

應用基因演算法於合作學習最佳化之研究

A Study on Optimal Grouping of Cooperative Learning by Using Genetic Algorithm

孫光天、張瑛蘭、吳政諺
國立台南師範學院 資訊教育研究所
台南市樹林街二段 33 號
e-mail :ktsun@ipx.ntntc.edu.tw

摘要

為解決教師實施合作學習所面臨的分組問題，本研究依據文獻探討之分組依據和分組策略，應用基因演算法建置一套合作學習最佳化分組系統。為驗證本系統是否達到合作學習最佳分組結果，也進行實地教學研究。本研究設計之受試樣本為台南市開元國小五年級學生，共 127 位參與實驗。以班級為單位隨機分派，共分成：教室學習系統分組、教室學習教師分組、線上學習系統分組、線上學習教師分組等四種不同的實驗設計。根據研究結果顯示，學習環境對學生成就沒有顯著差異，而分組方式對學生成就有達顯著差異。即表示，系統分組對學生學習成效顯著優於教師分組，經教學研究驗證後，本系統之分組效能達到預期目標。

關鍵字：合作學習、最佳分組、基因演算法

一、前言

近年來國內教育界大力提倡合作學習 (cooperative learning)，隨著投入合作學習的研究日益漸增，而學習的教學法也已臻至完備。且國外已有許多各種的學者提出不同的合作學習模式[1-5,7,8,10,11,16,23-26,37-41]，如：STAD、拼圖法、...等。其目的都是為了發展合作學習，使學校的教學方式更多元化，學生的學習更有效率，以達到有效的學習目的。

傳統講述式教學法，只針對個別學生的自我學習，導致學習者之間彼此相互競爭，而合作學習則是採用合作的方式，讓學習者在小組中一起合作討論和學習，這樣不僅讓學生學習到了知識，也學習到在團體中人和人相處的態度，促進人際關係的建立，以及有別以往競爭性互動模式。

目前國內已有很多學校單位開始應用合作學習於實際教學中[14]。但是在實施的過程中，除了教材設計之外，所面臨的第一個問題就是分組。許多學者所提出的合作學習的模式中，都建議老師採用所謂的異質分組，到底何謂異質分組？又而根據學生哪些項目來做所謂的異質分組？再者，分組的規模需要多大？一個班級需要分成幾組較適當？這些

都是難以回答的問題，所以，一般老師都憑個人感覺直接分組，往往學習成效並未非常顯著，本研究及以基因演算法求出一最佳分組結果，使學習達到最高效率。

二、文獻探討

(一)合作學習分組理論

合作學習中不同的教學模式會有不同的分組規則、分組規模和分組人數。但是幾乎可以確定的是，合作學習的分組需採用所謂的異質分組。

根據張清濱[7]所整理的有關分組的三種不同方法，最常見的是教師隨機分組，二則是固定分組，三則是依需要分組。

1. 隨機分組：由於合作學習所需要的分組方式是採用異質性分組，但隨機分組並無法達到此項要求。
2. 固定分組：利用學期初採用固定分組的方式進行整學習的課程學習。為此法應考慮學生在學習的過程中會有所改變，上學期適合某學生，下學習未必適合，再者固定分組也限制住了小組間的互動，未能與其他小組的成員有所互動。
3. 依需要分組：此法較具彈性，在合作學習的活動中，教師可以依照需要來做不同的分組，例如：不同的學科所依據的分組方式就不同。

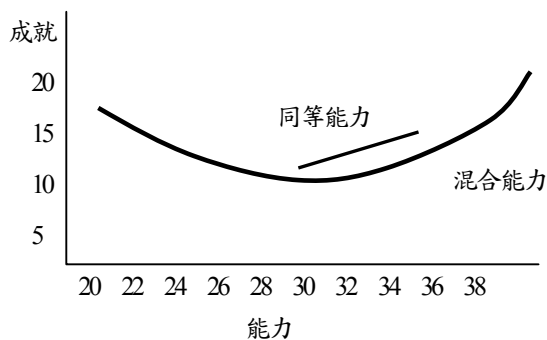
以上三中分組方法，最適合應用於合作學習是第三種方法，但雖然說明了其優點，卻未說明分組方法。再者，根據 Logan[32]認為任何分組方法都有三大問題：

1. 人格的衝突存在於多數的分組中。同組的學生如果無法相處，甚至無法克服彼此的歧見，很可能會對學習結果造成很大的影響。
2. 自我意像(self-image)可能成為小組的問題。自我意像差的學生，可能容易造成團體的衝突。
3. 小組呈現許多變數，例如：小組成員的態度，需要完成的工作水準，以及完成工作的途徑，都可能成為教師和小組成員的一項挑戰。

根據上述的分組三大問題，在進行合作學習分組時應該要盡力的克服。由於影響學習成效的變數是來自於學生本身的人格特質，故進行分組需要將

此因素考慮進來。否則無論如何異質分組，若學生彼此個別因素無法克服，進而造成學習成效降低或失敗，皆並非所期望。

合作學習需採用異質分組，但是要根據何種項目來進行所謂的異質分組呢？從許多學者的研究中可以發現，不管是研究者或是一般老師，所依據的分組項目通常是學生的“能力”。能力真的是主要的依據嗎？從文獻探討中發現，Webb [43 - 46]的研究中，提出的分組模式。認為中等能力的學生較適合同等能力小組，而高能力或低能力的學生較適合採用混合能力小組。因為他的研究發現中等能力的學生在混合能力小組中較少出現互動的語詞。反之，中能力的學生在同樣都是中能力的同等能力小組中，正向互動語詞出現的頻率較高。而低能力的學生在同樣都是低能力的同等能力小組中的表現則最差，至於高能力的學生則無差異，其研究之能力和成就之回歸曲線圖，如圖一。



圖一、能力和成就之回歸曲線圖(摘自 Webb[43])

另外，Lou、Spence 和 Abrami [33]進行有關班級內分組 meta-analysis 的研究中，檢驗了從 1974-1994 年，所有有關分組的研究報告，認為小組學習的對學業成就的效果優於沒有分組的學習，至於分組模式方面也發現了如同 Webb[43-46]所得到的結論。

Nichols 和 Miller [35] 研究有關合作學習的學生動機和其成就的影響，發現，自我效能和自我價值兩項因素和學業成就有正相關。故此兩項學生特質項目也可為分組依據。而 Hallinan 和 Sorensen [20] 也曾研究過有關小組成員之間的友誼是否和實際友誼有所重複。結果發現，小組中的友誼會造成實際學生的友誼。即是學生在合作學習的小組中討論時，經常和小組成員間的互動而產生良好的人際關係，更進一步發展成友誼。是故，學生的友誼也可分組依據。

另外，Webb[43-46]在其研究中除了能力之外也考慮了學生的個人特質(內向和外向)、學習態度和小組成員間互動的語詞變化，是否和成就之間有所相關。結果發現外向的學生則有較好的正向互動語詞，且認為學業是須和他人一起負責完成之態度的學生，會有較多的正向互動語詞，而正向互動語詞會促進小組間的討論和互動，有較好的學習成就。因此研究發現，外向和成就，態度和成就，以及語

詞和成就之間都有相關存在。

而在學生的思考模式和認知型式方面的研究，鄭心慧[13]研究不同思考風格的學生在不同分組方式上的差異，發現同質分組的學生有較高的學習成就。而認知型式方面則有許多研究者發現，場地獨立的學生有較高的學業成就。但是在合作學習中，需要小組一起學習討論，因此不同認知型式的學生互相討論能提供較豐富的互動關係和不同的資源[12]。

在 Webb[46,47] 研究中，也進一步探討性別對合作學習效果的研究發現，性別在成就是沒有顯著差異的，但一般來說，男生的互動會多於女生。小組成員中如果屬於男多女少或女多男少都會造成互動的不平均，因此分組應該採取性別比例均等，或是同等性別的分組方式。另外，國內學者鍾樹椽[15]也曾經研究過性別在合作學習上的影響，也有相同的結論。

總結以上的文獻探討，本研究將所有分組依據的項目整理成下表：

表一、分組依據細目表

分組依據	分項目	混合能力分組	同等能力分組
學生能力	相對能力	高能力和低能力	中能力
學生項目	互動語詞	小組內差異性最大(異質)	小組內差異性最大(異質)
	性格傾向		
	人格特質		
	合作特性		
	自我價值		
	自我效能		
學生性別	男、女	男女人數相同或全男生或全女生	男女人數相同或全男生或全女生

(二)基因演算法之理論基礎

本研究主要利用基因演算法的搜尋效率，尋找合作學習分組的最佳解。本節將詳細的進一步介紹有關基因演算法的各種演化機制和演算法。

基因演算法是由 John Holland 於 1975 年所提出來的 [22]，主要是因其具有特別的生物進化計算模式。它可以表示為一種一般化的搜尋技術，並且具有平行化的特性及避免落入區域最佳化的能力。如同一個搜尋演算法經由自然的選擇及自然的遺傳方式，透過生存適合度的控制，及隨機的交換資訊以搜尋可能最佳解的空間[17, 27-30, 42]，因此，每一個世代都可能產生出新的更適合於問題適合度的解集合[19]。

1. 基因演算法的基本模式:

達爾文的進化論中提到，生物體在自然界中會有進化的現象，即「物競天擇，適者生存」，而基因演算法的運算過程即類似於此道理，其基本的運作

模式如下[36]:

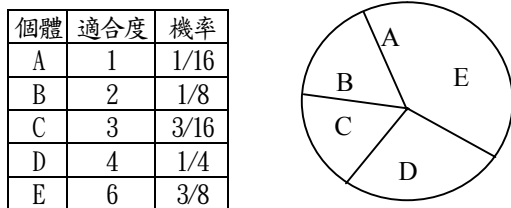
- (1) 利用一連串的基因 (genes) 或是染色體 (chromosome) 來代表問題的解答, 每一基因可以用字串、數字、符號等表示, 並且定義出交配與突變方式、交配率、突變率、選擇的方式等。
- (2) 首先建構出一組解答的初始族群 (population)。
- (3) 計算每一個染色體的適合度 (fitness)。
- (4) 透過複製 (replication)、交配 (crossover)、突變 (mutation) 等基因的操作, 以適存度優先次序產生出適存度更高的下一代族群, 此種“演化”動作則重複的循環執行, 以篩選出更適合環境的下一世代, 直到符合終止條件為止。

2. 染色體的選擇方式

產生出來的族群中, 應如何的從中挑選出個體, 並且進行基因的運算如交配、突變, 以產生出新的下一代, 常見的有下列方式:

(1) 輪盤式選擇法 (Roulette wheel selection)

設一族群的每一個個體都有一個適合度, 首先將族群的適合度全部加總, 此即為輪盤的總面積, 每一個個體在輪盤中所佔的面積為其個體的適合度佔全體加總後的適合度之分量, 因此適合度越高的個體, 其被選取的機率亦較大。如下圖二所示:



圖二、輪盤選擇法

(2) 競賽式選擇法 (Tournament selection)

通常依據優勝劣敗的觀念, 會以選擇個體較為優秀的來進行, 然而確會使得族群的變異性降低, 而導致族群很快收斂, 而無法求得最佳的解, 因此會修正此競賽方式來選取, 其方法為從目前的族群中, 隨機的選取兩個個體, 再產生一個介於 0-1 之間的隨機實數 m , 若 $m < n$ (n 為預先固定之參數, 通常設為 0.75), 則選取兩個個體中適應值較高的個體, 否則選取適應值較低的個體 [34]。

3. 基因的運算方式

由族群中, 經過複製、交配、突變等方式進行, 以產生出新的子代。

(1) 基因的複製 (selection)

無條件的從族群中, 選擇較好的個體直接複製保留到下一代中, 以輪盤式選擇法來說, 則設定一個選取機率, 其設定方式為該個體之適合度佔全體比例為選取機率, 因此, 若適合度為最高的個體, 其被選取的機率也最高, 以得到較佳的子代[31]。

(2) 基因的交配 (crossover)

許多的研究因其應用領域不同而有不同的交配方式, 交配的功能用以演化出不同的子代, 以產生出更佳子代, 常見的有下列方式:

a. 單點交配 (one-point crossover)

隨機選擇一個點做交換基因的運作, 假設為 4, 則新產生的兩個子代即為親代 (A、B) 在位置 4 其後的基因交換而得。

A : 01001011 \Rightarrow 子代 1: 01000001
 B : 11110001 子代 2: 11110111

b. 雙點交配 (two-point crossover)

隨機選取兩個位置之間的字元或字串進行交配, 同樣產生兩個不同的子代, 假設為位置 2 至 4 之間的字元[21]。

A : 01001011 \Rightarrow 子代 1: 01110011
 B : 11110001 子代 2: 11001001

(3) 基因的突變 (mutation)

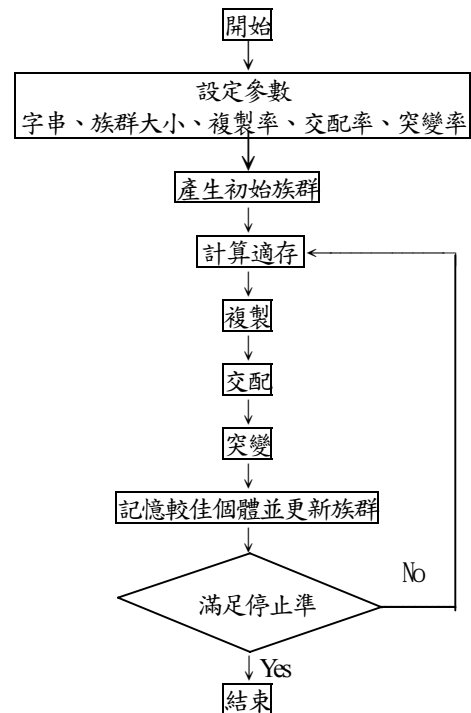
自然界中, 基因的突變是不可預知的, 也由於此不完美的缺失, 可能會造成生物體子代變得更強勢, 但也有可能變得更差的影響, 常見的突變方式有:

- a. 選取一個位置做突變點。
- b. 增加或減少一個或多個字串值。
- c. 反轉式的突變等[18]。

A : 00000111 \Rightarrow 子代: 00000101
 A : 00000111 子代: 0000011 或 000001111
 A : 00000111 子代: 11100000

4. 基因演算法之流程

基因演算法之流程圖如下圖三所示。



圖三、基因演算法之流程圖

三、基因演算法之分組策略

在合作學習理論中，合作學習的教學模式都採用異質分組，因此本系統也是採用異質分組的模式。但 Webb [46] 的研究結論中“中能力學生在同等能力小組中表現成果最好，高能力和低能力的學生則是在混合能力小組中有較高的成就”，其中所謂的同等能力是指同樣都是中等能力學生的小組，混合能力則是指有高能力和低能力的小組。而 Lou 等人 [33] 比較許多合作學習文獻研究，也整理出下列的分組策略：

- 分組大小：3-4 人
- 科目：自然/數學
- 年級：國小 4-6 年級
- 班級大小：超過 35 人以上
- 混合能力分組：中高或中低或高低或中高低
- 同等能力分組：中等能力

故本系統將學生能力部分的分組策略，採用二分法，一半為混合能力小組，一半為同等中能力小組。在學生特質部分則是採用異質性的分組策略，即不論是混合能力小組或同等中能力小組，學生特質部分均是異質分組(學生特質能力差異最大)，表示小組中學生特質分數彼此差異要最大。而性別部分則是同比例性別和同性別小組最好。

故本系統根據分組依據和策略來定適存度，利用基演算法來找出最佳的分組結果。基因演算法各項機制之參數，分述如下：

(一) 定義染色體(chromosome)

本系統應用基因演算法的概念將每個學生的特質皆以一連串的数字來代表，即為基因演算法的染色體，將每一位學生 i 的特質，以式 (1) 來表示：

$$S_i = (A_i, I_i, K_i, P_i, C_i, V_i, E_i, R_i, T_i, S_i) \quad (1)$$

例如：某生能力中等、互動關係為正向詞語、外向、面對失敗程度低、學業為和他人一起負責、外在自我價值、自我效能低、人際關係友誼多、場地獨立的認知型式，女生。則我們可將某生表示如式 (2)：

$$S = (50, 85, 75, 25, 90, 93, 10, 78, 88, 100) \quad (2)$$

假設全班人數為 n ，則可隨機產生一序列代表染色體

$$Seq = (S_1, S_2, S_3, \dots, S_{n-2}, S_{n-1}, S_n)$$

將其分成兩子序列：

1. 混合能力序列為

$$Seq_1 = (S_1, S_2, S_3, \dots, S_{\frac{n}{2}-2}, S_{\frac{n}{2}-1}, S_{\frac{n}{2}})$$

2. 同等能力序列為

$$Seq_2 = (S_{\frac{n}{2}+1}, S_{\frac{n}{2}+2}, S_{\frac{n}{2}+3}, \dots, S_{n-2}, S_{n-1}, S_n)$$

以全班 40 個學生為例的情況下，將學生分成 4~5 人一組，共 10 組，其中五組為混合能力小組，另五組為同等中能力小組。表示如式 (3)，底線代表同一小組且初始族群為 100 個的染色體。

$$Seq = (\underline{S_1, S_2, S_3, S_4}, \dots, \underline{S_{37}, S_{38}, S_{39}, S_{40}}) \quad (3)$$

則混合能力序列

$$Seq_1 = (\underline{S_1, S_2, S_3, S_4}, \dots, \underline{S_{37}, S_{38}, S_{39}, S_{40}})$$

同等能力序列

$$Seq_2 = (\underline{S_{21}, S_{22}, S_{23}, S_{24}}, \dots, \underline{S_{37}, S_{38}, S_{39}, S_{40}})$$

(二) 適存度計算(Fitness)

適存度的計算由三個部分所組成，分別是：能力部分 R_A 、學生特質 R_P 和性別 R_S 等。能力分為混合能力小組和同等中能力小組兩部分，故需考慮整體適存度和部分適存度之間的關係。而適存度的計算主要依據距離公式，將小組成員間彼此差異以距離來表示。主要的目的就是讓整體的適存度越大，即表示此分組結果越好。現將分成三個階段來說明：

第一階段：計算兩個學生之距離

1. 學生能力部分(=50)

由於分組策略採用混合能力分組和同等中能力分組，故適存度計算時，須考慮兩種型態的分組方式，中等能力小組成員需要彼此差異最小且最接近中等能力。因此，在混合能力小組和同等能力小組中，兩個小組成員之間能力的距離如式 (4)：

$$D_A(S_i, S_j) = |A_i - 50| + |A_j - 50| + |A_i - A_j| \quad (4)$$

2. 學生特質部分

所謂異質即表示小組成員彼此的差異性很大，包括互動關係、性向、人格特質、合作性、自我價值、自我效能、人際關係、認知型式等各項差異均大者，故分組時異質小組成員間的距離差異要大。故定義兩個學生特質項目之間的差異以距離公式表示如式 (5)：

$$D_P(S_i, S_j) = \sqrt{W_I(I_i - I_j)^2 + W_K(K_i - K_j)^2 + W_P(P_i - P_j)^2 + W_C(C_i - C_j)^2 + W_V(V_i - V_j)^2 + W_E(E_i - E_j)^2 + W_R(R_i - R_j)^2 + W_T(T_i - T_j)^2} \quad (5)$$

其中 W 為每一特質項目的權重，權重部分則於後再做詳細說明。且權重並非固定，可依據老師需要自行修訂的，如此分組則具有較大彈性。

3. 學生性別部分

學生的性別是考慮小組整體的適存度，故無須計算兩個學生之間的性別適存度。

第二階段：計算小組間的距離

1. 學生能力部分

在第一階段計算兩個學生之間的距離後，第二階段則計算小組中學生距離的總和。由於小組成員為 4-5 人，因此將兩兩學生間之距離加總。其表示法為式 6：

$$G_A = \sum D_A(S_i, S_j) \quad (6)$$

2. 學生特質部分

計算小組內學生特質部分的距離如同能力，將兩兩學生特質的距離加總。其表示法如式 (7)：

$$G_p = \sum D_p(S_i, S_j) \quad (7)$$

3. 學生性別部分

學生性別適存度是依據小組性別比例，給予不同的適存度，分述如下：

a. 四人為一小組

- (男、男、女、女) 400 分
- (男、男、男、男)或(女、女、女、女) 300 分
- (男、男、男、女)或(女、女、女、男) 0 分

b. 五人為一小組

- (男、男、女、女、女)或(男、男、男、女、女) 500 分
- (男、男、男、男、男)或(女、女、女、女、女) 400 分
- (男、男、男、男、女)或(女、女、女、女、男) 0 分

分數定義方式是考慮能力分數最大可能值和組數的比值。

第三階段：計算整體適存度

1. 學生能力部分

由於本系統將學生分一半為混合能力小組，一半為同等能力小組，在同等能力小組部分，距離公式稍有不同，根據 Webb[46]的研究結論中“中能力學生在同等能力小組中表現的成果最好，高能力和低能力的學生則是在混合能力小組中有較高的成就”。同等能力小組盡量是中等能力，故同等能力小組的學生其能力與中等能力的差異要越小越好。反之，混合能力小組之間的距離差異則越大越好。

不論混合或同等能力小組，每組都有 4-5 個學生，故將小組間的距離加總起來則為能力部分的總適存度，混合能力小組的總距離如式 (8)：

$$Seq_1 = \sum G_A \quad (8)$$

同等能力小組的總距離則如式 (9)：

$$Seq_2 = \sum_{i=\frac{n}{4}+1}^{\frac{n}{4}} G_A \quad (9)$$

將所有混合能力小組和同等能力小組的群組差異計算出後可得整體能力適存度，如式 (10)：

$$R_A = (Seq_1 - Seq_2) \quad (10)$$

混合能力小組彼此能力差異最大，而同等能力小組彼此能力差異最小，故能力之總適存度則為 $Max(Seq_1 - Seq_2)$ 亦即 $Max(R_A)$ 。

2. 學生特質部分

合作學習採取異質性分組，因此學生特質間差異要盡量達到最大。故學生特質部分的整體適存度表示，如式 (11)，

$$R_P = Max(\sum_{i=1}^{\frac{n}{4}} G_P) \quad (11)$$

但由於分數經過處理，使得學生能力和學生特質的

分數產生了差異性，須經過等化。故將學生特質項目多乘一係數，以達到在總適存度中兩者分數所佔的比例達到平衡，如式 (12)：

$$R_P = 0.44 * Max(\sum_{i=0}^{\frac{n}{4}} G_P) \quad (12)$$

3. 學生性別部分

學生性別分數是採用小組間性別分數的加總，其表示如式 (13)。

$$R_S = Max(\sum_{i=0}^{\frac{n}{4}} G_S) \quad (13)$$

整體適存度即由此三部份的分數加總，再乘上權重而來，如式 (14)，其中 W 是權重，為本系統自訂對學生能力、特質和性別之間的比重關係。

$$Fitness = Max(W_A R_A + W_P R_P + W_S R_S) \quad (14)$$

根據文獻探討的分組策略，若以人工方式求取最佳分組，假設一個班級 40 個學生則須花 $C_4^{40} \cdot C_4^{36} \cdot C_4^{32} \cdot \dots \cdot C_4^4 \approx 10^{34}$ 的計算次數求取最佳化的分組方式，不僅花費時間又花費精力。本合作學習最佳化分組系統求取最佳解的演化次數為 1500 代，即可達到完全水平，平均時間大約為 10 分鐘。故以本研究發展之合作學習最佳化分組系統來求取最佳分組方式不僅方便又省時。

基因演算法的演化過程中，隨機產生 100 個初始族群的染色體後，經過適存度的計算後，將適存度高的組合保留下來再經過複製、交配、突變等機制，經過 1500 代的演化，找出適存度最高的染色體，此即為一最佳合作學習分組的結果。

(三)複製的選取方法(Selection)

使用輪盤選擇法進行複製的機制。隨機選取 100 個染色體，將初始染色體經過適存度計算排序後，再分別依不同的值域中隨機選取分配好的染色體個數。其選取方式如表三所示。

表三、不同的值域中隨機選取的染色體個數

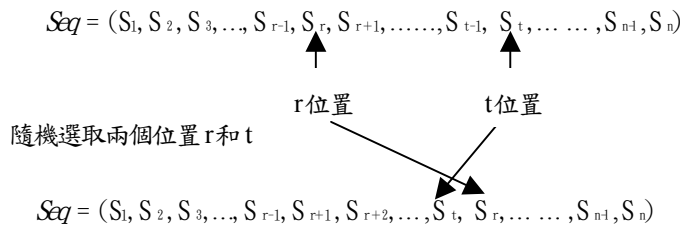
選取範圍	選取個數	選取率
適存度 1-3 名	3	100%
適存度 4-10 名	3	50%
適存度 11-30 名	3	15%
適存度 31-60 名	3	10%
適存度 61-100 名	3	7.5%

保留適存度前三名染色體是為確保優良的分組結果能被保留下來。隨機選取最後 40 名的染色體是為避免落於區域最佳化解。在複製、交配和突變三種過程中，複製率為 15%，即複製所保留下來的子代占 15%。

(四)交配方法(Crossover)

本研究採用的分組策略，包括學生能力，學生特質和性別。且能力部分又分為混合能力和同等能力兩種類別。故在交配的機制中，只考慮學生的能力部分。至於學生特質和性別，則以複製和突變兩種機制處理，再以適存度判斷是否保留分組結果。

本研究之交配法不同於如前述所列舉的單點交配、雙點交配、同源交配等。由於需考慮本研究染色體的特點：不能有相同的學生重複出現於一染色體中，此為不合常理的部分，故不考慮一般基因演算法的交配方法。依本研究問題的特性，採用自體交配法。所謂自體交配是有別於以往交配法，採用兩個染色體進行交配的動作，顧名思義自體交配，即是在同一染色體中進行交配機制。本研究交配機制共分兩種方法：



第一種方法：

找尋混合能力小組中，群組內部差異最小的小組，和同等能力小組中群組內部差異最大的小組做比較與交換的動作。當分組結果已達到飽和，即表示混合能力小組間差異最小的小組，已經比同等能力小組間差異最大的小組還要大時，則停止交換，表示已無法再使用第一種方法，此時則需採用第二種交配方法。

第二種方法：

找尋混合能力小組中，最接近中等能力的學生，即與 50 分相距最小的學生，以及同等能力小組中，與中等能力差異最大的學生，即與 50 分差異最大，再進行學生交換的動作。其流程如下：

流程一：尋找組間差異

$$G_{Min} = \text{Min} \left\{ G_1, G_2, \dots, G_n \right\}$$

$$G_{Max} = \text{Max} \left\{ G_{\frac{n}{8}+1}, G_{\frac{n}{8}+2}, \dots, G_{\frac{n}{4}} \right\}$$

if $G_{Min} < G_{Max}$, then $Exchange(G_{Min}, G_{Max})$

流程二：尋找組內差異

$$S_{Min} = \text{Min} \left\{ |S_1 - 50|, |S_2 - 50|, \dots, |S_n - 50| \right\}$$

$$S_{Max} = \text{Max} \left\{ |S_{\frac{n}{2}+1} - 50|, |S_{\frac{n}{2}+2} - 50|, \dots, |S_n - 50| \right\}$$

if $S_{Min} < S_{Max}$, then $Exchange(S_{Min}, S_{Max})$

由於本研究所採用的交配法，不同於一般交配法是採用兩個染色體互相交配，而是單一染色體中自行交配產生下一子代。故本研究稱此為自體交配（在本研究中設定的交配率為 60%）。

(五)突變機制(Mutation)

本研究所採用的突變方法，是在單一染色體中隨機選取兩個位置，將第一位置上的學生，移到第二位置上，其餘的學生則順序移動。如此即可打散原染色體中，學生在同一小組中的分配關係。其示意如下：

在本研究中，設定突變的機制為 25%。將突變率設定如此大的原因，是本研究採用交配方法為自體交配，並非一般基因演算法採用的是，兩個子代之間交配，故需要提高突變率，使每子代混亂度足夠，避免落於區域最佳化之解。

(六)參數設定

本研究採用基因演算法來找尋分組最佳解，故參數設定方面為避免提早收斂，故本研究參數設定如下：

[複製率：15%， 配率：60%， 突變率：25%]

本系統的預設演化參數，是以國小數學科合作學習分組為主要依據。因此，為提供更彈性的分組空間，使用者可自行訂定演化參數，依照不同的學科進行演化，達到最佳的分組結果。

(七)權重的等化

根據學者之研究，選取適當項目為本研究學生特質項目，由於是不同的研究者在不同時間且研究不同項目和成就之間的相關性。故本研究需將擷取出來的學生特質項目做等化，其中能力部分則提出來另外討論，其餘學生八項特質之等化過程如表四。

表四中，互動語詞和人格特質項目中和成就相關有正負者，表示研究者進行研究時正負面的互動語詞皆有考慮，而人格特質部分則是分開考慮面對失敗的程度，故有正負相關值。至於能力項目則是在研究中進行兩次研究，所得到的相關係數。本表計算權種部分皆取相關係數之絕對值來計算。權重的計算方法是，找出本研究所定義的學生特質項目和成就之間的相關係數之絕對值平均，分別為：

表四、學生特項目和成就之相關係數比較和等化結果

出處	能力	互動	性向	人格	合作	價值	效能	人際	認知	總計
Webb 1982a	.45		.19							
Webb 1982b	.25	.50	.22							
Webb 1983		.41 -.42								
Webb 1984	.38 .40	.47 -.31	.17	.20	-.22 .18					
Nichols 1994						.35	.32			
Hallinan 1985								.09		
楊坤原 (民 89)									.47	
平均絕對值		.42	.19	.20	.20	.35	.32	.09	.47	2.24
權重		1.5	0.68	0.71	0.79	1.14	1.25	0.32	1.67	8.06

0.42, 0.19, 0.20, 0.20, 0.32, 0.35, 0.09, 0.47, 再求加總後的比值, 即其項目在所有八項中佔的比例, 如式 (15) 的公式。

$$W_x = R_x / \sum R_x \quad (15)$$

其中, W_x 為某一項目之權重, R_x 為某一項目之相關係數平均絕對值

根據式(16)所計算出的權重結果如下:

互動語詞 $W_I = 0.42/2.24 = 0.188$;

個性傾向 $W_K = 0.19/2.24 = 0.085$;

人格特質 $W_P = 0.20/2.24 = 0.089$;

合作特性 $W_C = 0.20/2.24 = 0.089$;

自我價值 $W_V = 0.32/2.24 = 0.143$;

自我效能 $W_E = 0.35/2.24 = 0.156$;

人際關係 $W_R = 0.09/2.24 = 0.040$;

認知型式 $W_T = 0.47/2.24 = 0.210$;

上述方法, 是為求出每一項目相關係數, 在所有八項學生特質中所佔的比例。當相關係數越大, 即表示此項目和學業成就的關係比較高, 故此項特質分數就會佔較大的比例。

在總適存度方面, 是由學生能力、特質和性別三個所組合成的, 根據文獻可推知, 目前大多數分組仍是採用能力為主, 雖然本研究加入了學生特質和性別等項目, 但是分組結構性仍以能力為主要, 再加上許多合作學習的研究中, 都有探討能力和成就的相關性頗高, 故本研究將能力、特質和性別各取其在總適存度中所佔的分數比例之期望值, 將權重定為 $W_A : W_P : W_S = 3 : 1 : 1$ (參見附錄一)。

四、研究步驟與方法

(一)系統建置

本系統規劃分為五大子系統, 分別是學生線上填答系統、教師資料輸入系統、學生資料查詢系統、

合作學習最佳分組系統、以及分組結果查詢系統。茲分別將其功能敘述如下:

1. 學生線上填答系統:

研究者自編的學生特質問卷, 此問卷以線上填答的形式, 使學生可透過網路直接填答問卷。收集的基本資料中, 包括學生能力、特質和性別等基本資料, 以便作為分組依據。

2. 教師資料輸入系統:

學生如果無法直接在線上填答問卷, 本系統提供學生特質問卷下載, 老師可方便利用紙筆測驗的方式收集學生基本資料, 再經由本子系統輸入全班學生的資料, 或者亦可進一步的修改或刪除學生資料。

3. 學生資料查詢系統:

此系統可讓老師查詢班級學生基本資料。即是由學生線上填答系統或是教師資料輸入系統中所輸入的資料。

4. 合作學習最佳化分組系統:

此系統即為本研究的核心部分, 合作學習最佳化分組系統可以根據學生填答或老師自行輸入的學生資料, 以基因演算法進行最佳化分組, 分組結果使用者可自行決定是否儲存。

5. 分組結果查詢系統:

教師可經由此子系統查詢分組結果, 經基因演算法演化出來的最佳分組結果。再依此分組名單進行合作學習分組。

本系統全部以 Java 語言寫成, 並配合 html 語法建置。整套系統架構在 Linux 的作業系統上, 其後端資料庫為 MySQL。使用者透過網路使用本系統, 考量網路的安全, 所以採用 Java applet 和 html 的組合, 有不錯的安全性。再者, 透過網路的便利性, 使得本系統可以在家中或學校的電腦教室使用。

(二)教學研究設計

本研究設計採用 2(分組方式)×2(教學環境)二因子不等組準實驗設計法[9], 以了解不同分組方式與不同學習環境對學習成效所造成的影響。以合作

學習 STAD 教學法為基礎，此設計了兩種不同的教學環境，分別是傳統教室學習環境和線上學習環境。為控制研究其他的變因，教學者皆由研究者來擔任。再者，在教學過程中，課程步驟和進行時間幾乎都是依照課程設計教案進行。本研究採用隨機抽樣的方式，以台南市的國民小學為母群，隨機抽取一所國小：開元國小，以五年級學童為受試樣本。

在開元國小五年級中抽取四個班級，並以班級為單位隨機分派為：系統分組教室學習、教師分組教室學習、系統分組線上學習、教師分組線上學習。本研究以開元國小之研究結果進行資料分析，參與研究人數為 130 名，淘汰 3 名無效樣本，最後資料分析則共為 127 名學童。

為配合研究目的，本研究用來收集資料的工具主要有下列五種：

1. 線上學生特質問卷

而為了能正確收集實際學生之個別項目資料，本研究所採用的研究工具是由研究者自編的學生特質問卷，作為線上填答的工具，收集學生個別資料。此項研究者自編之學生特質問卷，是參考現行人格量表經過篩選和改編題目以符合本研究之需要。本問卷共有八個分量表，每一分量有 8 個題目共計有 64 題，其中前四題為正向題，後四題為反向題，8 題中至少有一題是防偽題。每一分量之測量項目依序分別為互動關係、個性傾向、人格特質、合作特性、自我價值、自我效能、人際關係、認知型式等。

問卷的計分方式採用五點量表加總計分法。每一分量表中，前四題的選項由左至右(‘總是如此’至‘從不如此’)分別為 5 分、4 分、3 分、2 分、1 分，後四題為反向題，故由左至右(‘總是如此’至‘從不如此’)分別為 1 分、2 分、3 分、4 分、5 分。再經過線性轉換後，每一分量表之總分以 0-100，故總分為 800 分。線性轉換公式如式 (16)：

$$y = \frac{100}{40-8}(x-8) = 3.125x - 25 \quad (16)$$

其中， x 為原始分量表之分數，
 y 為轉換後分量表之分數。

此人格量表經預試修正後，其總測驗之信效度達 Cronbach α 係數為 .76，而各分量表為 .63 ~ .76 之間，顯示本量表內部一致性良好。

2. 學期成績考查數學成績

學生能力分數則是採用學校定期所舉行能力考查的兩次數學科成績平均。由於數學平均成績有負偏的狀況，經由研究者調整為常態化分配後轉成 t 分數表示，在將全班的 t 分數以線性轉換調整為 0-100 分。線性轉換方程式如式 (17)。

$$y = \frac{100}{t_h - t_l}(t_x - t_l) \quad (17)$$

其中， y 為轉換後的能力分數，

t_x 為個別學生原始 t 分數，

t_h 為 t 分數最高分者，

t_l 為 t 分數最低分者。

3. 數學科成就測驗(一)

在本研究中，為避免題目前後的不一致，因此前後測採用相同難度題目之成就測驗。此數學成就測驗(一)為研究者自編，其題目內容皆為‘時間的應用’單元，共分為填充題、計算題和應用問題等三種題型，共計 20 題。其雙向細目表如表七所示。

表七、數學成就測驗(一)雙向細目表

內容	目標						題數
	知識	理解	應用	分析	綜合	評鑑	
分和秒的轉換	2	2	5	2	0	0	11
時和分的轉換	3	2	3	1	0	0	8
日和時的轉換	0	0	0	0	0	0	0
題目總數	5	4	8	3	0	0	20
評量百分比	25%	20%	40%	15%	0%	0%	100%

數學科成就測驗(一)在效度方面，試題的雙向細目表(表七)，經由老師評鑑後，其內容效度得到肯定。在信度方面，經過預試分析和修改後，內部一致性 Cronbach α 係數為 .78。

4. 數學科成就測驗(二)

此數學成就測驗(二)亦為研究者自編，其題目內容皆為‘時間的應用’單元，共分為填充題、計算題和應用問題等三種題型，共計 20 題。數學科成就測驗(二)在效度方面，試題的雙向細目表(表八)，經由老師評鑑後，其內容效度得到肯定。在信度方面，經過預試分析和修改後，內部一致性 Cronbach α 係數為 .81。

5. 合作學習最佳化分組系統(OGSCL)

此系統是依據文獻探討的分組依據和分組策略，由研究者自行設計[6]，是本研究中主要的研究工具，其目的就是驗證此合作學習最佳化分組系統的分組結果，在合作學習教學中，學生的學習效能優於一般教師分組的結果。

(三)資料分析

本研究蒐集的資料有，學生特質問卷，第一、二次成績考查數學平均成績，數學成就測驗(一)和(二)之前測和後測等。皆利用 SPSS 10.0 for Windows 套裝軟體進行統計分析。

研究實驗結束收集到的學生資料，須先行檢驗受試者作答的結果，以去除無效之樣本，避免影響正確的統計結果。由表九可知，大部分的研究工具作答情形良好，但是數學科成就測驗後測中，有幾份無效樣本必須去除。

表九、測驗工具之有效樣本摘要表

	數學科成就 測驗前測	數學科成就 測驗後測	學生特質 問卷
受試樣本	130	130	65
無效樣本	3	3	3
有效樣本	127	127	62

本研究採用的準實驗設計法，因此在進行分析之前，須先考驗每一實驗處理的前後測的平均數是否有顯著差異，亦即是考驗我們研究的實驗處理過程是否有達到教學效果。本研究採用 t 考驗來考驗四組實驗處理方式的前後測平均數是否有達顯著差異。

根據表十可發現，本研究進行的四種實驗處理之前後測的平均數考驗均有達到顯著 ($p < .05$)。表示本研究實驗處理有達到某程度的教學效果，故需更進一步分析，四種實驗處理之間，彼此是否有顯著差異和交互作用。

表十、不同實驗處理之前後測 t 考驗摘要表

組別	人數	SS	標準差	df	T	Sig
系分教上	31	-33.65	5.12	60	-6.576	.000
教分教上	33	-23.0	5.20	64	-4.420	.000
系分線上	31	-29.68	5.26	60	-5.639	.000
教分線上	32	-27.75	5.04	62	-5.510	.000

(四)不同分組方式之二因子共變數分析

在進行二因子共變數分析之前，必須先考驗組內回歸係數是否具有同質性，以符合共變數分析的基本假定。即四組不同實驗處理的前測斜率沒有顯著差異，共變量(前測)對依變量(後測)的影響程度是相同的。根據表十一，可以看出同質性考驗的 $F=1.821$ ($p > .05$) 未達顯著，表示四組實驗處理之共變量具同質性，可以進一步進行二因子共變數分析。

表十一、學習環境x分組方式之前測回歸同質性考驗摘要表

變異來源	SS	DF	MS	F	Sig
組間(回歸係數)	1280.017	3	426.672	1.821	.147
組內(誤差)	28112.948	120	234.275		

根據表十二學習環境 x 分組方式之二因子共變數分析摘要表中可以發現，學習環境和分組方式之實驗處理的交互作用 $F=0.24$ ($p > .05$)，並沒有達顯著差異。但是分組方式 $F=5.313$ ($p < .05$) 有達顯著差異，而學習環境 $F=2.545$ ($p > .05$) 未達顯著差異。

表十二、學習環境x分組方式之二因子共變數分析摘要表

變異來源	SS	DF	MS	F	Sig
共變量	38162.156	1	38162.156	163.931	.000
分組方法	1236.940	1	1236.940	5.313*	.023
教學環境	592.578	1	592.578	2.545	.113
交互作用	5.515	1	5.515	.024	.878
組內(誤差)	28400.930	122	232.795		

由單純主要效果分析摘要表十三，可以進一步發現，分組方式在實驗處理中的確有達顯著 $F=5.313$ ($p < .05$)，表示分組方式的確會對學生學習成就造成影響。故可以進一步表示，在不同合作學習學習環境中，系統分組對於學生學習成效優於傳統教師分組。

表十三、分組方式之單純主要效果分析摘要表

變異來源	SS	DF	MS	F	Sig
組間 (分組方式)	1236.940	1	1236.940	5.313*	.023
組內(誤差)	28400.930	122	234.275		

在學習環境 x 分組方式之二因子共變數分析中，四種實驗處理方式經過排除前測所調整後之平均數如表十四。雖然四種實驗處理交互作用未達顯著，但從表二十中可以發現，兩種環境，系統分組的成績高於教師分組皆達六分之多。

表十四、學習環境x分組方式之二因子共變數分析調整後之平均數

	教室學習環境	線上學習環境	合計
系統分組	62.691	58.777	121.468
教師分組	56.850	52.100	108.950
合計	121.541	110.877	

五、結論和建議

(一)結論

本研究目的在探討合作學習最佳化分組系統之分組結果，是否能有效的促進國小學童數學科成就。並進一步了解在此研究設計下，教室學習環境和線上學習環境的差異。參予本研究的樣本為台南市開元國小五年級 127 名學生，分別施以數學科成就測驗前測和學生特質問卷之後。以班級為單位隨機分派為教室環境系統分組，教室環境教師分組，線上環境系統分組，線上環境教師分組等四組。根據研究結果發現：在不同學習環境中，系統分組對學生學習成效顯著優於教師分組。

就整體的研究來說，本研究中建立的合作學習最佳化分組系統，經過教學研究驗證其具有實用性，可提供欲進行合作學習教學的教師們來使用。教師可根據系統的分組結果進行合作學習分組，亦可參考系統的分組結果進行不同學科分組討論。本系統中，也提供教師可依據不同合作學習的學科，調整學生特質的權重，兼具了分組的彈性，減少教師們分組問題上的困擾，更不需擔心合作學習因為分組不當，而小組討論失敗，影響學習成效。

(二)建議

基於本研究的發現和經驗，本研究提出下列建議，可提供欲發展合作學習分組系統時之參考：

1. 學生特質和權重

本系統的分組依據有學生能力、特質項目部分和性別，其中學生特質項目部分，可以再繼續擴充。實際上影響學生學習和討論的特質因素不只於此，

故建議如果能夠收集到更多學生特質項目，相信分組結果將會更顯著。

再者，每一學生特質項目的權重部分，本研究僅是根據文獻探討的相關係數來求取權重。如果能設計一套合理的求取權重方式，可以達到更精準的分組效能。若能更進一步的將所有科目都進行分組研究，並且把每一學科所需的學生特質權重皆求出，相信此分組系統會更完整，更具精確性。

2. 組合性最佳演算法

在所有組合性最佳化的演算法中，可以嘗試比較不同的演算法的分組效率和效能，再挑選一套最適宜的演算法來進行合作學習最佳化分組。此外，也可進一步比較和研究一般教師的分組方式和效能評估。

致謝

本研究經費由國科會專案補助，計劃編號：NSC 90-2520-S-024-007-，特此致謝。

六、參考文獻

- [1] 林佩璇，“合作學習的實施(上)”，研習資訊，8(5)，pp.29-34，1991a。
- [2] 林佩璇，“合作學習的實施(下)”，研習資訊，8(6)，pp.22-25，1991b。
- [3] 林佩璇，“合作學習—學生小組成就區分法的教學設計”。研習資訊，11(6)，pp.22-25，1994。
- [4] 林佩璇，“合作學習在小學的應用”，教與愛，38，pp.36-39，1992。
- [5] 張芳全，“教學新典範—合作學習”，國教月刊，44(3)，pp.7-16，1997。
- [6] 張桂悅，“合作學習與課程播放系統”，國立台南師範學院資訊教育所，碩士論文，2001。
- [7] 張清濱，“合作學習的正用與誤用”，研習資訊，12(4)，pp.1-7，1995。
- [8] 張淑美，“合作學習的涵義、實施和成效”，教育文粹，24，pp.20-25，1992。
- [9] 郭生玉，“心理與教育研究法”，精華書局，台北市，pp.335-357，1985。
- [10] 黃政傑，林珮璇，“合作學習方法簡介”，教與愛，39，pp.11-13，1992。
- [11] 黃政傑，林珮璇，“合作學習”，五南出版社，台北市，1996。
- [12] 楊坤原，“認知風格與科學成就的關係(一)(二)”。科學教育月刊，12，pp.2-12，1996。
- [13] 鄭心惠，“合作學習環境中學生分組模式之研究”，國立交通大學資訊科學研究所，碩士論文，2000。
- [14] 賴春金，李隆盛，“合作學習的教學策略”，中等教育，43(4)，pp.87-91，1993。
- [15] 鍾樹椽，“性別和能力混合分組在電腦合作學習成就和態度上之研究”，國民教育研究學報，2，pp.81-105，1996。
- [16] Abrami, P. C., & Chambers, B., “Research on Cooperative Learning and Achievement: Comments on Slavin”, *Contemporary educational psychology*, 21, pp.70-79, 1996.
- [17] Burke, D. S., Grefenstette, J. J., DeJong, K.A., Wu, A. S., & Ramsey, C.L., “Putting more genetics into genetic algorithms”, *Evolutionary Computation*, 6(4), pp. 387-410, 1998.
- [18] Clark, D. P., & Russell, L. D., “Molecular Biology-Made simple and fun”, Cache River Press, pp.153-173, 1997.
- [19] Goldberg, D. E., “Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning”, Reading, MA: Addison-Wesley, 1989.
- [20] Hallinan, M. T. & Sorenesen, A. B., “Ability Grouping and Student Friendships”, *American Educational Research Journal*, Vol.22, No.4, pp.485-499, 1985.
- [21] Harvey, I., “The SAGA cross: The mechanics of crossover for variable-length genetic algorithms”, *Parallel problem solving from nature*, 2, pp.269-278. Amsterdam, NL: Elsevier, 1992.
- [22] Holland, J.H., “Adaptation in natural and artificial systems”, University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan, 1975. (Second edition: MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1992).
- [23] Johnson, D. W., & Johnson, R. T., “Joining Together: Group Theory and Group Skills”, N.Y.: Pensive-Hall, 1975.
- [24] Johnson, D. W., Johnson, R. T., & Holubec, E. J., “Learning Together and Alone”, Minneapolis, MN: University of Minnesota, Cooperative Learning Center., 1983.
- [25] Johnson, D. W., & Johnson, R. T., “Cooperation In the Classroom(rev.ed)”, Edina, MN: Interaction, 1988.
- [26] Johnson, D. W., & Johnson, R.T., “Cooperative and Competition: Theory and Research. Edina”, MN: International Book Company, 1989.
- [27] Kenneth, A. D., “Learning with genetic algorithms: An Overview.Machine Learning”, Vol.3, pp.121-138, 1988.
- [28] Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D., & Vecchi, M.P., “Optimization by simulated annealing”, *Science*, 220: pp.671-680, 1983.
- [29] Kirkpatrick, S., & Sherrington, D., “Solvable model of spin-glass”, *Physical Review Letters*, 35: 1792, 1975.
- [30] Kirkpatrick, S., & Sherrington, D., “Infinite-ranged models of spin-glass”, *Physical Review B*, 17: 4384, 1978.
- [31] Ladd, S. R., “Genetic algorithms in C++”, M&T Books, New York, 1996.
- [32] Logan, T. F., “Cooperative Learning: A view from the inside”, *Social Studies*, 54, pp.123-126, 1986.
- [33] Lou, Y., Abrami, P. C., & Spence, J. C., “Within-Class Grouping: Meta-Analysis”, *Review of Educational Research*, Vol.66, No.4, pp.423-458, 1996.
- [34] Mitchell, M., *An introduction to genetic algorithms*, MIT Press, Cambridge, 1996.

- [35] Nichols D. J., & Miller B. R., "Cooperative Learning and Student Motivation", Contemporary Educational Psychology 19, pp.167-178, 1994.
- [37] Slavin, R. E., "Student Team Learning", U.S., Maryland, 1980.
- [38] Slavin, R.E., "An introduction to cooperative learning", N.Y.: London, 1983a.
- [39] Slavin, R.E., "Cooperative Learning", N.Y. & London: Longman, 1983b.
- [40] Slavin, R. E., & Karweit, N. L., "Effects of Whole Class, Ability Grouped, and Individualized Instruction on Mathematics Achievement", American Educational Research, Vol. 22, No. 2, pp. 351-367, 1985.
- [41] Slavin, R. E., "Ability Grouping and Student Achievement in Elementary Schools: A Best-Evidence Synthesis", Review of Educational Research, Vol. 57, No. 3, pp. 293-336, 1987.
- [42] Talbi, E. G., & Muntean, T., "Hill-climbing, simulated annealing and genetic algorithms: a comparative study and application to the mapping problem", System Sciences, Proceeding of the Twenty-Sixth Hawaii International Conference on, Vol. 2, pp. 565-573, 1993.
- [43] Webb, N.M., "Group Composition, Group Interaction, and Achievement in Cooperative Small Group", Journal of Educational Psychology, Vol. 74, No. 5, pp. 642-655, 1982a.
- [44] Webb, N.M., "Peer Interaction and Learning in Cooperative small Groups", Journal of Educational Psychology, Vol. 74, No. 5, pp. 642-655, 1982b.
- [45] Webb, N. M., & Cullian, L. K., "Group Interaction and Achievement in Small Groups: Stability Over Time", American Educational Research Journal, Vol. 20, No. 3, pp. 411-423, 1983.
- [46] Webb, N. M., "Stability of Small Group Interaction and Achievement Over Time", American Psychological Association, Vol. 76, No. 2, pp. 211-224, 1984.
- [47] Webb, N. M., "Task-Related Verbal Interaction and Mathematics Learning in Small Groups", Journal of Research in Mathematics Education. Vol. 22, No. 5, pp. 366-389, 1991.

- [36] Ribeiro Filho, J. L., & Trelaven, C., "Genetic algorithm programming environments", IEEE Computer, pp. 28-43, 1997.

附錄一、說明 $W_A : W_P : W_S = 3 : 1 : 1$

權重求取方法如下：

1. 學生能力部分

由於學生的能力分數已轉成常態分配，故可採用期望值的方式來預估能力分數，其步驟如下：

$$E[D_A(S_i, S_j)] = E[|S_i - S_j|] + E[|S_i - 50|] + E[|S_j - 50|] \quad (18)$$

在混合能力小組則為 $E_d[G_A] = \sum E[D_A]$

其中， $D_A \in$ 混合能力小組。

在同等能力小組則為 $E_s[G_A] = \sum E[D'_A]$

其中， $D'_A \in$ 同等能力小組。

$$E[R_A] = \sum (E_d[G_A] - E_s[G_A]) \quad (19)$$

2. 學生特質部分

由於學生的人格特質是無法預期的，故取其平均值來計算。

$$E[R_P] = \frac{1}{N} \sum G_P \quad (20)$$

3. 學生性別部分

性別機率無法預期，但分組方式傾向性別比例相同，故採用平均值估計。

$$E[R_S] = \frac{1}{N} \sum G_S \quad (21)$$

則預期總適應度為

$$E[\text{fitness}] = E[R_A] + E[R_P] + E[R_S]$$

其中， $E[R_A] : E[R_P] : E[R_S] \approx 1 : 3 : 3$ ，

故將權重之比例訂為 $W_A : W_P : W_S = 3 : 1 : 1$