hasty to make a judgment over who will be the final winner in a foreseeable future.



## References

- [1] Abbasov, Shahin. (2009) Uzbekistan: US Officials Negotiating a Return to Uzbek Air Base – Source. March 22, 2009, [<http://www.eurasianet.org/departments/insight/articles/eav032309a.shtml>]
- [2] Akiner, Shirin. (2011) Silk Roads, Great Games and Central Asia. *Asian Affairs*, 42(3), November 2011, 391-402
- [3] Amineh, Mehdi Parvizi & Houweling, Henk. (2004) II. Caspian Energy: Oil and Gas Resources and Global Market. In Mehdi Parvizi Amineh & Henk Houweling (Eds.) *Central Eurasia in Global Politics: Conflict, Security, and Development*. (pp.77-92). Boston: Brill.
- [4] ----- (2004) VIII. The US and the EU in CEA. Relations with Regional Powers. In Mehdi Parvizi Amineh & Henk Houweling (Eds.) *Central Eurasia in Global Politics: Conflict, Security, and Development*. (pp. 77-92) . Boston: Brill.
- [5] Beech, Hannah. (2011) The New Great Game: The theater is Kazakhstan. The Player: China. *Time*, August 1-August 8, 78-80
- [6] Bransten, Jeremy. (2004) Central Asia: China's Mounting Influence. *EURASIANET.ogr.*, November 22, 2004. [<http://www.eurasianet.org/departments/insight/articles/pp112304.shtml>]
- [7] Brooke, James. (2010) China Displaces Russia in Central Asia. November 16, [<http://www.voanews.com/english/news/asia/China-Displaces-Russia-in-Central-Asia-108478134.html>]
- [8] Comments. (2010) The West's recession spurs China's hunt for energy supplies in its own backyard. *The Economist*, Jan 28, [<http://www.economist.com/node/15393705>]
- [9] Cutler, Robert M. (2011) China expands energy ties in Central Asia. Sep 29, [[http://www.atimes.com/atimes/central\\_asia/mi29ag01.html](http://www.atimes.com/atimes/central_asia/mi29ag01.html)]
- [10] Freeman, Charles. (2011) China's Emergence in Central Asia. December 11, [<http://csis.org/programs/freeman-chair-china-studies/past-freeman-chair-projects/chinas-emergence-central-asia>]
- [11] Growley, Michael. (2011) An Obama Doctrine? *Time*, 177(14), 2011, 18
- [12] Hurriyet Daily News, US sends first envoy to Turkmenistan in 5 years, May 17, 2011, [<http://web.hurriyetdailynews.com/n.php?n=us-sends-first-envoy-to-turkmenistan-in-5-years-2011-05-17>]
- [13] Kanet, Roger E. (2010) Russia and Greater Caspian Basin: Withstanding the US Challenges. *Tamkang Journal of International Affairs*, January, 13(3), 1-43
- [14] Moran, Andrew. (2010) U.S. will not re-open military air base in Uzbekistan. *Digital Journal*, February 21, [<http://digitaljournal.com/article/287898>]
- [15] Schwirtz, Michael. (2011) New Leader Says U.S. Base in Kyrgyzstan Will Be Shut. *The New York Times*, November 1, [<http://www.nytimes.com/2011/11/02/world/asia/kyrgyzstan-says-united-states-manas-air-base-will-close.html>]
- [16] Villalobos, Sylvia. (2010) US Declining Influence in Central Asia.

[<http://www.opinion-maker.org/2010/04/us-declining-influence-in-central-asia>] (Posted on 13. Apr, 2010)

[17] Wikipedia. (2011) Commonwealth of Independent States. *The Free Encyclopedia*, [[http://en.wikipedia.org/wiki/Commonwealth\\_of\\_Independent\\_States](http://en.wikipedia.org/wiki/Commonwealth_of_Independent_States)]

[18] Wong, Edward. (2011) China Quietly Extends Footprints into Central Asia. *The New York Times*, January 2,

[<http://www.nytimes.com/2011/01/03/world/asia/03china.html?pagewanted=all>]

## 論戴震的哲學體系

### Study on the System of Dai Zhen's Philosophy

黃勇中

Yong-Zhong Huang

國立高雄應用科技大學語文中心

講師

anko0114@yahoo.com.tw

### 摘 要

戴震（1724-1777），字東原，安徽休寧人，早年師事同鄉大儒江永（1681-1762），東原一生勤於治學，宿志求真，學識精深，在文字、聲韻、訓詁、名物、典制、數學、天文、地理以及哲學方面皆有輝煌成就。在哲學方面，東原建立了一個「系統」的哲學，這樣的成就在清乾嘉時期注重實證的學術氛圍之下，更顯得難能可貴，東原的哲學思想具有一貫性，即其所持論點皆基於共同原則而產生相互關係及次序，而每一部份在東原的哲學整體之中皆有其不可轉換的地位及功能，也就是說東原所討論的問題是全面性的，且東原在處理這些問題時有自覺的統一性，東原利用了從自己基本思想原則得來的目的和方法的統一，以從事和指導全部知識資料的統一加工。本文期望透過對東原哲學著作的爬梳，嘗試呈現東原完整之哲學體系。

**關鍵詞：**戴震、哲學、系統、哲學體系

## Abstract

Dai Zhen ( Dong Yuan, 1724~1777) was born in Xiu Ning, An Hui. He learned from the famous scholar Jiang Yong (1681~1762) in the early times of his learning. Dong Yuan was a hard-working scholar during his life-time, seeking for the truth of knowledge. He achieved great success on etymology, phonology, scholium, regulations and systems, math, astronomy, geography, and philosophy. Dong Yuan contributed a lot in philosophy and built a “system” in this field. Under the empirical research atmosphere in Qianlong and Jiaqing period, Dong Yuan developed a wholly different research system. Consistency could be found in his philosophy. Besides, every part of his argument could not be transformed or reversed. In other words, all the questions discussed by Dong Yuan were under fully consideration and based on his own principle. Besides, Dong Yuan processed the knowledge and information, sorting them into different categories by his consistent principle. This paper tried to present the complete system of Dong Yuan’s philosophy through investigating into his works.

**Keywords:** Dai Zhen, philosophy, system, system of philosophy

## 壹、前言

戴震現存著作中關於哲學的論著不多，且大抵成於晚年，<sup>1</sup>其中成書者有《原善》、《孟子私淑錄》、《緒言》、《孟子字義疏證》，單篇文論則有〈法象論〉、〈讀易繫辭論性〉、〈讀孟子論性〉、〈與某書〉、〈與段若膺論理書〉、〈答彭進士允初書〉、〈與段若膺書〉等，另有未完成之《中庸補注》一卷及已亡佚之《大學補注》一卷，<sup>2</sup>其中，東原的哲學思想主要體現於《原善》、《孟子字義疏證》兩書。首先，《原善》有初稿本與擴大定本之別，初稿三章作於乾隆丁丑至癸未（1757-1763）之間，擴大本則增訂於丙戌（1766），兩個本子的差異為初稿文簡難以遽解，而擴大定本則援引六經孔孟之言以釋之（初稿三章合序總計二千一百四十九字，擴大定本三卷合序則有九千零三十一字），<sup>3</sup>東原曾自謂其改定之動機云：

余始為《原善》之書三章，懼學者蔽以異趣也，復援據經言疏通證明之，而以三章者分為建首，次成上、中、下卷，比類合義，燦然端委畢著矣，天人之道，經之大訓萃焉。以今之去古聖哲既遠，治經之士，莫能綜貫，習所見聞，積非成是，余言恐未足以振茲墜緒也，藏之家塾，以待能者發之。<sup>4</sup>

其次，東原的另一部哲學大著為《孟子字義疏證》，此書歷經兩次改寫，初名《緒言》，改本名《孟子私淑錄》，定本輒稱《孟子字義疏證》。《緒言》草創於乾隆三十四年（1769），成於乾隆三十七年（1772）；《孟子字義疏證》成於乾隆四十一年（1776）冬後到乾隆四十二年（1777）春前之間，是東原的晚年定論；而《孟子私淑錄》則作於乾隆三十七年（1772）至乾隆四十一年（1776）之間。<sup>5</sup>

《原善》既經改定，故本文論述將以擴大之三卷本為主，其書分三卷，卷上十一章，卷中五章，卷下十六章，全書大抵依據卷上首章所載：「生生者，化之原，生生而條理者，化之流。」<sup>6</sup>之意加以發揮，而此意即東原哲學的主旨。其後《孟子字義疏證》之作亦繼續發揮此意，故《原善》可謂《孟子字義疏證》之張本，但就內容而言，《原善》偏於論性、論欲、論情、論仁、義、禮、智，而《緒言》、《孟子字義疏證》則偏重理氣、理欲之辨。

至於《緒言》、《孟子私淑錄》、《孟子字義疏證》三書則互有異同，《緒言》分三卷，上卷自立說，中卷尊孟子，下卷駁告子、荀子、揚雄、周、程、張、邵、朱、王文成諸

<sup>1</sup> 東原最早的哲學著作〈法象論〉完成於乾隆二十八年（1763），而東原卒於乾隆四十二年（1777），故東原哲學著作大抵成於晚年。參看鮑師國順（1997）。《戴震研究·東原著作繫年表》。台北：國立編譯館。頁 136-142。

<sup>2</sup> 段玉裁曾云：「《大學補注》一卷，《中庸補注》一卷（原注：未成，至「柔遠人也，懷諸侯也」而止），玉裁尚未得見，今乃得哲嗣中孚郵寄，讀之，蓋亦癸未（乾隆二十八年，1763）以前所為，未暇竟成之耳。其言理皆與《原善》、《孟子字義疏證》無纖微不合者，皆存《鄭注》而補之，《大學》之說親民、說格物，《中庸》之說致中和、說上下察，猶可補先儒所不到。始戶部與玉裁書，欲刊《大學補注》，然未果而卒。」參看氏著《戴東原先生年譜》，收入戴震（1999）。《戴震全集》第六冊。北京：清華大學出版社。頁 3419。

<sup>3</sup> 鮑師國順（1997）。《戴震研究》。頁 309。

<sup>4</sup> 戴震（1999）。《原善·序》，收入氏著。《戴震全集》第一冊。北京：清華大學出版社。頁 9。以下所引東原著作皆參看《戴震全集》，故僅列篇名與頁數。

<sup>5</sup> 鮑師國順（1997）。《戴震研究》。頁 311。

<sup>6</sup> 《原善·卷上》，頁 10。

子，以及老、莊、釋氏之言，就內容而言，《緒言》所論與《原善》大體相同，而歸結於重智。<sup>7</sup>至於《孟子私淑錄》則亦分三卷，卷上十一條，卷中四條，卷下十八條，大體相當於《緒言》之上下二卷，《孟子私淑錄》之上中二卷，即《緒言》之上卷，《孟子私淑錄》卷下與《緒言》卷下略同，而缺《緒言》卷中各條，其論說大體與《緒言》為近，而與《孟子字義疏證》為遠。<sup>8</sup>而《孟子字義疏證》也分三卷，卷上為理十五條，卷中為天道四條、性九條，卷下為才三條、道四條、仁義禮智二條、誠二條、權三條、後序一條，<sup>9</sup>共四十三條，就內容而言，從仁義禮智二條以上，《緒言》亦嘗言之，而誠、權二目卻未及之。而《孟子字義疏證》與《緒言》、《孟子私淑錄》最大的不同之處在於「理」論的全面發揮，錢穆（1895-1990）曾說：

蓋東原《緒言》立意，在辨宋儒理氣論之妄，而別立一「天地、人物、事為不易之則」以代之。其辨僅在原先、要後之間，既無以大異乎宋儒之渺茫，則亦終無以大闢宋儒之說也。至其《孟子字義疏證》則不然……東原《孟子字義疏證》，其大不同於《緒言》者，厥為其對「理」字所下之界說。<sup>10</sup>

《緒言》與《孟子私淑錄》內容相近，雖已開始建立東原自得的哲學體系，但終尚未成熟，所以對於宋儒哲學的批判未能有一堅實的理論基礎，僅能指陳「理，要其後非原其先」<sup>11</sup>之意，東原於此僅指出「理」是物中的理，不是超越於外之理：其「要其後」的意思，是指此「理」乃氣中之理，即氣是第一義，理是第二義；而「非原其先」則是指非先有一個超越的理作主的意思。此時東原對於「理」的看法，雖已顯現出與程朱「理一分殊」的超越之理的不同路向，然東原早期卻並未對於「理」字下一個明確的定義，而這個缺憾到了《孟子字義疏證》一書才得以補足，因此，我們可以說《孟子字義疏證》是東原的晚年定論，也是代表東原哲學的最高成就。故本文於東原哲學體系之探究將以《孟子字義疏證》一書為主，而以《緒言》、《孟子私淑錄》二書為輔討論之。

## 貳、本體論

在東原的哲學體系中，「道」即是「生生流行」的主體，是具體的存在，而在實體實物的「道」之中同時蘊含著「有條理的、不止息的」自然規律，東原的「道論」即是他的「本體論」。所謂本體（Noumenon）即物自身（Thing-In-Itself），指不繫於我人認識即不僅「對我們」而存在的事物，也就是其自身真正存在而與表象對立的存有物。<sup>12</sup>在

<sup>7</sup> 錢穆（1995）。《中國近三百年學術史》。台北：台灣商務印書館。頁 381。

<sup>8</sup> 錢穆。〈記鈔本戴東原孟子私淑錄〉。收入氏著（1998年）。《中國學術思想史論叢·五》。台北：聯經出版社。頁 333。

<sup>9</sup> 北京清華大學出版《戴震全集》依段玉裁〈答程易田丈書〉舉《孟子字義疏證》內容云「權五條」，而在目錄中亦載「權五條」，但考之《孟子字義疏證》卷下，「權」目僅四條，而未條「問：孟子闢楊墨，韓退之闢老釋，今子於宋以來儒書之言，多辭而闢之，何也？」鮑師國順以為應從胡適之說，以之為此篇結論，列為「後序」。參看鮑師國順（1997）：《戴震研究》註。頁 361。

<sup>10</sup> 錢穆（1995）。《中國近三百年學術史》。頁 382。

<sup>11</sup> 《緒言·卷下》，頁 103。

<sup>12</sup> 項退結 編譯（1999）。《西洋哲學辭典》。臺北市：華香園出版社。頁 537。嚴格來說，康德的「物自身」，是限制概念，人是不可知的，而東原的道，是一陰一陽，是可感知的，兩者不同，似乎不該如此比配，然筆者以為東原的「道」是其哲學體系中比較接近「本體」定義的概念，是一切萬物的真實存

東原的哲學體系中具有「本體」定義的是「道」的概念，而東原論「道」包括兩個側面：其一，「道」是實體實事，包含一切的真正存在，如陰陽五行、自身以及身之所親：

天道，五行陰陽而已矣。<sup>13</sup>

陰陽五行，天道之實體也。<sup>14</sup>

道有天道人道。天道，陰陽五行是也；人道，人倫日用是也。<sup>15</sup>

《易》「一陰一陽之謂道」，則為天道言之，若曰道也者一陰一陽之謂也。<sup>16</sup>

曰性，曰道，指其實體實事之名……故語道於天地，舉其實體實事而道自見。<sup>17</sup>

出於身者，無非道也，故曰「不可須臾離，可離非道」，「可」如「體物而不可遺」之「可」……道者，居處、飲食、言動，自身而周於身之所親，無不該焉也，故曰「修身以道」。<sup>18</sup>

東原認為萬物的本體為道，而道在形成萬物之前，其實質為陰陽五行（也就是「氣」），稱為「天道」；當氣化分於陰陽五行而成人類時，則稱「人道」，雖然東原的「道」概念分天道與人道而論，但其實質皆來自陰陽五行，都是真正存在的實體實事，所以侯外廬認為戴震自然哲學中所謂「道」，是指哲學上的存在（Sein），而這存在是可感覺的實體，<sup>19</sup>東原所謂「自身而周於身之所親，無不該焉」即說明此一存在是可以感覺的。

其二，「道」是萬物變化流行所依循的法則：

道，猶行也；氣化流行，生生不息，是故謂之道。<sup>20</sup>

道，言乎化之不已也。<sup>21</sup>

五行之成形質者，則器也；其體物者，道也。<sup>22</sup>

一陰一陽，蓋言天地之化不已也，道也。<sup>23</sup>

一陰一陽，流行不已，生生不息。主其流行言，則曰道；主其生生言，則曰德。道其實體也，德即於道見之者也。<sup>24</sup>

一陰一陽，流行不已，夫是之為道而已。<sup>25</sup>

在天地，則氣化流行，生生不息，是謂道；在人物，則凡生生所有事，亦如氣化之不可已。<sup>26</sup>

在，而東原亦主張人能感知此一存在，即「道」可分作「理」與「氣」兩個側面貼近之，「道」固不可感知，然「理」與「氣」則可為人所覺察矣。

<sup>13</sup> 《原善·卷上》，頁 13。

<sup>14</sup> 《孟子私淑錄·卷中》，頁 43。

<sup>15</sup> 《緒言·卷上》，頁 83。

<sup>16</sup> 《孟子字義疏證·卷中》，頁 173。

<sup>17</sup> 《孟子字義疏證·卷下》頁 194。

<sup>18</sup> 《孟子字義疏證·卷下》，頁 196。

<sup>19</sup> 參看侯外廬主編（1958）。《中國思想通史·第五卷》。北京：人民出版社。頁 431。

<sup>20</sup> 《孟子字義疏證·卷中》，頁 172。

<sup>21</sup> 《原善·卷上》，頁 9。

<sup>22</sup> 《原善·卷上》，頁 10。

<sup>23</sup> 《原善·卷上》，頁 10。

<sup>24</sup> 《孟子私淑錄·卷上》，頁 40。

<sup>25</sup> 《孟子字義疏證·卷中》，頁 173。

<sup>26</sup> 《孟子字義疏證·卷下》，頁 194。

東原以爲萬物皆處於不斷地變化之中，最原始的存在——陰陽五行（氣），運動流行不息，而其所依循的法則正是「道」。如此，「道」不但是東原哲學裡的最高存在，同時也是規定此存在不斷流行的法則，就是東原哲學中「本體」的面貌。而在東原的哲學之中恰有兩個概念足以呈現「道」的兩個側面，也就是「氣」與「理」的概念：

古人言道，恆賅理氣，理乃專屬不易之則，不賅道之實體。而道、理二字對舉，或以道屬動，理屬靜……或道主統，理主分；或道賅變，理主常。此皆虛以會之於事為，而非言乎實體也。<sup>27</sup>

古人稱名，道也，行也，路也，其義交互相通……謂之氣者，指其實體之名；謂之道者，指其流行之名。道有天道人道，天道以天地之化言也，人道以人倫日用言也。是故在天地，則氣化流行，生生不息，是謂道；在人物，則人倫日用，凡生所有是，亦如氣化之不可已，是謂道。<sup>28</sup>

道之「不易之則」的側面由「理」呈現，「理」所表達的是有關實體運動的內在規定性概念；道之「實體」的側面由「氣」呈現，「氣」所表達的則是作爲瀰漫於宇宙的質料的實體概念。「道賅理氣」，即說明「理」與「氣」是居於「道」之下的概念，簡言之：即「理」是「道」之則，「氣」是「道」之形，「道」是一切的真實存在，本不可感知，然其形（氣）可見，其則（理）可循，透過對於「理」、「氣」的掌握，「道」也就可能感知了。故可以說：「道」本是最高的存在，而「理」、「氣」正是我們掌握與貼近它的憑藉，只因「理」、「氣」正足以呈現「道」的兩個側面，此東原「道賅理氣」之義也。

「道」既是真實存在的概念，但卻同時又以「氣化流行，生生不已」、「一陰一陽，流行不已」爲其內涵，也就是說「道」肯定了其本身的唯一實在性，排除了自我本身的一切超越的、原始的規定和根據，只有這樣它才能規定「一陰一陽，生生不息」，而同時又是最終的實體，日人村瀨裕也稱之爲「哲學的物質概念」。<sup>29</sup>

## 參、宇宙論

東原雖然認爲宇宙萬物皆由實體的存在——「氣」流行而成，但東原並不否認在「氣」之中存在著超物質的固有規律——「理」，此即東原的「宇宙論」觀點。所謂宇宙論（Cosmology），即以具有生命及無生命的自然界爲研討對象，其任務是探求大自然的終究秘密；<sup>30</sup>更精確地說，宇宙論是探討由外部自然界所呈現的知識問題，故亦可稱作「自然哲學（Philosophy of Nature）」問題，或叫作「物理學（Physics）」問題。<sup>31</sup>東原以爲世界是由最高的存在——「道」所構成，「道」以其實體——陰陽五行（氣）不斷地流行變化以構成宇宙，包括有生命的「人物」與無生命的「天地」、「事爲」，此流行變化持續不止，而其所依循者爲「道」的內在規定——「理」：

<sup>27</sup> 《緒言·卷上》，頁 68。

<sup>28</sup> 《孟子私淑錄·卷上》，頁 34。

<sup>29</sup> 村瀨裕也（1996）。《戴震的哲學》。濟南：山東人民出版社。頁 117。

<sup>30</sup> 項退結 編譯（1999）。《西洋哲學辭典》。臺北市：華香園出版社。頁 364。

<sup>31</sup> 羅達仁譯 文德爾班（Wilhelm Windelband）著（1998）。《西洋哲學史》。台北：台灣商務印書館。頁 21。



生生者，化之原；生生而條理者，化之流。<sup>32</sup>

陰陽五行之運而不已，天地之氣化也。人物之生本乎是，由其分而有之不齊，是以成性各殊。知覺運動者，統乎生之全言之也，由其成性各殊，是以得之以生，見乎知覺運動也亦殊。氣之自然潛運，飛潛動植皆同，此生生之機原於天地者也。<sup>33</sup>

氣化生人生物以後，各以類滋生久矣；然類之區分，千古如是也，循其故而巳矣。在氣化分言之曰陰陽，又分之曰五行，又分之，則陰陽五行雜糅萬變。是以及其流行，不特品類不同，而一類之中又復不同。<sup>34</sup>

人物受形于天地，故恆與之相通……內外相通，其開竅也，是為耳目口鼻……資於外足以養其內，此皆陰陽五行之所為，外之盈天地之間，內之備於吾身，外內相得無間而養道備。<sup>35</sup>

東原認為天地是由陰陽五行不斷運行，氣化而成，自天地以下，萬物亦然，只是陰陽五行在氣化生成宇宙的過程之中依循著一定規律，由陰陽分之為五行，而後又繼續分之，陰陽五行雜糅萬變而成萬物，因為「萬變」，所以萬物品類不同，成性各殊，但相同的是天地、萬物、事為皆由「氣」的不斷運動而形成，這就是所謂的「生生之道」，至於「氣」何以有此合於法則的運動，東原只說明其現象而未明確指出其原因，故侯外廬以為這是東原的哲學限於經驗主義之故。<sup>36</sup>然而筆者以為氣之有法則，正是氣之有理（東原也是如此看待），縱是經驗主義，也是有一個內在的法則屬性、條理，故東原雖未明言之，然卻不礙於其宇宙論之整體觀點，故侯氏之「限於經驗主義」之說並未足以證成東原哲學是具有其局限性者。

此外，氣的運行是循環不息，生生不已的，東原曾舉人物之生死為「氣融氣散」說明：

人物分於陰陽五行以成性，成是性斯為是材以生，可以原始而知也；形散氣散而死，可以反終而知也。其生也，精氣之融以有形體，凡血氣之屬，有生則能運動，能運動則能知覺，知覺者，其精氣之秀也。<sup>37</sup>

東原以為天地、人物皆本於陰陽五行之氣化，但人物受形於天地，而以耳目口鼻之竅通於天地，故能資天地之氣以自養，類此種種妥貼的安排皆陰陽五行依「理」而為之。

關於規定宇宙起源與變化的「理」，東原有詳細地加以定義與說明其特質：

理者，察之而幾微必區以別之名也，是故謂之分理。在物之質，曰肌理，曰腠理，曰文理，得其分則有條而不紊，謂之條理。<sup>38</sup>

天地、人物、事為，不聞無可言之理者也，《詩》曰：「有物有則」是也。物者，指其實體實事之名；則者，稱其純粹中正之名。實體實事，罔非自然，而歸於必

<sup>32</sup> 《原善·卷上》，頁 10。

<sup>33</sup> 《孟子私淑錄·卷中》，頁 48。

<sup>34</sup> 《緒言·卷上》，頁 70-71。

<sup>35</sup> 《孟子字義疏證·卷上》，頁 157-158。

<sup>36</sup> 侯外廬主編（1958）。《中國思想通史》。頁 433。

<sup>37</sup> 《孟子私淑錄·卷下》，頁 60-61。

<sup>38</sup> 《孟子字義疏證·卷上》，頁 151。

然，天地、人物、事為之理得矣。<sup>39</sup>

陰陽流行，其自然也；精言之，通乎其必然不可易，所謂理也。語陰陽而精言其理，猶語人而精言之曰聖人耳。聖人而後盡乎人之理，盡乎人之理非他，人倫日用盡乎其必然而已矣。<sup>40</sup>

物者，指其實體實事之名；則者，稱其純粹中正之名。實體實事，罔非自然而歸於必然，天地、人物、事為之理得矣，自然之極則是謂理。<sup>41</sup>

東原認為「理」就是「條理」，即陰陽五行氣化分以生人生物所依循的「有條不紊」之則，陰陽五行之氣化所構成的宇宙屬於「自然」，而「自然」之中有其歸於「必然」的不易之則，而此不易之則即所謂「理」。

由此可知，東原的「理」存於實體實物的「自然」之中，而非別有一高於實體的「虛理」規定自然的一切運動，在東原的哲學中，最高的存在是實體—即「道」，而指導實體運動的不易之則包含於實體之中，實體之道的「生生」與不易之則的「條理」其實是互為表裡，互為體用，其所指射者為相同的存在：

其流行，生生也，尋而求之，語大極於至鉅，語小極於至細，莫不各呈其條理；失條理而能生生者，未之有也。故舉生生即賅條理，舉條理即賅生生，信而可徵曰德，微而可辨曰理，一也。<sup>42</sup>

惟條理，是以生生；條理苟失，則生生之道絕。<sup>43</sup>

生生之呈其條理，顯諸仁也；惟條理，是以生生，藏諸用也。<sup>44</sup>

東原的宇宙論中關於「人」形成的根源、過程以及限制有很詳盡的描述，東原認為人為宇宙的一部分，所以也是由陰陽五行氣化分之而成，同時人的生成也應遵守自然界的不可易之則—「理」，而由於理的內在規定性以致人的生成有等差之分：

《大戴禮記》曰：「分於道謂之命，形於一謂之性」言分於陰陽五行以有人物，而人物各限於所分以成其性。陰陽五行，道之實體也；血氣心知，性之實體也。有實體，故可分；惟分也，故不齊，古人言性惟本於天道如是。<sup>45</sup>

陰陽五行之運而不已，天地之氣化也，人物之生生本乎是，由其分而有之不齊，是以成性各殊。知覺運動者，統乎生之全言之也，由其成性各殊，是以本之以生，見乎知覺運動也亦殊。<sup>46</sup>

在天地，則氣化流行，生生不息，是謂道；在人物，則凡生生所有事，亦如氣化之不可已，是謂道……由天道以有人物……人物分於天道，是以不齊也……日用事為，皆由性起，無非本於天道然也……人道本於性，而性原於天道，天地之氣化流行不已，生生不息。<sup>47</sup>

<sup>39</sup> 《孟子字義疏證·卷上》，頁 163。

<sup>40</sup> 《孟子私淑錄·卷上》，頁 39。

<sup>41</sup> 《孟子私淑錄·卷下》，頁 63。

<sup>42</sup> 《孟子私淑錄·卷上》，頁 40。

<sup>43</sup> 《孟子字義疏證·卷下》，頁 199。

<sup>44</sup> 《原善·卷上》，頁 11。

<sup>45</sup> 《孟子字義疏證·卷中》，頁 172。

<sup>46</sup> 《孟子字義疏證·卷中》，頁 178-179。

<sup>47</sup> 《孟子字義疏證·卷下》，頁 194。

氣化生人生物以後，各以類滋生久矣；然類之區分，千古如是也，循其故而己矣……凡分形氣於父母，即為分於陰陽五行，人物以類滋生，皆氣化之自然。<sup>48</sup>東原的宇宙論是上承其本體論而來，而其宇宙論中關於「人」生成的理論基礎亦可以為其認識論與倫理學張本，<sup>49</sup>胡適曾謂「（東原）他的性論是從他的天道論來的」，<sup>50</sup>侯外廬亦曾謂：「戴震的知識論和他的人性論是密切相關的」，<sup>51</sup>凡此皆足以窺見東原哲學的系統性。而由東原的「宇宙論」看來，東原的哲學大致與十七、十八世紀歐洲的自然神論（如牛頓、伏爾泰）相似，他們雖不承認一個作為造物主的人格神，但認為自然界有一種神秘的「物質力量」<sup>52</sup>主宰著演化與運動，他們也稱為「神」，但只是一種功能，而不是某種精神實體。<sup>53</sup>

## 肆、認識論

東原的「理」論即其「認識論」，所謂認識（Knowledge）是直接為人意識到的生命過程，在這一過程中，認識者在自身以內以一種特殊的活動方式佔有被認識者，<sup>54</sup>在東原的哲學體系中，人自身確實有一特殊的活動方式以佔有被認識者，在說明此一特殊方式之前，首先必須指出東原以為人之能意識到其生命過程，顯示人不同於其他萬物的獨特性，而此獨特性上承於天地，其本原亦從陰陽五行之氣化而來，在「理」的規定之下的有等差的氣化過程中，能得於「天德之全」的一群即成為「人」，應該注意的是，「人」的存在雖然得天獨厚，但其實也只是氣化的自然結果而已，即「人」僅是有等差的氣化所生成的最高層次，東原曾說：

人之生也，稟天地之氣，即併天地之德有之，而其氣清明，能通夫天地之德。物之得於天者，亦非專稟氣而生，遺天地之德也，然由其氣濁，是以錮塞不能開通，理義也者，心之所通也，天地之氣化生生而條理，人物分於氣化，各成其性，而清者開通，則能知性知天，因行其所知，底於無失，斯所以還於天地之德而已矣。<sup>55</sup>

人之材得於天獨全，故物但能遂其自然，人能明於必然。<sup>56</sup>

人物以類區分，而人所稟受，其氣清明，遠於物之不可開通。禮義者，心之所通也，人以有禮義異於禽獸，實人之智大遠乎物。然則天地之氣化，生生而條理，生生之德，鮮不得者；惟人性開通，能不失其條理，則生生之德因之至盛。物循乎自然，人能明於必然，此人物之異。<sup>57</sup>

<sup>48</sup> 《孟子字義疏證·卷中》，頁 176。

<sup>49</sup> 詳見下節〈認識論〉、〈倫理學〉之討論。

<sup>50</sup> 參看胡適（2000）。《戴東原的哲學》。台北：遠流出版社。頁 27。

<sup>51</sup> 侯外廬主編（1958）：《中國思想通史》。頁 443。

<sup>52</sup> 筆者按：此「物質力量」並非指完全從屬於物質條件的力量，應是指存在於物質中的「固有力量」，一種並非由物質條件所決定的力量。

<sup>53</sup> 參看王茂 蔣國保 余秉頤 陶清（1992）。《清代哲學》。安徽：安徽人民出版社。頁 616-617。

<sup>54</sup> 項退結 編譯（1999）。《西洋哲學辭典》。頁 297。

<sup>55</sup> 《緒言·卷上》，頁 71-72。

<sup>56</sup> 《孟子私淑錄·卷中》，頁 44。

<sup>57</sup> 《孟子私淑錄·卷中》，頁 52。

東原認爲人與萬物之別，在於有等差的氣化過程之中，人秉受天德之全以爲人，而物「遺天地之德」以爲物，因爲人「得於天獨全」，所以秉受之氣清明，其智遠大乎物，能以其心通於天地氣化生生之條理，而物之氣濁，其心錮塞不能開通，所以物只能遵循其自然的原始欲望，但人卻能明瞭存在於自然之中的「條理」，依理而行，底於無失，達到「明於其必然，適所以完其自然」<sup>58</sup>的境界。

至於人自身佔有被認識者的特殊活動方式，東原亦有清楚的描繪：

天德之知，人之秉節於內以與天地化育侔者也；耳目百體之欲，所受中而不可踰也……心之精爽以知，知由是進於神明，則事至而心應之者，胥事至而以道義應，天德之知也。<sup>59</sup>

凡生則有精爽……有血氣，夫然後有心知，有心知，於是有懷生畏死之情，因而趨利避害。其精爽之限之，雖明昧相遠，不出乎懷生畏死者，血氣之倫盡然。故人莫大乎智足以擇善也；擇善，則心之精爽進於神明，於是乎在。<sup>60</sup>

人之知覺，通乎天德，舉其知之極於至善，斯仁義禮智全矣，極於至善之謂理。<sup>61</sup>

人之血氣本乎化，人之心知配乎神，血氣心知無失，配乎天地之德，無憾無失，夫是之謂理而已矣。<sup>62</sup>

東原認爲人物之生皆有精爽，精爽即血氣心知，有心知就會有懷生畏死之情，這是人物生而具有的「自然性」，是人與萬物相同者，人之所以與萬物不同者，在於人的心知能通乎天德，能通乎天德故能思，能思則能擇善而使心之精爽進於神明，所謂神明即「人之精爽無蔽隔，無弗通」，<sup>63</sup>心知能進於神明則能極於至善，使心知無失無憾而配於天德，此即存在於自然事物之中的「理」，這就是東原哲學中人自身的「認識」過程。

雖然人自身有此特殊的認識方式，但並非每一個人都能使心知極於至善，而其原因在於之心知有「蔽」：

得乎生生者仁，反是而害於人之謂私；得乎條理者智，隔於是而病智之謂蔽。<sup>64</sup>凡血氣之屬，皆有精爽。其心之精爽，鉅細不同，如火光之照物，光小者，其照也近，所照者不謬也，所不照斯（所）<sup>65</sup>疑謬承之，不謬之謂得理；其光大者，其照也遠，得理多而失理少。且不特遠近也，光之及又有明闇，故于物有察有不察，察者盡其實，不察斯疑謬承之，疑謬之謂失理。失理者，限於質之昧，所謂愚也。<sup>66</sup>

惟人之知，小之能盡美醜之極致，大之能盡是非之極致……知之失為蔽，蔽則差

<sup>58</sup> 《緒言·卷中》，頁 86。

<sup>59</sup> 《原善·卷中》，頁 15。

<sup>60</sup> 《原善·卷中》，頁 15-16。

<sup>61</sup> 《緒言·卷中》，頁 93。

<sup>62</sup> 《緒言·卷下》，頁 103。

<sup>63</sup> 《孟子字義疏證·卷上》，頁 156。

<sup>64</sup> 《原善·卷下》，頁 21。

<sup>65</sup> 「斯」原作「所」，據胡適（2000）：《戴東原的哲學·附錄》。頁 177。云：「斯字孔刻本作所。依下文例改」。

<sup>66</sup> 《孟子字義疏證·卷上》，頁 156。

謬隨之矣……不蔽，則其知乃所謂聰明聖智也。<sup>67</sup>

東原認為人之精爽雖同得之於氣化之生生，但卻有鉅細之分，如火之照物，有光大光小，光及之明闇之分，所以人的心知亦有愚智之分，愚則知有所蔽，察物即有疑謬，故未能得事物之條理，其心知自然不能極於至善。

東原亦同時指出人雖有智愚之分，但無害其精爽進於神明之能，因為人心之精爽得之於氣化之生生，雖有鉅細，卻無害其所秉天德之全：

雖古今不乏下愚，而其精爽幾與物同者，亦究異於物，無不可移也。<sup>68</sup>

人則無不全也，全而盡之無憾者，聖人也，知之極其量也。<sup>69</sup>

人之於聖人也，其才非如物之與人異。物不足以知天地之中正，是故無節于內，各遂其自然，斯已矣。人有天德之知，能踐乎中正，其自然則協天地之順，其必然則協天地之常，莫非自然也；物之自然不足語於此。<sup>70</sup>

東原以為人之異於聖人非如物之異於人，物無知天德之能，而人皆「得天地之全能，通天地之全德」，<sup>71</sup>人與聖人之分僅在智愚，即使是「下愚」亦能盡其心知以至於無憾而成聖人，而此「人皆能成聖」的觀點亦即東原倫理學之所謂「性善」的理論基礎。

東原進一步指出人之欲盡其所秉天德之全，使心知極於至善，唯一的憑藉就是「學」：

惟學可以增益其不足而進于智，益之不已，至乎其極，如日月有明，容光必照，則聖人矣。<sup>72</sup>

就人言之，有血氣，則有心知；有心知，雖自聖人而下，明昧各殊，皆可學而牖其昧而進於明。<sup>73</sup>

禮義雖人皆可以知，可以能，聖人雖人之可積而致，然必由於學。弗學而能，乃屬之性；學而後能，弗學雖可以而不能，不得屬之性。<sup>74</sup>

聖人之言，無非使人求其至當以見之行；求其至當，即先務於知也。凡去私不求去蔽，重行不先重知，非聖學也。<sup>75</sup>

神可以主宰樞紐言，思可以敏鈍得失言，知可以淺深精粗言，皆根於性而存乎材者。理，譬之中規中矩也，氣通而神，是以能思，資于學以導其思，以極其知之量，古聖賢之教也。<sup>76</sup>

心性之資於問學，進而賢人聖人，非「復其初」明矣……古聖賢知人之得於天有等差，是以重問學，貴擴充。<sup>77</sup>

東原認為相對於聖人之智，一般人皆生而愚者，此人之成於氣化之生生的自然等差，為

<sup>67</sup> 《孟子字義疏證·卷下》，頁 192。

<sup>68</sup> 《孟子字義疏證·卷中》，頁 181。

<sup>69</sup> 《孟子私淑錄·卷中》，頁 48。

<sup>70</sup> 《原善·卷中》，頁 18。

<sup>71</sup> 《原善·卷中》，頁 19。

<sup>72</sup> 《孟子字義疏證·卷上》，頁 156。

<sup>73</sup> 《孟子字義疏證·卷上》，頁 170。

<sup>74</sup> 《孟子字義疏證·卷中》，頁 183。

<sup>75</sup> 《孟子字義疏證·卷下》，頁 207-208。

<sup>76</sup> 《孟子私淑錄·卷下》，頁 58。

<sup>77</sup> 《孟子私淑錄·卷下》，頁 60。

了彌補與聖人之間的差距，東原認為只有依靠「學」之積累以增益初生時的不足，所以人之為聖非「復其初」，東原強調重問學的目的是為「擴充」。其實，東原此論乃針對程朱一脈之「為學復初」的觀點所發，朱子曾云：

今之為學，須是求復其初，求全天之所以與我者，始得。若要全天之所以與我者，便須以聖賢為標準，直做到聖賢地位，方是全得本來之物而不失。如此，則功夫自然勇猛。臨事觀書常有此意，自然接續。若無求復其初之志，無必為聖賢之心，只見因循荒廢了。<sup>78</sup>

程朱的觀點是認為天之所以與我者本來具全，故為學者只須「復其初」便可得聖人之境界，故須以聖賢為標準，有必為聖賢之心，則學之可成矣。東原論學的「擴充」路向，完全是與程朱之觀點背馳，程朱主為學應內求，而東原則主為學須外充。於此，吾人亦可得見清代「漢宋之爭」之根本立場的差異，東原此論，固可視為代表「漢學」之為學立場，而欲爭勝負於程朱所代表之「宋學」的為學路向，然須注意的是：「為學須外充」的觀點本構築於東原的哲學體系之中，東原的主張是其哲學體系的必然理路，不可僅僅視為是因「漢宋之爭」，刻意針對程朱之說而提出其挑戰觀點。

最後，東原指出人自身的認識可能的限制為「以意見為理」：

心之所同然始謂之理，謂之義；則未至於同然，存乎其人之意見，非理也，非義也。凡一人以為然，天下萬世皆曰「是不可易也」，此之謂同然。舉理，以見心能區分；舉義，以見心能裁斷……人莫患乎蔽而自智，任其意見，執為理義。吾懼求理義者以意見當之，孰知民受其禍之所終極也哉。<sup>79</sup>

東原所謂由心知而思，思而擇善，擇善而神明極於至善的認識過程，雖說憑藉的是「以學問而擴充之」，但後天的問學可能有所偏差，以致心知之擇善也未必得當，若人固執其偏差以為真理，欲推之一切而準之，就會落入「以意見當理」的窠臼，遺禍他人。東原指出人心之所同然的「不易之則」才是理、才是義，不能獲得普遍認同的只是個人的「意見」，如果人對於真理的理解有所偏差，卻又固執己見，往往會造成「以理殺人」<sup>80</sup>後果，這是人自身認識過程的可能限制，為了彌補此一認識論上的可能限制，東原提出了「權」的觀念：

權，所以別輕重也，凡此重彼輕，千古不易者，常也，常則顯然共見其千古不易之重輕；而重者於是乎輕，輕者於是乎重，變也，變則非智之盡，能辨察事情而準，不足以知之……雖守道卓然，知常而不知變，由精義未深，所以增益其心知之明使全乎聖智者，未之盡也……執其意見，方自信天理非人欲，而小之一人受其禍，大之天下國家受其禍……古今不乏嚴氣正性、疾惡如仇之人，是其所是，非其所非，執顯然共見之重輕，實不知有時權之而重者於是乎輕，輕者於是乎重，

<sup>78</sup> 參看〔宋〕黎靖德編（2003）。《朱子語類》。收入《文淵閣四庫全書》。上海市：上海古籍出版社。頁702-401。

<sup>79</sup> 《孟子字義疏證·卷上》，頁153。

<sup>80</sup> 東原曾云：「酷吏以法殺人，後儒以理殺人，浸浸乎舍法而論理，死矣！更無可救矣！」，見〈與某書〉，頁212。

其是非輕重一誤，天下受其禍而不可救。豈人欲蔽之也哉？自信之理非理也。<sup>81</sup>  
聞見不可不廣，而務在能明於心。一事豁然，使無餘蘊，更一事而亦如是，久之，  
心知之明，進于聖智，雖未學之事，豈足以窮其智哉……致其心之明，自能權度  
事情，無幾微差失。<sup>82</sup>

東原所謂的「權」就是要人懂得變通，那些以意見當理，以理殺人之輩就是「守道卓然，  
知常而不知變」、「是其所是、非其所非」者者，他們只知道共見的、千古不易的輕重，  
不知事之輕重可能會隨著不同時空而「重者於是乎輕，輕者於是乎重」，能夠確實判斷  
輕重之別就是「權」，而「權」的能力必須是「智之盡者」方能具備，而成爲「智之盡  
者」的方法就在於廣其聞見，務明於心而能豁然於事，只要「心知之明，進于聖智」，  
自然能別事之輕重而無幾微差失了。

東原的認識論以「人之精爽得於天德之全」爲其理論基礎，可見東原的認識論上承  
其宇宙論之觀點，而東原「人之心知能明於必然，適完其自然」的認識論觀點更是其倫  
理學中「人之性善」的理論依據：

若夫鳥之反哺，雉鳩之有別，蜂蟻之知君臣，豺之祭獸，獺之祭魚，合於人之所  
謂仁義者矣，而各由性成。人則能擴充其知至於神明，仁義禮智無不全也。仁義  
禮智非他，心知明之所止也，知之極其量也。<sup>83</sup>

舉智而不及仁、不及禮義者，智於天地、人物、事為咸足以知其不易之則，仁有  
不至，禮義有不盡，可謂不易之則哉？<sup>84</sup>

由此可見東原倫理學中「仁義禮智」的德性，憑藉的是人能擴充其知以至於神明的認識  
論觀點，<sup>85</sup>討論東原的倫理學不得及其認識論，而探討其認識論也不得及其宇宙論  
與本體論，此即東原的哲學體系完整的展現。

## 伍、倫理學

由東原論「性」可以看出東原的哲學是「一元」的，但同樣不是「唯物」的，因爲  
在「性」之中存在著「性之德」，而「性之德」正是得以使性「歸於必然，適全其自然」  
的神秘力量，即此神秘力量能指導自然存在的「心知」走向「無失」的路上去，<sup>86</sup>這也  
就是東原的「倫理學」。東原的「性」最終不是歸結於物質，「性」中存有非物質之「德」，  
而其根源是「道」，故東原之「性」不是「唯物」的；東原「性」的根源亦從「道」而  
來，故知東原哲學中一切事物皆屬於唯一實體和唯一本質（道），所以東原的哲學是「一  
元」的。

所謂倫理（Morality，又稱道德）是指人對道德律（Moral Law，命人行善，禁人作

<sup>81</sup> 《孟子字義疏證·卷下》，頁 203-205。

<sup>82</sup> 《孟子字義疏證·卷下》，頁 206-207。

<sup>83</sup> 《孟子字義疏證·卷中》，頁 179。

<sup>84</sup> 《孟子字義疏證·卷中》，頁 182。

<sup>85</sup> 詳下節〈倫理學〉之討論。

<sup>86</sup> 東原曾云：「由天道而語於無憾，是謂天德；由性之欲而語於無失，是謂性之德。性之欲，其自然之符也；性之德，其歸於必然也。歸於必然適全其自然，此之謂自然之極致。」《原善·卷上》，頁 12-13。

惡的規律)<sup>87</sup>作自由抉擇的態度，<sup>88</sup>而倫理學（Ethics）則是研究道德現象之最深基礎，探察道德標準等事實屬於何種存有及何種意義。<sup>89</sup>東原主性善，即人之道德來自於性，在說明東原的倫理學之前，首先要明白東原對於「性」的定義：

古人言性，但以氣秉言，未嘗明言理義為性，蓋不待言而可知也……人徒知耳之于聲，目之于色，鼻之于臭，口之于味之為性，而不知心之于理義，亦猶耳目鼻口之于聲色臭味也……人之心通于理義，與耳目口鼻之通于聲色臭味，咸根諸性，非由後起。<sup>90</sup>

性者，分於陰陽五行以為血氣、心知、品物，區以別焉，舉凡既生以後所有之事，所具之能，所全之德，咸以是為其本……一言乎分，則其限之於始，有偏全、厚薄、清濁、昏明之不齊，各隨所分而形於一，各成其性也。然性雖不同，大致以類為之區別，故論語曰「性相近也」，此就人與人相近言之也……人物之性，咸分於道，成其各殊者而已矣。<sup>91</sup>

性者，血氣心知本乎陰陽五行，人物莫不區以別焉是也，而理義者，人之心知，有思輒通，能不惑乎所行也……人之心知，於人倫日用，隨在而知惻隱，知羞惡，知恭敬辭讓，知是非，端緒可舉，此之謂性善。<sup>92</sup>

性者，飛潛動植之通名；性善者，論人之性也。如飛潛動植，舉凡品物之性，皆就其氣類別之。人物分於陰陽五行以成性，捨氣類，更無性之名……自古及今，統人與百物之性以為言，氣類各殊是也。專言乎血氣之倫，不獨氣類各殊，而知覺亦殊。人以有禮義，異於禽獸，實人之知覺大遠乎物則然，此孟子所謂性善。<sup>93</sup>

人之生也，分於陰陽五行以成性，而其得之也全。聲色臭味之欲，資以養其生；喜怒哀樂之情，感而至乎物；美惡是非之知，思而通於天地鬼神。凡日用事為，皆性為之本，所謂人道也。上之原於陰陽五行，所謂天道也。<sup>94</sup>

性者，分於陰陽五行，品物區以別焉，各為之本始，統其所有之事，所具之能，所全之德而名之，非以知覺運動者名之。<sup>95</sup>

東原認為「性」得之於陰陽五行之氣化而成，並且秉受「道」之全體，所以承繼「道」的兩個側面，一方面「性」是實體實事，包含血氣、心知、品物等具體的存在；另一方面「性」也包含理義（不易之則），只是須要透過心知的作用，方能顯現出來。由於「道」是純美精好的存在，所以承繼「道」之全的「性」自然也是純美精好的存在，<sup>96</sup>此即東原「性善」之說的理論基礎。包含於「性」中的理義，在人倫日用的層次所呈現的就是

<sup>87</sup> 項退結編譯（1999）：《西洋哲學辭典》。頁 346。

<sup>88</sup> 項退結編譯（1999）：《西洋哲學辭典》。頁 345。

<sup>89</sup> 項退結編譯（1999）：《西洋哲學辭典》。頁 183。

<sup>90</sup> 《孟子字義疏證·卷上》，頁 157。

<sup>91</sup> 《孟子字義疏證·卷中》，頁 176。

<sup>92</sup> 《孟子字義疏證·卷中》，頁 179-180。

<sup>93</sup> 《孟子字義疏證·卷中》，頁 186。

<sup>94</sup> 《孟子私淑錄·卷中》，頁 44。

<sup>95</sup> 《孟子私淑錄·卷下》，頁 58。

<sup>96</sup> 東原曾云：「天地之氣化，流行不已，生生不息，其實體即純美精好；人倫日用，其自然不失即純美精好。」《緒言·卷上》，頁 84。



「知惻隱，知羞惡，知恭敬辭讓，知是非（仁義禮智）」的美好德性，這也就是人之異於禽獸之處。在說明東原倫理學中的基本概念—「性」時，必須由東原的本體論、宇宙論與認識論說起，於此可見東原哲學的一貫性以及其不同議題的次第關係。

在東原的倫理學中，即使人性皆善，但人所呈現的樣貌仍有「偏全、厚薄、清濁、昏明之不齊」，這是氣化之分，成性各殊的自然現象，其性仍美善，人與人天生之差異僅在智愚之別而已：

分別性與習，然後有不善，而不可以不善歸性。凡得養失養，及陷溺枯亡，咸屬於習。至下愚之不移，則生而蔽錮，其明善也難而流為惡也易。究之性能開通，非不可移，視禽獸之不能開通亦異也。<sup>97</sup>

知人之成性，其不齊在智愚，亦可知任其愚而不學不思乃流於惡。愚非惡也，人無有不善明矣。<sup>98</sup>

東原以爲人之性恆善，人生之不齊在智愚，這是自然現象，此缺憾不應歸於「性」，因爲性「無有不善」，即使是天生而「下愚」者，其性仍能「開通」，仍有極其美善的可能，人之性有不善應歸於後天失養之「習」，此即「性」之偏失。

關於「性」之偏失，東原於其倫理學中有詳細的析論，首先，東原指出「性」是人成於氣化之全稱，「性」可分「才」、「命」以言之，而「性」之內涵則可分爲「欲」、「情」、「知」：

才者，人與百物各如其性以爲形質，而知能遂區以別焉……氣化生人生物，據其限於所分而言謂之命，據其爲人物之本始而言謂之性，據其體質而言謂之才。由成性各殊，故才質亦殊。才質者，性之所呈也……才之美惡，於性無所增，亦無所損……其稟受之全，則性也；其體質之全，則才也……別而言之，曰命，曰性，曰才；合而言之，是謂天性。<sup>99</sup>

人生而後有欲，有情，有知，三者血氣心知之自然也。給於欲者，聲色臭味也，而因有愛畏；發乎情者，喜怒哀樂也，而因有慘舒；辨於知者，美醜是非也，而因有好惡。聲色臭味之欲，資以養其生；喜怒哀樂之情，感而接於物；美醜是非之知，極而通於天地鬼神……有是身，故有聲色臭味之欲；有是身，而君臣、父子、夫婦、昆弟、朋友之倫具，故有喜怒哀樂之情。唯有欲有情而又有知，然後欲得遂也，情得達也。天下之事，使欲之得遂，情之得達，斯已矣……人之性善，故才亦美，其往往不美，未有非陷溺其心使然……才可以始美而終於不美，由才失其才也，不可謂性始善而終於不善。性以本始言，才以體質言也，體質戕壞，究非體質之罪，又安可咎其本始哉。<sup>100</sup>

命即人心同然之理義，所以限制此者也，古人多言命，後人多言理，異名而同實。耳目百體之所欲，由於性之自然，明於其必然，斯協乎天地之中，以奉為限制而不敢踰，是故謂之命。命者非他，就性之自然，察之精明之盡，歸於必然，為一

<sup>97</sup> 《孟子字義疏證·卷中》，頁 181-182。

<sup>98</sup> 《孟子字義疏證·卷中》，頁 182。

<sup>99</sup> 《孟子字義疏證·卷下》，頁 190-191。

<sup>100</sup> 《孟子字義疏證·卷下》，頁 191-192。

定之限制，是乃自然之極則。<sup>101</sup>

正如東原的本體論中之「道」以「氣」呈現其實體之側面，而以「理」呈現其內在規律之側面一樣，東原的倫理學中之「性」也以「才」呈現其實體實質之側面，而以「命」顯示其內含自然之極則的側面。陰陽五行氣化而成人之天性，其具體形質即所謂才，故才是性的呈現，也就是人真實存在的「血氣心知」，人之血氣心知雖有清濁厚薄之分，但無損其性秉於天地之全，故「才之美惡，於性無所增，亦無所損」；而人之才有清濁厚薄之分，是由於天性之有所限，而規定此一限制者即所謂命，命即東原本體論中之「理」，同樣是規定實體實物的「不易之則」，兩者「異名而同實」，皆有「就其自然，察之精明之盡，歸於必然」的特質，兩者本為一事，因處於不同議題層次而有不同名稱而已。人之天性有「才」與「命」之不同側面，而其內涵則包括「欲」、「情」、「知」，人有形體，故有資養的需求，因此有「欲」，也就是說「欲」是滿足人之外在形體的基本生理需求；人需接物，故有情緒的表達，因此有「情」，「情」即人心理情緒的具體表達；人能認識，故有判斷的能力，因此有「知」，「知」即人秉賦於天的認識與判斷的能力。

人之天性包括「欲」、「情」、「知」是自然現象，所以滿足「欲」、「情」、「知」的要求也是合於自然之規律，但事實上，人在追求「欲」、「情」、「知」的滿足時常常失之偏差，此即人之「惡」的來源：

凡出於欲，無非以生以養之事，欲之失為私，不為蔽，自以為得理，而所執之實謬，乃蔽而不明。天下古今之人，其大患，私與蔽二端而已，私生於欲之失，蔽生於知之失；欲生於血氣，知生於心。因私而咎欲，因蔽而咎知，因知而咎心。<sup>102</sup>

性，譬則水也；欲，譬則水之流也……節而不過，則依乎天理，非以天理為正，人欲為邪也。天理者，節其欲而不窮人欲也。是故欲不可窮，非不可有，有而節之，使無過情，無不及情，可謂之非天理乎！<sup>103</sup>

欲之失為私，私則貪邪隨之矣；情之失為偏，偏則乖戾隨之矣；知之失為蔽，蔽則差謬隨之矣。不私，則其欲皆仁也，皆理義也；不偏，則其情必和易而平恕也；不蔽，則其知乃所謂聰明聖智也。<sup>104</sup>

人有欲，易失之盈；盈，斯悖乎天德之中正矣。心達於德，秉中正，欲勿失之盈以奪之。<sup>105</sup>

東原以為追求人之天性（欲、情、知）的滿足乃「依乎天理」，但必須依照「節而不過」的原則，如太過就會「失之盈」，違背了「節而不過」的中庸原則，這就是「性」之偏差，就是「惡」了，由此可知「性」原本美善，其失之偏差（惡），全在於後天的失養。欲之失為私，即欲求太過以至貪邪；情之失為偏，即情緒激盪過盛以至乖戾；知之失為

<sup>101</sup> 《緒言·卷上》，頁 82。

<sup>102</sup> 《孟子字義疏證·卷上》，頁 160。據胡適（2000）：《東原的哲學》附錄注云：「心字孔刻本無，依上文增。」

<sup>103</sup> 《孟子字義疏證·卷上》，頁 161-162。

<sup>104</sup> 《孟子字義疏證·卷下》，頁 191-192。

<sup>105</sup> 《原善·卷中》，頁 20。

蔽，即以意見為理以至判斷差謬。

東原認為矯正「性」之偏差的方法在於「學」與「絜人之情」，只有憑藉「學」才能使人之心知明於必然之理，人之心知清明自然可以掌握「節而不過」的原則以滿足自然之「情」、「欲」，使人遂欲達情，完其自然；只有懂得「絜人之情」才能明人我同然之理：

去私莫如強恕，解蔽莫如學，得所主莫大乎忠信，得所止莫大乎明善。<sup>106</sup>

理也者，情之不喪失也，未有情不得而理得者也……以我絜之人，則理明，天理云者，言乎自然之分理也。自然之分理，以我之情絜人之情，而無不得其平是也。<sup>107</sup>

在己與人皆謂之情，無過情無不及情謂之理。<sup>108</sup>

學以養其良，充之至於賢人聖人。<sup>109</sup>

「人莫不飲食也，鮮能知味也。」飲食，喻人倫日用；知味，喻行之無失；使舍人倫日用以為道，是求知味於飲食之外矣。就人倫日用，舉凡出於身者求其不易之則，斯仁至義盡而合於天。人倫日用，其物也；曰仁，曰義，曰禮，其則也。專以人倫日用，舉凡出於身者謂之道。<sup>110</sup>

誠，實也……學以講明人倫日用，務求盡夫仁，盡夫禮義，則其智仁勇所至，將日增益以至於聖人之德之聖，「自明誠」者也……曰善，曰德，盡其實之謂誠。<sup>111</sup>人倫日用，聖人以通天下之情，遂天下之欲，權之而分理不爽，是謂理。<sup>112</sup>

與東原的認識論一樣，東原的倫理學亦主張以後天的學習幫助其「心知」明於必然之理，以完其自然之天性而臻極善，即成賢人聖人，不同的是認識論以真理為目的，而倫理學則以道德之美善為其目的，馮友蘭即依此認為東原實執「知識即道德」之說。<sup>113</sup>此外，在東原的倫理學中亦指示另一條成善的路徑，即「以我之情絜人之情」，這是純粹倫理學的方法，以己之心推及人心之所同然，以求掌握其「無過情無不及情」的原則，以此原則遂人之欲，達人之情，必能合於「自然之分理」而進於道德之極致一善，這也是東原為「理」所定下的清楚界說，所謂「理」即通情遂欲，權之而分理不爽以至纖悉無憾。<sup>114</sup>

值得注意的是，東原認為善存在於人性之實體之中，因此必須「就人倫日用，舉凡出於身者求其不易之則」，此即東原「理存乎欲」的主張，以西洋哲學術語言之，即理在世界之中（Immanent）之意，<sup>115</sup>這也與東原哲學中一貫地求其不易之則於實體實物之中的觀點一致，東原的哲學體系一貫，其倫理學之論點亦能與其本體論、宇宙論互為發明：

<sup>106</sup> 《原善·卷下》，頁 20。

<sup>107</sup> 《孟子字義疏證·卷上》，頁 152。

<sup>108</sup> 《孟子字義疏證·卷上》，頁 153。

<sup>109</sup> 《孟子字義疏證·卷下》，頁 193-194。

<sup>110</sup> 《孟子字義疏證·卷下》，頁 197。

<sup>111</sup> 《孟子字義疏證·卷下》，頁 201-202。

<sup>112</sup> 《孟子字義疏證·卷下》，頁 204-205。

<sup>113</sup> 參看馮友蘭（1993）。《中國哲學史》。台北：台灣商務印書館。頁 1000。

<sup>114</sup> 錢穆（1995）。《中國近三百年學術史》。頁 385。

<sup>115</sup> 馮友蘭（1993）：《中國哲學史》。頁 995。

善者，稱其純粹中正之名，性者，指其實體實事之名。一事之善，則一事合於天，成性雖殊而其善也則一。善，其必然也；性，其自然也；歸於必然，適完其自然，此之謂自然之極致，天地人物之道於是乎盡。在天道不分言，而在人物，分言之始明……限於成性而後，不能盡斯道者眾也。<sup>116</sup>

在天為氣化之生生，在人為其生生之心，是乃仁之為德也；在天為氣化推行之條理，在人為其心知之通乎條理而不紊，是乃智之為德也。<sup>117</sup>

在天為氣化之生生，在人為其生生之心，是乃仁之為德也……由其生生有自然之條理，惟條理所以生生，觀於條理之秩然有序，可以言禮矣，失條理，則生生之道絕。觀於條理之截然不可亂，可以言義矣。<sup>118</sup>

東原以其倫理學中代表「純粹中正」之律則的「善」，與代表「實體實事」之存在的「性」，推及本體論中之「道」的兩個側面（即理與氣），說明雖人物分於天道，限於成性之殊而有不能盡道者，但其依循「歸於必然，適完其自然（實體）」的內在規律始終一貫。此外，東原亦以代表道德極致之「仁義禮智」，推而與宇宙氣化之生生同觀：東原以為天之氣化生生與人之生生之心皆為仁德；而生生條理之秩然有序正符合人之禮德；至於生生條理之截然不可亂正符合人之義德；而天能推行氣化之條理正如人之心知能通乎條理而不紊，是為智德。凡此皆說明東原之倫理學與宇宙論有其互通之處。東原哲學中的本體論、宇宙論、認識論與倫理學皆有互為理論基礎的次第關係，亦復能相互發明，可見東原的哲學為一完整體系，而有「氣化流行，生生不息」、「生生而條理」的基本原則貫串其間。

## 陸、結論

東原的哲學體系中，「道」屬於本體論的範疇，「道」既有其作為最高存有的實體（氣），也有其生化作用的不易之則（理）。「道」之靜時為「氣」，其實體面貌即為陰陽五行，而當「道」一動，則陰陽五行不斷地流行變化以形成天地、人物、事為，但即使此一「生生之化」持續不止，其作用仍依循著「生生之道」，亦即「理」，這就是東原的宇宙論觀點。

在東原的哲學中，「人」雖然也是自然生生而成，但卻屬於等差氣化所生成的最高層次，即所謂「秉天德之全」，所以人具有能以其心知通於天地氣化生生之條理的能力，故人的心知能思、能擇善、能使心知無失無憾而配於天德，天德即「道」，亦即存在於自然事物之中「理」，這是東原哲學中的認識論。而人的「心知」能通「理」正是東原性善倫理觀的理論基礎，東原以為人之「性」得之於陰陽五行之氣化而成，並且承受「道」之全體，所以承繼「道」的兩個側面，一方面「性」是實體實事，是具體存在的「氣」，另一方面「性」也包含必須透過心知的作用方能顯現出來的「理」，而當心知明於必然之「理」，人即能完其自然之天性而臻於至善。

總之，透過本文的探討，可窺見東原的哲學體系是完整而嚴密的，所以，我們可以說東原是一位有意識地建構其系統性哲學理論的哲學家。

<sup>116</sup> 《孟子字義疏證·卷下》，頁 195。

<sup>117</sup> 《孟子字義疏證·卷下》，頁 199。

<sup>118</sup> 《孟子私淑錄·卷中》，頁 51。

## 參考文獻

- [1] 〔宋〕黎靖德編（2003）。朱子語類。收入文淵閣四庫全書。上海市：上海古籍出版社。
- [2] 〔清〕戴震（1999）。戴震全集。北京：清華大學出版社。
- [3] 王茂 蔣國保 余秉頤 陶清（1992）。清代哲學。安徽：安徽人民出版社。
- [4] 村瀨裕也（1996）。戴震的哲學。濟南：山東人民出版社。
- [5] 侯外廬主編（1958）。中國思想通史。北京：人民出版社。
- [6] 胡適（2000）。戴東原的哲學。台北：遠流出版社。
- [7] 項退結編譯（1999）。西洋哲學辭典。臺北市：華香園出版社。
- [8] 馮友蘭（1993）。中國哲學史。台北：台灣商務印書館。
- [9] 鮑師國順（1997）。戴震研究。台北：國立編譯館。
- [10] 錢穆（1995）。中國近三百年學術史。台北：台灣商務印書館。
- [11] 錢穆（1998）。中國學術思想史論叢。台北：聯經出版社。
- [12] 羅達仁譯 文德爾班（Wilhelm Windelband）著（1998）。西洋哲學史。台北：台灣商務印書館。



# 清雲科技大學《清雲學報》徵稿辦法

92年12月15日92-1-第四次行政會議通過

民國97年9月17日97學年度第1學期第1次行政會議通過修訂

民國97年6月17日97學年度第2學期第6次行政會議修訂通過

民國98年9月16日98學年度第1學期第1次行政會議修訂通過

民國99年9月15日99學年度第1學期第1次行政會議修訂通過

- 一、清雲學報以鼓勵學術研究，提高學術水準，促進國內外專業知識交流為宗旨，每年出版四期（一月、四月、七月、十月出版），歡迎海內外學界之電資、工程、商管及人文社會學者專家投稿。中文稿件以不超過二萬字為原則，外文稿件不超過二十頁為原則（含摘要、註釋、圖表及參考文獻）；稿件字數過長者，將不予採用。
- 二、本學報刊載未曾出版於國內外刊物或學術會議專集之論著。翻譯文章、專題報導或其他非學術性作品（如隨筆、心得、小說、詩歌、戲劇等），恕不刊載。
- 三、本學報全年徵稿，來稿採隨到隨審，論文稿件由本刊編輯委員會進行初審，通過後係採二階段雙向匿名審查方式，送請兩位相關領域專家審查，其審查名單由編輯委員會推薦。
- 四、論文中牽涉版權部分（如圖片及較長篇之引文），請先取得原作者書面同意，本學報不負版權責任。
- 五、來稿所用文字，以中文、英文、日文為限。
- 六、來稿請用電腦打字（敬請惠寄一份書面稿件及word格式電子檔至本學報電子郵件信箱），頁碼按次序標明，格式如本學報論文排版規定。
- 七、來稿請於首頁註明作者中英文姓名、所屬之機關名稱及職稱、聯絡電子信箱，並附投稿基本資料表。
- 八、凡投稿本學報，應有中、英文題目，並附三百字以內中、英文摘要及中、英文關鍵詞。
- 九、來稿一經刊登，版權即歸本學報所有。凡投稿著作所有列名作者皆同意投稿論文經本學報刊登後，即授權本刊以非專屬授權之方式收錄於電子資料庫中，並得為重製、公開傳輸、授權用戶下載、列印、瀏覽等行為。為符合資料庫之需求，並得進行格式之變更。投稿刊登者，除致贈當期學報乙冊及抽印本五份、單篇刊登論文pdf檔外，恕不另奉稿酬。
- 十、來稿一經送審，除專案簽准者，不得撤稿，非特殊理由而自行撤稿者，除需自付該篇審查費用外，尚需以書面撤稿聲明書提出（掛號交寄本編輯委員會）。審查結果需修正者，作者須於期限內回覆修正稿件及修正說明，逾期視同撤稿。
- 十一、來稿請寄320 桃園縣中壢市健行路二二九號清雲科技大學《清雲學報》編輯委員會收。聯絡電話：（03）458-1196 轉3315 傳真：（03）428-5319  
E-mail: aaoffice.j@cyu.edu.tw。
- 十二、本辦法經行政會議通過後，報請校長核定實施，修正時亦同。





《清雲學報》編輯委員會

第三十二卷 第二期

預定出刊：中華民國一〇一年四月二十日

實際出刊：中華民國一〇一年四月二十日

召集人：

紀岍宇

總編輯：

魏素足

編輯委員：

簡澄陞 黃吉宏

黃同圳 金榮勇

王 坪 詹益臨

方文昌 王文俊

黃美金

執行編輯：

吳文心

發行者：李大偉

出版者：清雲科技大學

編輯者：《清雲學報》編輯委員會

地 址：320 桃園縣中壢市健行路 229 號

網 址：<http://www.cyu.edu.tw/>

電 話：03-4581196 分機 3315

印 刷：進億彩色印刷有限公司

電 話：03-4251876