

南 華 大 學

資訊管理學系

碩士論文

基因演算法在國民中學排課問題之最佳化研究
Using genetic algorithm methods to solve course scheduling
problems



研 究 生：陳奕憲

指 導 教 授：邱宏彬博士

中華民國

一 〇 〇 年 六 月

南 華 大 學

資 訊 管 理 研 究 所

碩 士 學 位 論 文

基因演算法在國民中學排課問題之最佳化研究

研究生： 陳奕亭

經考試合格特此證明

口試委員： 陳張亨榮
李翔詣
邱宏樹

指導教授： 邱宏樹

系主任(所長)： 資訊管理學系 系主任 吳光閔

口試日期：中華民國 100年 6月 12日

南華大學資訊管理學系碩士論文著作財產權同意書

立書人： 陳奕憲 之碩士畢業論文

中文題目：

基因演算法在國民中學排課問題之最佳化研究

英文題目：

Using genetic algorithm methods to solve course scheduling problems

指導教授： 邱宏彬 博士

學生與指導老師就本篇論文內容及資料其著作財產權歸屬如下：

- 共同享有著作權
- 共同享有著作權，學生願「拋棄」著作財產權
- 學生獨自享有著作財產權

學生：陳奕憲 (請親自簽名)

指導老師：邱宏彬 (請親自簽名)

中華民國 一 〇 〇 年 六 月

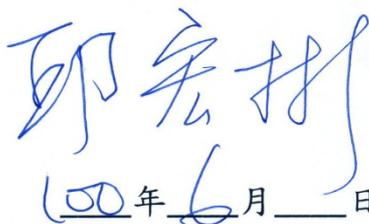
南華大學碩士班研究生

論文指導教授推薦函

資訊管理系碩士班陳奕憲君所提之論文
基因演算法在國民中學排課問題之最佳化
研究

係由本人指導撰述，同意提付審查。

指導教授


100年6月 日

誌 謝

本論文得以順利完成，首先要感謝我的指導教授邱宏彬博士平日的細心指導，在這兩年的研究所生涯中，多次耐心解惑與悉心指導，使本人在學業上與生活上均獲益良多，感激師恩之情，實難以筆墨形容，在此僅獻上摯誠的敬意與謝忱。

論文口試期間承蒙陳張宗榮教授、李翔詣教授在百忙之中不辭辛勞地仔細審閱論文，並給予精闢的建議與指正，使本論文能夠得以更趨完備，特此表達深忱的感激。

謹將此論文獻給我最親愛的父母及賢妻淑婷，感謝你們在這段期間的關懷與支持，讓我能無後顧之憂全力完成學業，於此表達內心無限的感恩。

基因演算法在國民中學排課問題之最佳化研究

學生：陳奕憲

指導教授：邱宏彬

南 華 大 學 資 訊 管 理 學 系 碩 士 班

摘 要

課表時段安排是極為重要的事情，會影響教師教學及學生學習的效率。國民中學排課問題主要考量因素包含有課程、教師、場地資源，在這些限制下將教師授課課程時段排入學生上課課表中，使教師及學生依據此課表進行教師活動。早期排課方式是由電腦產生課表，再依據校內排課規定或特殊需求進行課程時段調動。

排課問題可視為是一種的複雜最佳化問題，屬於 NP-Complete。本研究基因演算法(GA)是一種處理最佳化(Optimization problem)常用方法。利用基因演算法，針對排課需求來進行課表最佳化，期望能產生較佳的課表供教師及學生上課使用，提升學習效率。經過實驗結果證實，利用本研究所提出的基因演算法來進行課表最佳化時，確實可得到令人滿意之結果。

Using genetic algorithm methods to solve course scheduling problems

Student : Yi-Shiann Chen

Advisors : Dr. Hung-Pin Chiu

Department of Information Management
The Graduated Program
Nan-Hua University

ABSTRACT

Course scheduling plays a crucial role in school planning and management, which directly impacts teaching and learning efficiency. The major facts that influence course scheduling in junior high school range from school curriculum, classroom capacity, teaching hours to limited facilities. All these variables have an effect on course scheduling, whose result will affect the instructors and the learners for a whole semester.

Prior course scheduling is considered time-consuming in that it is generally conducted by computers, and is subsequently adjusted by administrative personnel according to school regulations or specific requirements. In the present study, the goal is to produce the most optimal solution to course scheduling with the employment of Genetic Algorithms, a common way in processing optimization problem. Course scheduling can be recognized as an issue of complex optimization relating to NP-Complete. With the use of Genetic Algorithms, we aim to optimize course scheduling to enhance teaching and learning efficiency. The results of the experiments in the present study show that the application of optimization on course scheduling using Genetic Algorithms can meet the above constraints and maximize the satisfaction levels.

目錄

書名頁	I
論文口試合格證明	II
著作財產權同意書	III
論文指導教授推薦書	IV
誌謝	V
中文摘要	VI
英文摘要	VII
目錄	VIII
表目錄	X I
圖目錄	X III
第一章 緒論	1
1-1 研究動機	1
1-2 研究目的	1
1-3 設定研究範圍與限制	2
1-4 研究流程	5
第二章 文獻回顧與探討	7

2-1	排課問題之探討	7
2-2	文獻回顧	9
2-3	排課問題求解方法	11
2-4	基因演算法	12
第三章 模式建立		19
3-1	基因編碼方式	19
3-2	產生初始族群	22
3-3	定義適應度函數	26
3-4	定義選擇(Selection) / 複製運算(Reproduction)	28
3-5	定義交配運算(Crossover)	28
3-6	定義突變運算(Mutation)	31
3-7	訂定停止規則	33
第四章 模式驗證		34
4-1	實驗測試環境	34
4-2	模擬問題最佳化參數測試	35
4-3	模擬問題測試、結果分析	39
4-4	實例驗證、結果分析	42
4-5	模擬問題、實例驗證結果與比較	46

第五章 結論與建議.....	50
5-1 研究結論	50
5-2 研究建議	50
參考文獻.....	52
附錄 A 實例問題最佳解解碼後班級課表.....	55
附錄 B 實例問題最佳解解碼後教師課表.....	59
附錄 C 實例問題最佳解解碼後違反適應值資料.....	64

表目錄

表 2-1 排課問題文獻比較	9
表 3-1 單堂課程編碼方式	20
表 3-2 連堂課程編碼方式	20
表 3-3 教師第 1、2 碼編碼方式	21
表 3-4 班級課表編碼轉換	21
表 3-5 班級課表染色體編碼方式	22
表 3-6 班級、科目、任課教師代碼表	23
表 3-7 學生課表陣列	24
表 3-8 連堂課程初始解產生組合	25
表 3-9 連堂課程初始解產生組合	30
表 3-10 班級隨機選取突變的節次	32
表 3-11 突變過程中連堂課程組合	32
表 4-1 模擬問題、實例驗證班級、科目、任課教師代碼表	36
表 4-2 模擬問題各組參數測試結果	38
表 4-4 模擬問題最佳解適應值違反次數指標表	40
表 4-5 實例驗證最佳解適應值違反次數指標表	44

表 4-6 模擬問題、實例驗證最佳化結果違反軟式限制比較表 47

表 4-7 模擬問題、實例驗證最佳化結果百分比比較表 47

圖目錄

圖 1-1 研究流程圖架構	6
圖 2-1 基因演算法運作架構	14
圖 2-2 單點交配法示例	17
圖 2-3 雙點交配法示例	17
圖 2-4 二進制位元突變法示例	18
圖 2-5 字串突變法示例	18
圖 3-1 染色體交配示意圖	29
圖 3-2 染色體課表交配示意圖(全校共同科目).....	30
圖 4-1 課表最佳化執行畫面	35
圖 4-2 模擬問題最佳解適應值圖表	41
圖 4-3 實例驗證最佳解適應值圖表	45

第一章 緒論

1-1 研究動機

排課作業是排課人員每個學期所必需進行的例行性工作，排課作業所排出來的課表，影響著授課老師及學生的作息，也關係著學生學習的效率。一般的排課方式是利用電腦，將班級的課目名稱、授課教師及節數等資料，產生出最原始的課表；再利用人工的方式，依據校內排課規定或授課老師的需求，進行人工調課。此種作業方式，需要消耗許多時間及精力。

隨著資訊科技發展電腦運算速度加快，許多人想藉由電腦來協助處理排課問題。有鑑於此，本研究冀望藉由基因演算法研究方式，透過特定目標以定義適應值，在合理可行的條件下，得以使排課課表佳化。

1-2 研究目的

排課問題可視為「在多限制條件下，從有限的可行教學時間內，分配出全校的任教課程、時段與教學資源問題。」的問題。排課問題可視為一種排程問題，也是 NP-Complete 的問題[20]。求解的主要核心在於避免教師、場地資源、學生資源等硬式限制發生衝突，考量課程連續與

分佈規則、教師教學偏好、學生學習效率等軟式限制。

本研究主要探討如何運用基因演算法(Genetic Algorithms)在考慮硬式限制不衝突及減少軟式限制違反次數的限制條件下，對課表進行課表安排最佳化。本研究提出的方法架構以模擬國民中學課表安排為案例，以驗證基因演算法對於課表安排最佳化的可行性。

1-3 設定研究範圍與限制

本文的研究是模擬國民中學排課問題。現行國民中學課程安排每週有 35 節課，課程安排是將任課教師所教授的課程排入班級上的課表時段，在此種課程安排上需要滿足許多原則或條件，列舉如下：

一、基本原則：

1. 依據教師登記專長，排定可授課科目。
2. 依據任課教師兼任行政職務，排定授課時數。
3. 全校每一個班級，一週所上的科目及時數需依據課程標準實施。
4. 全校每一個班級，每天每節次都排入一節課。
5. 在班級上進行的每節課，都只能有一位教師授課。

二、符合既有教學資源：

1. 在進行某些特定的科目上，上課的班級數需符合既有的教學資源上限，如專科教室(生物實驗室、理化實驗室、電腦教室、.....)、體育場地(操場、籃球場、.....)。

三、學校因素特殊需求：

1. 某些課程需要全校或全年級統一固定時間實施，如班會、週會、聯課活動。

四、教師因素特殊需求：

1. 同一科目之教師需要有共同時段召開教學研究會議。
2. 兼任行政職務者，需空出特定時段處理公務。

五、各校內定的排課規則：

1. 國文作文課、生物實驗課、理化實驗課需要連續排 2 節課(不跨中午)。
2. 除部份課程需要連續排 2 節課，一天不排 2 節或 2 節以上：國文、英文、數學、生物、理化。
3. 每天只排 1 節課，並且課程進行上要間隔一天以上：健康教育、歷史、地理、公民、體育。

六、教師授課時段偏好：

1. 上午不連續排 4 節課。

2. 上午第 4 節、下午第 1 節不連續排課。

七、學生上課學習效率：

1. 下午第 1 節課上數學、理化課程，學習效率較差。

排課問題是一個多目標最佳化問題，在前述的多項排課問題原則條件，可分成 2 種限制[21]：

- 硬式限制
- 軟式限制

硬式限制為限制式，滿足硬式限制的解為可行解。而軟式限制為目標函數。

硬式限制如下所示：

1. 全校每一個班級，每天每節次都排入一節課。
2. 在班級上進行的每節課，都只能有一位教師授課。
3. 國文作文課、生物實驗課、理化實驗課需要連續排 2 節課(不跨中午)。
4. 班會、週會、聯課活動於全校統一固定時間實施。

軟式限制如下所示：

1. 除部份課程需要連續排 2 節課，一天不排 2 節或 2 節以上：
國文、英文、數學、生物、理化。

2. 每天只排 1 節課，並且課程進行上要間隔一天以上：健康教育、歷史、地理、公民、體育。
3. 各科領域時段不排授課。
4. 符合學校既有的教學資源(生物實驗室、理化實驗室)。
5. 教師授課上午不連續排 4 節課；上午第 4 節、下午第 1 節不連續排課。
6. 下午第 1 節課不排數學、理化等科目。

其中軟式限制 4 在現實問題中應該是硬式限制，但為了簡化初始群組的產生，故更改為軟式限制，並於後續運算中給予較低的適應值計算。在排課過程中必須完全滿足硬式限制及儘量滿足軟式限制[23]。

1-4 研究流程

排課問題在實務運作上可分為 2 階段進行。

- 一、教務主任依據教師登記專長，進行授課課目及授課時數規劃排定。
- 二、教學組長依據教務主任所排定的資料，進行教師及班級授課節次安排產生初始課表；並依相關軟式限制針對初始課表進行調課作業，以產生最佳課表。

第一階段所產生的配課，依各校教師各科人數及班級數不同，無固

定配課表，故本論文以課程標準模擬出配課表；依第一階段產生的配課表，利用亂數及坊間排課軟體產生初始課表，再利用基因演算法將軟式限制條件轉換為適應函數，在不違返硬式限制條件下，針對初始課表進行最佳化調課。

本論文的研究流程可分為下列六個步驟，如圖所示：

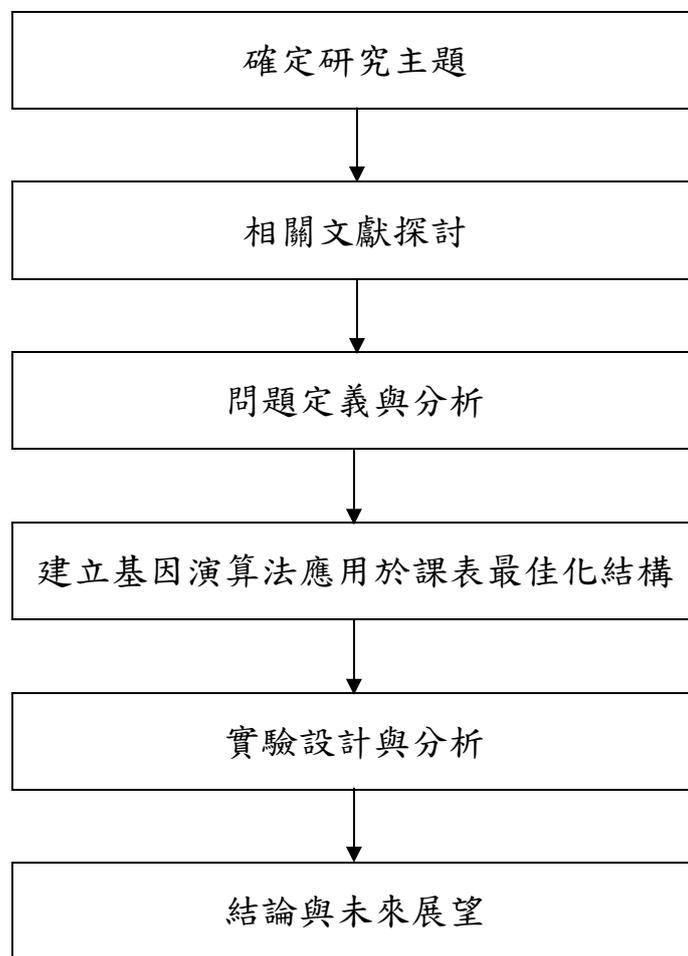


圖 1-1 研究流程圖架構

第二章 文獻回顧與探討

2-1 排課問題之探討

一般而言，排課問題依特性與限制之不同，可分為以下三類[24]：

1. 學校排課(School Timetabling)：

針對中小學以下班級排課，以避免教師在同一時段與兩個以上班級產生衝突，確保同一個時間內教師僅能於一個班級中上課。

2. 課程排課(Course Timetabling)：

針對大學課程排課，學生在選修課程後，所選修的課程避免安排在同一時段，以利學生修業。

3. 考試排課(Examination Timetabling)：

針對大學課程裡的考試排課，以避免共同學生的課目考試的衝突，考試的時段亦儘量分散。

本論文主要以國民中學學校排課問題為主要探討範圍，其餘部份則暫不討論。

蔡鎬匡[1]則把排課問題看成是將老師、學生、教室等相關資源，在一定的時間內，依照一定的限制條件排入課表。吳正宇[2]對於課程排程(Course Scheduling)問題可視為「在多重限制條件之下，從有限的可行教

學時間內，分配出全校的任教課程、時段與教室」的問題。在多種的限制條件下，要將教師授課時段排入班級課表中，並盡量滿足限制條件，故排課問題是一個多項式困難的問題(NP-Complete)，很難找出最好的解，但可找出近似最佳解。

王江山[3]對於影響教學活動的因素，整理出後歸納成七項：

一、教師因素的考慮

- 考量外聘教師可授課的時間。
- 校內任教師擔任其他職務，無法安排授課時段或喜好時段偏好考量。

二、學生因素的考慮

- 為講求教學效果，學生偏好於第二、三、六、七節上課，第一、四、八節居次，第五節最不受歡迎。

三、教學設施的考慮

- 受限於學校經費有限，教學設施如場地與設備，會有不足的現象。各種特殊教學場地在排課時，需加以管制。

四、規定習慣的考慮

- 特殊課程固定時段的安排，如班週會或聯課活動，需要全年級或全校統一時段。

- 課程特性影響其排課，如實驗課宜連堂進行。

五、選修與重(補)修的考慮

- 必修課程排課多以班次為對象，選修課程則以學生為排課對象。

六、教育計劃的考慮

- 學校針對各個班次，皆有擬教育計劃，其內含有課程時數配當表，係依據課程授課順序而排定，是排課的基本資料。當課程時數配當表變動，即會影響該班次的排課任業。

七、短期班的考慮

- 短期班因教育時段較短，故排課上課程都是必修；依據課程時數配當表，每週課表均不同。

2-2 文獻回顧

國內近年來對於排課系統的相關研究整理如下列表格：

表 2-1 排課問題文獻比較

日期	研究者	系統簡介
民國 94 年	李杰濃[5]	以樣式技術為基礎，利用黑板架構來模擬實際人工排課過程。

民國 94 年	陳源億[6]	利用多代理人協商溝通方法應用至排課問題，將教師排課過程以多代理人的協商完成。
民國 94 年	陳柏泰[7]	以模糊理論應用於解決教師排課之決策問題。
民國 94 年	廖聖揚[8]	以滿足限制問題為基礎建構系統。
民國 95 年	翁得榮[9]	排課限制分為硬式限制和軟式限制，並以整數規劃法解決排課問題。
民國 95 年	任書鳴[10]	利用資料探勘挖掘歷年選課資料，找出課程之間關聯；並用基因演算法進行排課。
民國 96 年	蔡宇宗[11]	以模糊理論建置排課預處理作業系統。
民國 96 年	侯兆昇[12]	以基因演算法解決高等職業解校排課問題。
民國 97 年	蘇毓涵[13]	以資源導向作為排課的基礎，知識本體為核心建構相關知識模型，協助對資源排程知識的表達。
民國 97 年	張士宇[14]	利用基因演算法於大學排課最佳化。
民國 97 年	蔡鎬匡[15]	將排課問題利用賽局理論中均衡方式來討論，並提出一個演算法在有限時間內找出柏拉圖均衡。
民國 97 年	俞慧蓮[16]	運用禁忌搜尋演算法(TS)自動關聯動態排課策

		略因素模組，做為自動排課系統模型。
民國 98 年	張曉芬[17]	將課表模擬為粒子群之粒子以搜尋最佳滿意度之課表。
民國 98 年	林宜穎[18]	將多代理人協商與辯證的技術應用到排課系統中。

2-3 排課問題求解方法

排課問題的求解方法很多，根據上述表格及 Burke 與 Petrovic[27]，求解的方法歸納了四種類型：

一、循序法：

常以傳統研究方法的圖形著色模式來表示，運用問題領域裡的經驗法則將事件排序並循序將事件指派到有效的時間區段，所以事件在時段上相互之間不會衝突。

二、分群法：

將一組課程區分為不同群組，並將不同的群組指派到時間區段，以某些限制條件或最小化矛盾衝突。

三、限制方法：

將排課問題規劃為一組變數的集合，將時間區段或教室等資源視為值域，指派到變數以滿足限制條件。

四、萬用啟發式演算法：

例如退火模擬法(Simulated Annealing)、禁忌搜尋法(Tabu Search)、基因演算法(Genetic Algorithm)。這類方法可產生高品質課表，但是時常需要耗費大量運算時間。

然而並不是每位排課人員皆有能力撰寫出電腦程式來進行排課，故坊間也有許多套裝軟體，使相關業人員能快速處理排課作業。本研究利用網路搜尋，僅列出幾項如下：

1. 欣河資訊電腦排課管理系統，

<http://www.shin-her.com.tw/products/productslist.asp?ID=22>

2. 亞昕資訊自動排課管理系統，

<http://210.243.217.86/assales/modules/store/?op=itempage&id=10>

3. 政逸資訊學校排課系統，

http://www.zenyi.com.tw/default_Main-5.htm

4. 全訊電腦排課，

http://www.csv.com.tw/intro_csv3.asp

排課軟體雖能提供介面快速完成課表初始解，但後續課表細部調整及課表最佳化處理，仍需排課人員手動方式逐一調整。

2-4 基因演算法

遺傳演算法在 1975 年 John Holland 學者之著作” Adaptation in

Natural and Artificial Systems” 表示出其精神源自於達爾文演化論中之「物競天擇、適者生存」之原理[4,26]。認為所有物種在相互競爭之下，才能比較出「適者生存之，不適者則淘汰」之特性，並將適應性(Fitness)較高的物種留下[26]。基因演算法是隨機全域搜索和優化的方法，模仿自然界自然演化過程，大自然的生物為了適應環境的變化，經由交配、突變，繁衍出適合生存的下一代。

遺傳演算法運作方式，首先要針對問題的解進行編碼，將問題的解轉換成二元(Binary)或字串(String)，產生初始族群(Population)；經過適應函數評估進而選擇適應值較佳的染色體，進行複製、交配、突變等運算；經由此方式選擇較佳的染色體進行反覆演化而產生適應值較高的染色體。基因演算法運作架構如圖所示：

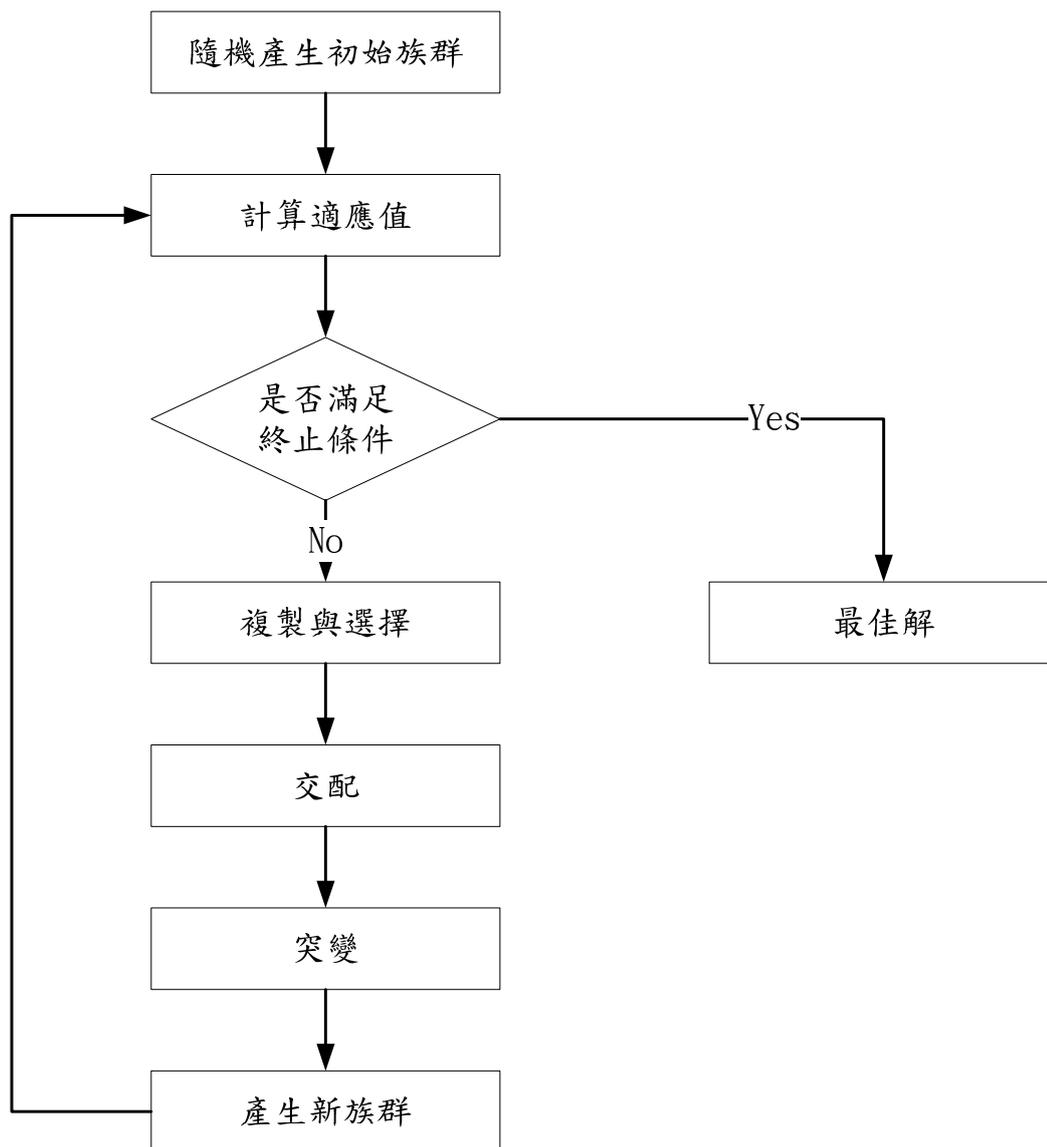


圖 2-1 基因演算法運作架構

遺傳演算法運作說明如下：

一、染色體的編碼(Encoding)

遺傳演算法中是利用編碼方式將問題特性呈現出來，編碼後的資料稱為基因(Gene)，即為問題一小部份的解；將多個基因組合成為可行解，則此一組合稱為染色體(Chromosome)，染色體的長度視問題的大小而

定。一般常用編碼方式有下面二種：

1. 二元編碼(Binary Encoding)：此種編碼是以二進位碼表示，常用於數值型態的問題。
2. 字元編碼(Char Encoding)：此編碼是以數字或符號的方式來進行編碼，常用於排序型的問題。

二、初始族群(Initialization Population)[19]

初始族群即為第一代染色體，也就是初始解的集合，稱之為族群(Population)，這些染色體一般可用隨機方法產生。在基因演算法中，每個世代(Generation)的大小是固定的，所以在產生初始族群之前要先設定族群大小(Population Size)。族群大小就是每一世代中搜尋解的數目，設定太小則搜尋的範圍不夠廣，太大則會耗費過多的搜尋時間。

三、適應度函數(Fitness Function)

為了評估染色體的優劣程度，必須使用一個評估標準來決定染色體的優劣，根據問題的目標函數來進行評估，以決定是否複製到下一代或交配選擇的機率。適應值愈佳表示該染色體被挑選的機率越高，適應值愈差則被挑選機率越低，甚至被淘汰。一般適應函數為問題的目標函數的倒數。

四、遺傳運算元(Genetic Operators)

遺傳演算法基本運算有三個，如下所示：

1. 複製(Reproduction)與選擇(Selection)

根據每條染色體所計算出來的適應值高低，即可決定染色體挑選的機率。染色體適應值較佳則被挑選的機率較高，經由交配後較有機會產生較佳的子代。常見的選擇方法有輪盤法(Roulette Wheel Selection)[22,25]，因為輪盤法是依照機率大小也就是像轉輪盤一樣，以射飛標方式聯想，面積愈大(機率愈大)射中的機率較大。

2. 交配(Crossover)

交配運算是將選出的父代，進行彼此的部份基因交換而產生新的子代，讓子代能遺傳到父代的優點與特性。經由交配後的子代並不保證是最優秀的，較優秀的子代其適應值會較高，在下一個世代被選擇交配的機會越高，能夠延續其優點特性；較差的子代則在進化過程可能被淘汰。

常見的交配方式如下所示：

A. 單點交配(Single Point)

在 2 條父代的染色體中，隨機選擇一個交配點，將交配點後的基因相互交換組合後，產生新的子代。



圖 2-4 二進制位元突變法示例



圖 2-5 字串突變法示例

五、取代(Replacement)

當新產生的子代達到族群設定大小，子代就會取代原本的族群，此種過程稱為取代。常見的取代方式有二種：

1) 完全取代

將原本族群內的父代染色體全部刪除，用新產生出的子代染色體全部取代成為新的族群。

2) 菁英策略

保留原本族群內少數適應值較佳的染色體，其餘的部份則用新產生出的子代染色體取代，如此可將族群中較優秀的染色體保留下來。

第三章 模式建立

3-1 基因編碼方式

Mitchell[28]提到，編碼要簡單、直覺，這樣才可以減少編碼與解碼工作，故本研究編碼為一個長字元編碼方式，用來記錄各班的節次資料，主要包含有課程代碼及教師代碼。

課表排出的每節課，裡面包含 2 個重要資料，分別為課目名稱及任課教師。

科目名稱編碼有 4 碼，定義如下：

- 第 1 碼：判斷此課程是否連堂課程或特種課程，1 表示單堂課程；2 表示連堂課程。此設定會用在國文作文課、國一生物實驗課、國二、三的理化實驗課。
- 第 2 碼：表示年級課程，1 為一年級，2 為二年級，3 為三年級。
- 第 3、4 碼：課程編號流水碼。

單堂課程編碼及連堂課程編碼方式如表 3-1、3-2 所示。

表 3-1 單堂課程編碼方式

國一科目	國文	英語	數學	生物	健教	歷史	地理	社會	輔導
科目編碼	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109
國一科目	體育	音樂	美術	童軍	家政	鄉土	自習	聯課	班會
科目編碼	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116	1117	1118
國二科目	國文	英語	數學	理化		歷史	地理	公民	輔導
科目編碼	1201	1202	1203	1204		1206	1207	1208	1209
國二科目	體育	音樂	美術	童軍	家政	電腦		聯課	班會
科目編碼	1210	1211	1212	1213	1214	1215		1217	1218
國二科目	國文	英語	數學	理化	地科	歷史	地理	公民	輔導
科目編碼	1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309
國二科目	體育	音樂	美術	童軍	家政	電腦		聯課	班會
科目編碼	1310	1311	1312	1313	1314	1315		1317	1318

表 3-2 連堂課程編碼方式

國一科目	國文作文	生物實驗
科目編碼	2101	2104
國二科目	國文作文	理化實驗
科目編碼	2201	2204
國三科目	國文作文	理化實驗
科目編碼	2301	2304

任課教師編碼有 4 碼，各碼定義如下：

- 第 1、2 碼：表示任課教師任教的領域。

表 3-3 教師第 1、2 碼編碼方式

編碼	01	02	03	04	05	06
領域	國文	英文	數學	自然	社會	藝能

- 第 3、4 碼：教師編號流水碼。

課目名稱及任課教師分別用 4 個字元編碼，再將這 2 個字串合在一起成為一個基因。第 1 個班的第 1 節課目代碼及教師代碼為染色體第 1 個基因位置，第 1 個班的第 2 節課目代碼及教師代碼為染色體第 2 個基因位置，……，以此方式串起來則成為染色體。

表 3-4 班級課表編碼轉換

1 年 1 班	星期一	星期二	星期三	星期四	星期五
第 1 節	2104 0405	1106 0505	1104 0405	1101 0107	1102 0205
第 2 節	2104 0405	1108 0501	1112 0603	1111 0603	1102 0205
第 3 節	1101 0107	1109 0305	1103 0305	1115 0106	2101 0107
第 4 節	1105 0405	1105 0601	1105 0405	1114 0205	2101 0107
第 5 節	1103 0305	1113 0305	1116 0107	1105 0601	1114 0205
第 6 節	1103 0305	1102 0205	1112 0603	1103 0305	1116 0107
第 7 節	1107 0505	1111 0603	1101 0107	1117 0103	1118 0107

上方表格為一般常見的課表顯示方式，編碼完成後即變成下方染色體字串。

表 3-5 班級課表染色體編碼方式

21040405210404051101010711050405110303051103030511070505110605051 108050111090305110506011113030511020205111106031104040511120603110 303051105040511160107111206031101010711010107111106031115010611140 20511050601110303051117010311020205110202052101010721010107111402 051116010711180107
--

上述的字串為 1 個班級的編碼，再依第 1 班、第 2 班、.....依序組合，即成為 1 條染色體。

3-2 產生初始族群

為了讓初始族群成為可行解，故需滿足下列硬式限制：

1. 全校每一個班級，每天每節次都排入一節課。
2. 在班級上進行的每節課，都只能有一位教師授課。
3. 國文作文課、生物實驗課、理化實驗課需要連續排 2 節課(不跨中午)。
4. 班會、週會、聯課活動於全校統一固定時間實施。

故將初始解產生分成下列階段：

階段一：排課課程內容分析

依據教務主任所排配的課程節數及授課教師資料，進行課表初始解課程節次及初始解排課順序分析。教務主任所產生的配課表如下表所示。

表 3-6 班級、科目、任課教師代碼表

科目	國文	英語	數學	生物	健教	歷史	地理	社會	輔導	體育	音樂	美術	童軍	家政	鄉土	自習	聯課	班會
編碼	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116	1117	1118
節數	5	3	4	3	2	1	1	1	1	2	2	2	1	2	1	2	1	1
國一 01	0107	0205	0305	0405	0405	0505	0505	0501	0305	0601	0603	0603	0305	0205	0106	0107	0103	0107
國一 02	0105	0206	0306	0406	0406	0504	0505	0501	0306	0601	0603	0603	0306	0206	0106	0406	0604	0406
國一 03	0106	0203	0301	0406	0406	0504	0505	0501	0301	0601	0603	0603	0301	0203	0106	0301	0408	0301
國一 04	0104	0201	0303	0407	0407	0502	0503	0501	0303	0601	0603	0603	0303	0201	0106	0407	0407	0407
國一 05	0102	0201	0303	0405	0405	0502	0503	0501	0303	0605	0603	0603	0303	0201	0106	0405	0102	0405
科目	國文	英語	數學	理化		歷史	地理	公民	輔導	體育	音樂	美術	童軍	家政	電腦		聯課	班會
編碼	1201	1202	1203	1204		1206	1207	1208	1209	1210	1211	1212	1213	1214	1215		1217	1218
節數	6	4	4	4		2	2	2	1	2	1	1	1	2	1		1	1
國二 01	0101	0203	0305	0401		0502	0503	0504	0305	0103	0603	0203	0305	0604	0605		0201	0101
國二 02	0108	0203	0301	0403		0502	0503	0504	0301	0103	0603	0203	0203	0604	0605		0203	0403
國二 03	0105	0201	0305	0404		0502	0503	0504	0305	0103	0108	0201	0201	0604	0605		0305	0105
國二 04	0102	0204	0304	0404		0502	0503	0504	0304	0407	0204	0204	0206	0604	0605		0304	0102
國二 05	0106	0206	0302	0402		0502	0503	0504	0302	0407	0108	0206	0402	0604	0605		0206	0302
科目	國文	英語	數學	理化	地科	歷史	地理	公民	輔導	體育	音樂	美術	童軍	家政	電腦		聯課	班會
編碼	1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310	1311	1312	1313	1314	1315		1317	1318
節數	5	4	4	4	1	2	2	2	1	2	1	1	1	2	1		1	1
國三 01	0104	0204	0303	0408	0404	0502	0503	0504	0602	0604	0303	0204	0408	0408	0303		0605	0104
國三 02	0101	0202	0302	0404	0404	0502	0503	0504	0602	0604	0302	0202	0404	0404	0306		0302	0202
國三 03	0103	0204	0306	0401	0404	0502	0503	0504	0602	0604	0306	0204	0401	0401	0306		0204	0401
國三 04	0107	0202	0306	0402	0404	0502	0503	0504	0602	0604	0306	0202	0402	0402	0306		0106	0402
國三 05	0103	0206	0304	0403	0404	0502	0503	0504	0602	0604	0304	0206	0403	0403	0304		0108	0304

註：國文作文、國一生物實驗、國二三理化實驗課程編碼第 1 碼為 2

以國一國文為例，國文課節數 5 節課，就必需拆成國文單堂課 3 個及國文作文連堂課 1 個，再將這 4 筆資料放入待排入課程資料。國一生物及國二、國三理化課也相同方式處理，拆成一組連堂課，剩餘節數則拆成單堂課。其他課程如國一英文有 3 堂課，則拆成 3 個單堂課，再將資料放入待排入課程資料中。

為了能使初始解能較順利產生，故會依排連堂課程及教師任課節數等順序，將待排入課程資料的順序調整，增加初始解產生的機率。

階段二：產生空白學生課表陣列

依據實際問題而產生一組空白陣列，預計放入課目代碼及教師代碼字元。陣列設計如下所示：

表 3-7 學生課表陣列

	節次 1	節次 2	節次 3	.....	節次 35
班級 1	科目代碼+教師代碼	科目代碼+教師代碼	.....	.....	.....
班級 2	科目代碼+教師代碼	科目代碼+教師代碼	.....	.....	.....
班級 3	科目代碼+教師代碼	科目代碼+教師代碼	.....	.....	.....
.....

階段三：填入全校統一課程資料

將聯課活動及班會等統一上課的節次中，填入科目代碼及教師代碼。

階段四：依待排入課程資料，填入連堂課程資料

連堂課程因為一次必需填入 2 個節次，若無規劃良好的節次填入方式，對於初始解的產生容易造成失敗，故在連堂課程的資料安排上規劃特定的填入方式。課表 1 週有 5 天，每天 7 節課，故在連堂的課程安排上，會以粗黑色的框線為單位，如下所示：

表 3-8 連堂課程初始解產生組合

	星期一	星期二	星期三	星期四	星期五
第 1 節	節次 1	節次 8	節次 15	節次 22	節次 29
第 2 節	節次 2	節次 9	節次 16	節次 23	節次 30
第 3 節	節次 3	節次 10	節次 17	節次 24	節次 31
第 4 節	節次 4	節次 11	節次 18	節次 25	節次 32
第 5 節	節次 5	節次 12	節次 19	節次 26	節次 33
第 6 節	節次 6	節次 13	節次 20	節次 27	節次 34
第 7 節	節次 7	節次 14	節次 21	節次 28	節次 35

以國一國文作文連堂課為例，可填入連堂課的節次有 1-2、3-4、5-6、8-9、……等的連堂選擇方式，填入連堂課程的組合共有 15 組。依相對應的開課班級，利用亂數的方式，隨機選擇其中一個組合，確認是否有違反硬式限制，若有則重新選擇連堂課程組合，若無則將課程代碼及教師代碼填入。

階段五：依待排入課程資料，填入單堂課程資料

依據待排入課程的資料，將剩餘單堂的課程資料，依相對應的開課班級，亂數填入學生課表陣列中。

在這個階段的進行中，進行到越後面的單堂課程排入，因為可以選擇的空白節次越來越少，又要能符合初始解的限制，故當有單堂課程無法填入空白節次時，會回覆前 50 筆排入資料，隨機重排希望能產生初始解；回覆後若還是無法產生初始解則設定回覆到一定的次數，則放棄此次初始解產生，清空學生課表陣列中資料，回到階段三重新產生課表。

3-3 定義適應度函數

基因演算法通常為最大化適應度的問題，為了讓排課能最佳化，故違反越少軟式限制的染色體，其適應度要越大。故可訂定：

$$\text{適應度函數：Fitness(Chromosome)} = \frac{1}{\text{Cost(Chromosome)}}$$

$$\text{懲罰函數：Cost(Chromosome)} = \sum_{k=1}^7 \text{Cost}_k(\text{Chromosome}) + 1$$

懲罰函數為染色體違反軟式限制時，所產生的一組函數，當違反次數越多，所產生的數值越高。由於在實際的排課處理中，軟式限制 1、2、3、4 是相當重要的問題，故給予較重的懲罰方式。

適應度函數則為懲罰函數的倒數，當懲罰數值越高，適應度越低；懲罰數值越低，適應度越高。

軟式限制的說明如下：

1. 除部份課程需要連續排 2 節課，一天不排 2 節或 2 節以上：國文、英文、數學、生物、理化。

$$\text{懲罰函數：Cost}_1 = 100 * n_1$$

n_1 表示染色體中，違反此種軟式限制的次數，最低值為 0。

2. 每天只排 1 節課，並且課程進行上要間隔一天以上：社會、歷史、地理、公民、音樂、美術、體育。

$$\text{懲罰函數：Cost}_2 = 100 * n_2$$

n_2 表示染色體中，違反此種軟式限制的次數，最低值為 0。

3. 各科領域時段不排授課。

$$\text{懲罰函數：Cost}_3 = 100 * n_3$$

n_3 表示染色體中，違反此種軟式限制的次數，最低值為 0。

4. 符合學校既有的教學資源(生物實驗室、理化實驗室)。

$$\text{懲罰函數：Cost}_4 = 100 * n_4$$

n_4 表示染色體中，違反此種軟式限制的次數，最低值為 0。

5. 教師授課上午不連續排 4 節課。

$$\text{懲罰函數：Cost}_5 = 10 * n_5$$

n_5 表示染色體中，違反此種軟式限制的次數，最低值為 0。

6. 教師授課上午第 4 節、下午第 1 節不連續排課。

懲罰函數： $Cost_6 = 10 * n_6$

n_6 表示染色體中，違反此種軟式限制的次數，最低值為 0。

7. 學生課表下午第 1 節不排數學、理化課。

懲罰函數： $Cost_7 = 10 * n_7$

n_7 表示染色體中，違反此種軟式限制的次數，最低值為 0。

3-4 定義選擇(Selection) / 複製運算(Reproduction)

本研究採用輪盤法，染色體經過適應函數計算後的適應值，當適應值越大則佔輪盤面積就越大，被選擇的機率就越大。本研究為避免演算過程中收斂速度過大，故在染色體交配選擇上，第一條染色體利用輪盤法方式選出，第二條不依據適應值比例，直接用亂數選擇產生。

為了保留每個世代中最佳的染色體，以避免交配、突變後而改變染色體最佳適應值，故採用「保留菁英(Elitism strategy)」，將每一代計算出來最佳適應值的染色體，直接複製至下一代。

3-5 定義交配運算(Crossover)

交配步驟如下：

步驟一：根據輪盤法適應值，隨機選擇 2 條染色體。再亂數產生交配機率，比對交配的參數決定是否交配。若要交配則進行

步驟二；若無交配則將這 2 條染色體 P_1 、 P_2 直接複製至 C_1 、 C_2 。

步驟二：隨機產生要交配的班級，並從 2 條染色體中抓出要交配班級的字串。

步驟三：將 P_1 、 P_2 未交配的基因接複製至 C_1 、 C_2 ，而被抓出來要交配的字串則先用空白取代。

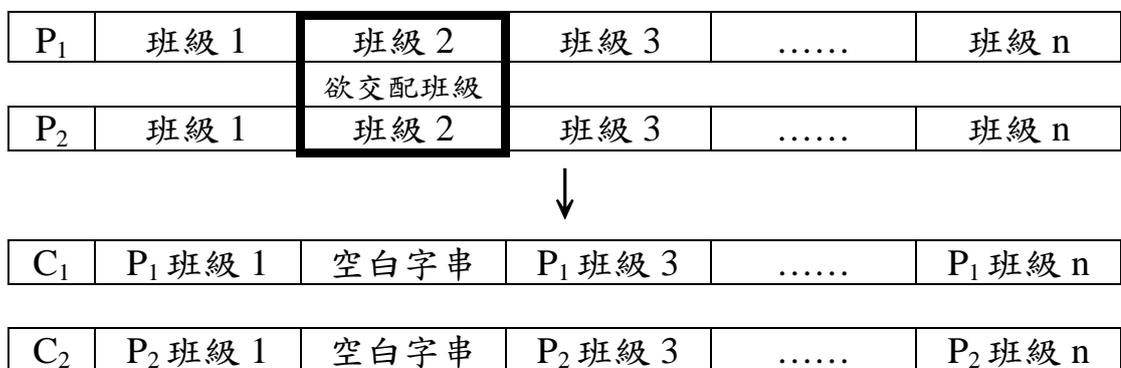


圖 3-1 染色體交配示意圖

步驟四：此步驟主要將 P_1 班級 2 的基因資料交配至 C_2 班級 2 內，交配過程先將課程種類分成 3 種，分配為全校共同科目、連堂程目、單堂科目，並依序進行交配。

1. 全校共同科目：此種時段課程代碼及教師代碼會相同，故將資料直接複製至 C_2 。

節次	1	2	3	4	.....	28	.....	35
P ₁	2104	2104	1101	1105		1117		1118
班級 2	0405	0405	0107	0404	.....	0103	.....	0107
						↓		↓
C ₂						1117		1118
班級 2						0103		0107

圖 3-2 染色體課表交配示意圖(全校共同科目)

2. 連堂科目：找出此班級課表中連堂科目的資料，依序檢查這些連堂課程是否能在不違反硬式限制下，直將將資料複製到 C₂ 中；若是資料有衝突無法複製到 C₂，則依據下表粗框線條組合方式，檢查在這 15 種組合中沒有違反硬式限制的組合，並用亂數從中選擇 1 個組合將資料交配至 C₂。

表 3-9 連堂課程初始解產生組合

	星期一	星期二	星期三	星期四	星期五
第 1 節	節次 1	節次 8	節次 15	節次 22	節次 29
第 2 節	節次 2	節次 9	節次 16	節次 23	節次 30
第 3 節	節次 3	節次 10	節次 17	節次 24	節次 31
第 4 節	節次 4	節次 11	節次 18	節次 25	節次 32
第 5 節	節次 5	節次 12	節次 19	節次 26	節次 33
第 6 節	節次 6	節次 13	節次 20	節次 27	節次 34
第 7 節	節次 7	節次 14	節次 21	節次 28	節次 35

3. 單堂科目：隨機尋找 P_1 尚未交配至 C_2 的節次資料，並尋找此筆資料在 C_2 目前現有的空堂中，以不違反硬式限制下尚可填入的節次。若有可填入的節次，則隨機找其中 1 個節次，將 P_1 那筆節次資料填入。若無任何節次可填入，則回到步驟四重新進行。

步驟六：反覆進行步驟五，直到 P_1 所有節次都交配至 C_2 中。

3-6 定義突變運算(Mutation)

本突變之突變運算元採隨機雙點交換，突變步驟如下：

步驟一：逐一選取族群中的染色體，突變率預設值為 0.5。用亂數產生突變機率，並決定此條染色體是否進行突變。

步驟二：若要進行突變，則隨機選取染色體中的其中 1 個班級，進行突變。

步驟三：1 個班級的排課總節數為 35 節，隨機亂數產生要突變的節次，並進行此節課的隨機調課作業。

步驟四：調課作業若是遇到連堂課程，如下表所示。

表 3-10 班級隨機選取突變的節次

節次	1	2	3	4	5	6	7	.....	35
突變前	2104 0405	2104 0405	1101 0107	1105 0404	1103 0305	1103 0305	1107 0505	.....	1118 0107

先尋找此連堂課程(節次 1、2)中任課教師，在下表連堂課程組合中所有可以調入的連堂節次，並再搜尋這些連堂的節次裡原本的任課教師，在要突變的連堂節次(節次 1、2)中是否有空堂。若有可以調課的空堂節次，則隨機尋找一組空堂進行調課。

表 3-11 突變過程中連堂課程組合

	星期一	星期二	星期三	星期四	星期五
第 1 節	節次 1	節次 8	節次 15	節次 22	節次 29
第 2 節	節次 2	節次 9	節次 16	節次 23	節次 30
第 3 節	節次 3	節次 10	節次 17	節次 24	節次 31
第 4 節	節次 4	節次 11	節次 18	節次 25	節次 32
第 5 節	節次 5	節次 12	節次 19	節次 26	節次 33
第 6 節	節次 6	節次 13	節次 20	節次 27	節次 34
第 7 節	節次 7	節次 14	節次 21	節次 28	節次 35

若沒有可以調課的空堂，則回到步驟三，重新進行隨機調課作業。

步驟五：調課作業若是遇到單堂課程，調課步驟與連堂課程相同，

只是將節數改為單堂。

步驟六：進行調課作業時，若是遇到全校共同進行課目，則回到步

驟三，重新進行隨機調課作業。

3-7 訂定停止規則

本研究採用之停止規則有二，當符合其中一個條件時，即停止演算：

1. 當世代中已演化至最佳適應值。

$$\text{最佳適應值} = \frac{1}{\text{最小懲罰值} + 1} = \frac{1}{(0+0+0+0+0+0+0)+1} = 1$$

2. 已演化至預定的世代。

第四章 模式驗證

本章節內容依續第三章模式內容進行實際驗證。本章節分為五個部份，第一個部份介紹實驗測試環境。第二部份是依據模擬問題，隨機產生課表初始解，進行參數不同設定時，比較演算所得到的平均適應值，求得「交配率」及「突變率」對於求解效益之影響。第三部份是依據第二部份所得到最佳執行效率的參數組合，進行模擬問題演算。依據所第二部份建構的模型、隨機產生課表初始解、參考最佳化參數，進行課表最佳化。第四部份是依據第三部份的參數組合，進行實例驗證。由坊間排課軟體產生課表初始解，進行課表最佳化。第五部份是探討 GA 模型演算的結果與比較。

4-1 實驗測試環境

一、 實驗平台：

CPU：Intel i3-330M 2.13GHz

RAM：4GB

HD：320GB

OS：Windows 7

二、 實驗程式語言：

本研究採用 Visual Studio VB 語言撰寫，並於本機端 IIS 底下執行，根據本文所提出排課問題進行模擬測試與結果分析比較。程式網頁如下圖所示：

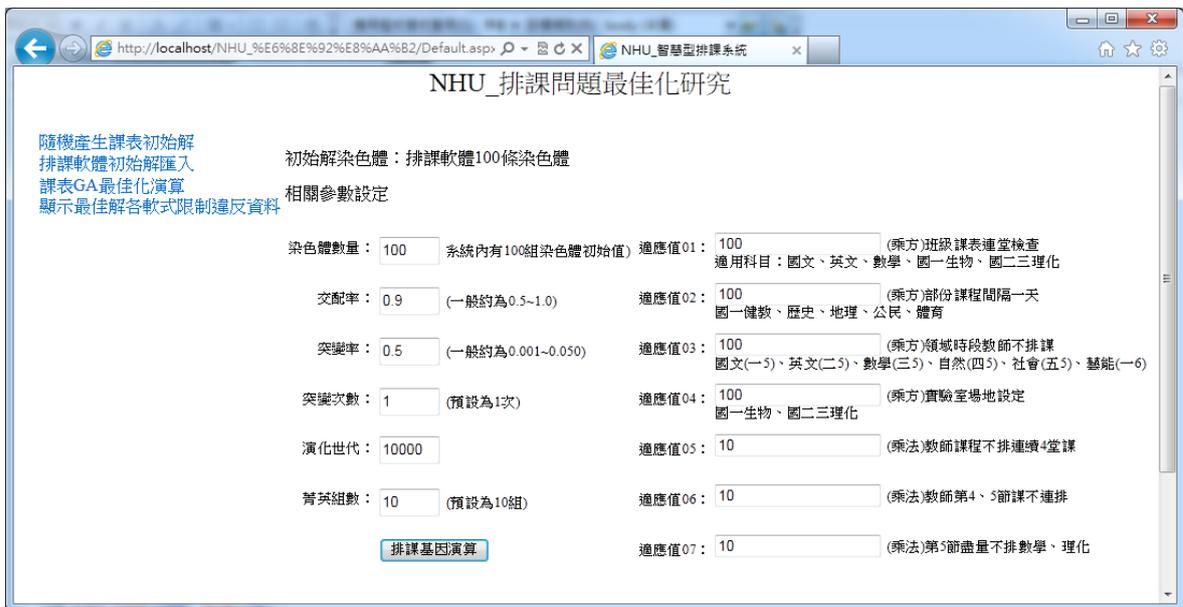


圖 4-1 課表最佳化執行畫面

4-2 模擬問題最佳化參數測試

本節以全校共有 15 個班級、任課教師有 38 位，班級一週上課 5 天、每天 7 節課，此問題之班級、課目、任課教師代碼如下表：

表 4-1 模擬問題、實例驗證班級、科目、任課教師代碼表

科目	國文	英語	數學	生物	健教	歷史	地理	社會	輔導	體育	音樂	美術	童軍	家政	鄉土	自習	聯課	班會
編碼	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116	1117	1118
節數	5	3	4	3	2	1	1	1	1	2	2	2	1	2	1	2	1	1
國一 01	0107	0205	0305	0405	0405	0505	0505	0501	0305	0601	0603	0603	0305	0205	0106	0107	0103	0107
國一 02	0105	0206	0306	0406	0406	0504	0505	0501	0306	0601	0603	0603	0306	0206	0106	0406	0604	0406
國一 03	0106	0203	0301	0406	0406	0504	0505	0501	0301	0601	0603	0603	0301	0203	0106	0301	0408	0301
國一 04	0104	0201	0303	0407	0407	0502	0503	0501	0303	0601	0603	0603	0303	0201	0106	0407	0407	0407
國一 05	0102	0201	0303	0405	0405	0502	0503	0501	0303	0605	0603	0603	0303	0201	0106	0405	0102	0405
科目	國文	英語	數學	理化		歷史	地理	公民	輔導	體育	音樂	美術	童軍	家政	電腦		聯課	班會
編碼	1201	1202	1203	1204		1206	1207	1208	1209	1210	1211	1212	1213	1214	1215		1217	1218
節數	6	4	4	4		2	2	2	1	2	1	1	1	2	1		1	1
國二 01	0101	0203	0305	0401		0502	0503	0504	0305	0103	0603	0203	0305	0604	0605		0201	0101
國二 02	0108	0203	0301	0403		0502	0503	0504	0301	0103	0603	0203	0203	0604	0605		0203	0403
國二 03	0105	0201	0305	0404		0502	0503	0504	0305	0103	0108	0201	0201	0604	0605		0305	0105
國二 04	0102	0204	0304	0404		0502	0503	0504	0304	0407	0204	0204	0206	0604	0605		0304	0102
國二 05	0106	0206	0302	0402		0502	0503	0504	0302	0407	0108	0206	0402	0604	0605		0206	0302
科目	國文	英語	數學	理化	地科	歷史	地理	公民	輔導	體育	音樂	美術	童軍	家政	電腦		聯課	班會
編碼	1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310	1311	1312	1313	1314	1315		1317	1318
節數	5	4	4	4	1	2	2	2	1	2	1	1	1	2	1		1	1
國三 01	0104	0204	0303	0408	0404	0502	0503	0504	0602	0604	0303	0204	0408	0408	0303		0605	0104
國三 02	0101	0202	0302	0404	0404	0502	0503	0504	0602	0604	0302	0202	0404	0404	0306		0302	0202
國三 03	0103	0204	0306	0401	0404	0502	0503	0504	0602	0604	0306	0204	0401	0401	0306		0204	0401
國三 04	0107	0202	0306	0402	0404	0502	0503	0504	0602	0604	0306	0202	0402	0402	0306		0106	0402
國三 05	0103	0206	0304	0403	0404	0502	0503	0504	0602	0604	0304	0206	0403	0403	0304		0108	0304

教學資源設定：

- 生物實驗室 1 間
- 理化實驗室 1 間

全校統一課程時段：

- 聯課活動為星期四第 7 節
- 班會為星期五第 7 節

參數設定方面：

- 族群大小：100 條隨機產生染色體
- 演算世代：1000 代
- 交配率：0.5、0.7、0.9
- 突變率：0.05、0.25、0.5、0.75、0.99
- 菁英數：10

執行結果：

根據上述各項設定，以本研究建立之模式執行，每組參數均執行 10

次，記錄每次演算之適應值進化過程及演算結果，歸納如下：

表 4-2 模擬問題各組參數測試結果

Mutation \ Crossover	0.5	0.7	0.9
	0.05	Max: 0.000381534 Min: 0.000284819 Avg: 0.000322496	Max: 0.000406339 Min: 0.000263089 Avg: 0.000311501	Max: 0.000393546 Min: 0.000261028 Avg: 0.00031317
0.25	Max: 0.000370233 Min: 0.000261028 Avg: 0.000317294	Max: 0.000429 Min: 0.000287274 Avg: 0.000343668	Max: 0.000425351 Min: 0.000336587 Avg: 0.000373146
0.5	Max: 0.000347102 Min: 0.000292312 Avg: 0.000318038	Max: 0.000436491 Min: 0.00028401 Avg: 0.000356985	Max: 0.000471476 Min: 0.000289771 Avg: 0.000384788
0.75	Max: 0.000393546 Min: 0.000252461 Avg: 0.000305822	Max: 0.000416493 Min: 0.000288101 Avg: 0.000345744	Max: 0.000456413 Min: 0.000327761 Avg: 0.000361181
0.99	Max: 0.000334336 Min: 0.000224165 Avg: 0.000282157	Max: 0.000395101 Min: 0.000271665 Avg: 0.000312444	Max: 0.000432713 Min: 0.000289771 Avg: 0.000346254

註：Max: 代表該組參數執行 10 次演算結果中之最佳適應值

Min: 代表該組參數執行 10 次演算結果中之最差適應值

Avg: 代表該組參數執行 10 次演算結果之平均適應值

由上表歸納可得：交配率及突變率均會影響結果。交配率越高，則產生的適應值較佳；而突變率過低或過高，則會產生較低的適應值，突變率在 0.5 時會產生較佳的適應值。

4-3 模擬問題測試、結果分析

依據模擬測試的模型及參數，初始解由隨機方式產生、交配率設為 0.9、突變率設為 0.5、演化世代設為 10000，執行 20 次演算，依演算結果之優劣排序，結果歸納如下：

染色體最佳適應值：

20 次演算結果中最佳適應值：0.000892061

20 次演算結果中最差適應值：0.00054615

20 次演算結果中平均適應值：0.000677298

如上所述，執行 20 次演算中，演算結果最佳適應值為 0.000892061，若將 500 個演算世代作為一個紀錄區間，該次演算進化過程如下：

表 4-4 模擬問題最佳解適應值違反次數指標表

演化世代	世代區間內最佳結果							
	適應值	違反懲罰次數指標						
		軟式限制 1	軟式限制 2	軟式限制 3	軟式限制 4	軟式限制 5	軟式限制 6	軟式限制 7
初始解	0.000129182	41	13	17	2	1	33	10
500	0.000355745	10	8	4	1	2	35	14
1000	0.000409668	11	6	3	0	1	30	13
1500	0.00050226	8	4	3	0	0	33	16
2000	0.000567859	7	3	3	0	0	29	17
2500	0.00068918	5	3	2	0	0	27	18
3000	0.000745712	5	3	1	0	0	27	17
3500	0.000774593	5	3	1	0	0	23	16
4000	0.000786782	5	3	1	0	0	21	16
4500	0.000861326	4	3	1	0	0	21	15
5000	0.000876424	4	3	1	0	0	20	14
5500	0.000876424	4	3	1	0	0	20	14
6000	0.000876424	4	3	1	0	0	20	14
6500	0.000876424	4	3	1	0	0	20	14
7000	0.000884173	4	3	1	0	0	19	14
7500	0.000884173	4	3	1	0	0	19	14
8000	0.000884173	4	3	1	0	0	19	14
8500	0.000884173	4	3	1	0	0	19	14
9000	0.000884173	4	3	1	0	0	19	14
9500	0.000892061	4	3	1	0	0	18	14
10000	0.000892061	4	3	1	0	0	18	14

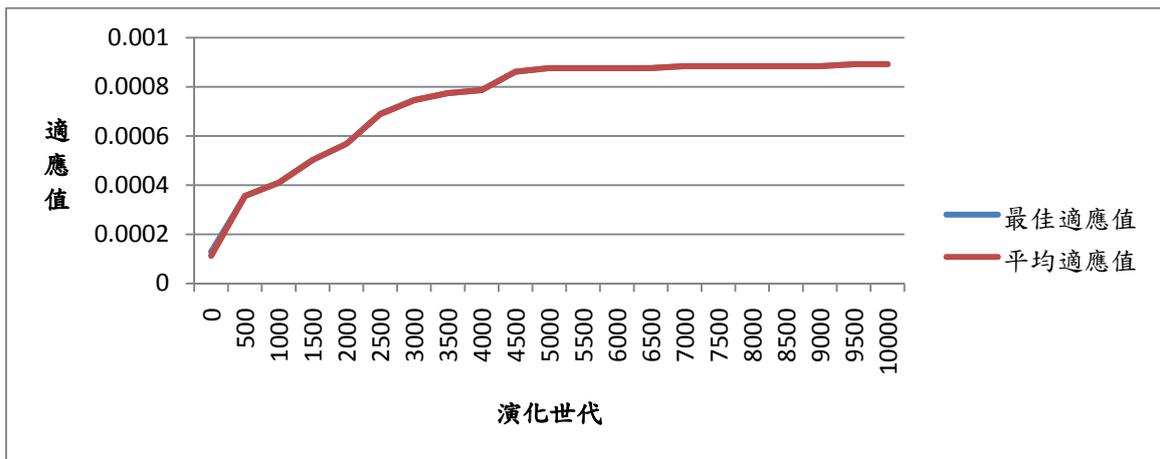


圖 4-2 模擬問題最佳解適應值圖表

演算後最佳解分析如下：

1. 違反軟式限制 1 指標：最佳初始值為 41，最佳演算結果為 4。

除了國文、生物、理化等課程有同一天連續排 2 節課的課程，其他對於全校各班的國文、英文、數學、生物、理化等科目，僅有 4 個未能改善；改善率 90.24%。

2. 違反軟式限制 2 指標：最佳初始值為 13，最佳演算結果為 3。

全校各班的健康教育、歷史、地理、公民、體育等科目，一天只排一節課，並且能間隔一天以上，僅有 3 個未能改善；改善率 76.92%。

3. 違反軟式限制 3 指標：最佳初始值為 17，最佳演算結果為 1。

各領域教師在各自特定時段需要開教學研討會議，未能避開時段的有 1 個人次；改善率 94.12%。

4. 違反軟式限制 4 指標：最佳初始值為 2，最佳演算結果為 0。

國一生物實驗課、國二及國三理化實驗課，演算後皆能符合現有實驗場地資源，分開時段上課以避免場地使用衝突；改善率 100%。

5. 違反軟式限制 5 指標：最佳初始值為 1，最佳演算結果為 0。

教師上午課程避免滿堂；改善率 100%。

6. 違反軟式限制 6 指標：最佳初始值為 33，最佳演算結果為 18。

教師第 4 節及第 5 節課避免連續排課；改善率 45.45%。

7. 違反軟式限制 7 指標：最佳初始值為 10，最佳演算結果為 14。

學生第 5 節課避開排數學、理化等課程，經演算後由原本最佳初始值 10 上升至 14。根據世代演算結果表中可推論：演化過程中若是能增加較低的懲罰值次數以降低較大的懲罰值次數，讓整體適應值增加，故此種演化是正確及可能發生的情形；改善率 -40.00%。

註：改善率計算方式為 $1 - \frac{GA \text{ 演算後違反軟式限制次數}}{GA \text{ 演算前違反軟式限制次數}}$

4-4 實例驗證、結果分析

依據模擬測試的模型及參數，本實例驗證利用坊間排課軟體產生初

始解，交配率設為 0.9、突變率設為 0.5、演化世代設為 10000，執行 20 次演算，依演算結果之優劣排序，結果歸納如下：

染色體最佳適應值：

20 次演算結果中最佳適應值：0.001248439

20 次演算結果中最差適應值：0.000757002

20 次演算結果中平均適應值：0.000932671

最佳結果分析：

如上所述，執行 20 次演算中，演算結果最佳適應值為 0.001248439，

若將 500 個演算世代作為一個紀錄區間，該次演算進化過程如下：

表 4-5 實例驗證最佳解適應值違反次數指標表

演化世代	世代區間內最佳結果							
	適應值	違反懲罰次數指標						
		軟式限制 1	軟式限制 2	軟式限制 3	軟式限制 4	軟式限制 5	軟式限制 6	軟式限制 7
初始解	0.000223664	11	13	13	3	1	30	16
500	0.000467071	6	6	4	1	0	26	18
1000	0.000528821	3	6	4	2	0	22	17
1500	0.000640615	3	4	4	1	0	19	17
2000	0.000724113	3	2	4	1	0	22	16
2500	0.000734754	3	2	4	1	0	21	15
3000	0.000799361	3	1	4	1	0	20	15
3500	0.00086881	3	1	3	1	0	21	14
4000	0.00086881	3	1	3	1	0	21	14
4500	0.000876424	3	1	3	1	0	19	15
5000	0.00090009	3	1	3	1	0	17	14
5500	0.001085776	2	1	3	0	0	18	14
6000	0.001203369	2	1	2	0	0	18	15
6500	0.001203369	2	1	2	0	0	18	15
7000	0.001218027	2	1	2	0	0	18	14
7500	0.001233046	2	1	2	0	0	17	14
8000	0.001233046	2	1	2	0	0	17	14
8500	0.001248439	2	1	2	0	0	16	14
9000	0.001248439	2	1	2	0	0	16	14
9500	0.001248439	2	1	2	0	0	16	14
10000	0.001248439	2	1	2	0	0	16	14

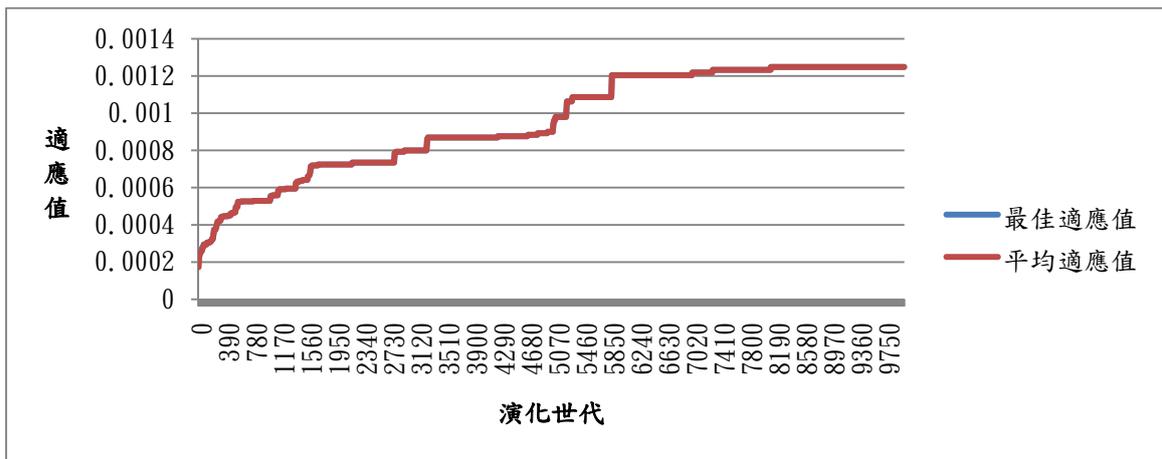


圖 4-3 實例驗證最佳解適應值圖表

演算所得之最佳解，經轉換後的班級、教師課表如附錄 A、B，最佳解分析如下：

1. 違反軟式限制 1 指標：最佳初始值為 11，最佳演算結果為 2。

除了國文、生物、理化等課程有同一天連續排 2 節課的課程，其他對於全校各班的國文、英文、數學、生物、理化等科目，僅有 2 個未能改善；改善率 81.82%。

2. 違反軟式限制 2 指標：最佳初始值為 13，最佳演算結果為 1。

全校各班的健康教育、歷史、地理、公民、體育等科目，一天只排一節課，並且能間隔一天以上，僅有 1 個未能改善；改善率 92.31%。

3. 違反軟式限制 3 指標：最佳初始值為 13，最佳演算結果為 2。

各領域教師在各自特定時段需要開教學研討會議，未能避開時段的有 2 個人次；改善率 84.62%。

4. 違反軟式限制 4 指標：最佳初始值為 3，最佳演算結果為 0。

國一生物實驗課、國二及國三理化實驗課，演算後皆能符合現有實驗場地資源，分開時段上課以避免場地使用衝突；改善率 100%。

5. 違反軟式限制 5 指標：最佳初始值為 1，最佳演算結果為 0。

教師上午課程避免滿堂；改善率 100%。

6. 違反軟式限制 6 指標：最佳初始值為 30，最佳演算結果為 16。

教師第 4 節及第 5 節課避免連續排課；改善率 46.67%。

7. 違反軟式限制 7 指標：最佳初始值為 16，最佳演算結果為 14。

學生第 5 節課避開排數學、理化等課程；改善率 12.50%。

經最佳化演算所得之最佳解，違反軟式限制的資料經轉換成班級、星期、節次後，附於附錄 C。

4-5 模擬問題、實例驗證結果與比較

本節主要檢視基因演算法的模型在排課問題最佳化上是否有成效。分析不同的初始族群進行最佳化演算，觀察最佳化成果並進行比較。各種最佳化執行結果如下表所示：

表 4-6 模擬問題、實例驗證最佳化結果違反軟式限制比較表

排課問題 最佳化類型	適應值	違反懲罰次數指標						
		軟式 限制 1	軟式 限制 2	軟式 限制 3	軟式 限制 4	軟式 限制 5	軟式 限制 6	軟式 限制 7
隨機產生課表 最佳初始解	0.000129182	41	13	17	2	1	33	10
排課軟體產生課表 最佳初始解	0.000223664	11	13	13	3	1	30	16
隨機產生課表 利用 GA 最佳化結果	0.000892061	4	3	1	0	0	18	14
排課軟體產生課表 利用 GA 最佳化結果	0.001248439	2	1	2	0	0	16	14

表 4-7 模擬問題、實例驗證最佳化結果百分比比較表

排課問題 最佳化類型	適應值	違反懲罰次數指標						
		軟式限 制 1	軟式限 制 2	軟式限 制 3	軟式限 制 4	軟式限 制 5	軟式限 制 6	軟式限 制 7
隨機產生課表 利用 GA 最佳化結果	85.52%	90.24%	76.92%	94.12%	100.00%	100.00%	45.45%	-40.00%
排課軟體產生課表 利用 GA 最佳化結果	82.08%	81.82%	92.31%	84.62%	100.00%	100.00%	46.67%	12.50%

由上方表格可得到下列結論：

1. 利用排課軟體所產生的課表初始課表，其課表品質會比隨機產生課表初始解的品質好，推論其原因可能是排課軟體在進行排課課表產生時，會根據實際狀況，以最佳化方式產生初始解。
2. 以隨機產生的課表利用此演算模型最佳化演算，其適應值及各個軟式限制違反次數比利用排課軟體產生初始解的結果好，故可驗證此模型具有排課問題最佳化效果。
3. 隨機產生課表最佳化演算的結果與排課軟體產生課表最佳化演算的結果比較，其適應值及各個軟式限制違反次數是排課軟體產生課表最佳化演算的結果好，故可推論具有較佳的初始解，在演算後會得到較佳的結果。
4. 軟式限制 1~4 的懲罰值是 100，而軟式限制 5~7 的懲罰值是 10，利用最佳化演算後，前面各種軟式限制最佳化比例約在 76.92~100%，後面的軟式限制除了第 5 項之外，最佳化比例約在 -40~46.67%，故可驗證不同的懲罰值對於軟式限制最佳化結果是有差異。
5. 以隨機產生課表利用此模型最佳化，其適應值增加比例為 85.52%，排課軟體產生課表利用此模型最佳化，其適應值增加比

例為 82.08%，兩者相差 3.44%，故可驗證不同的初始母群體，經過此模型的驗證，仍可得到近似的結果。

第五章 結論與建議

5-1 研究結論

本研究以基因演算法針對國民中學排課問題進行排課最佳化，以排課所需要的限制需求進行最佳化模型建構，經過實例驗證可以得到令人滿意之結果。藉由本研究可以得到下列結論：

1. 課表資料轉換成染色體後，經過基因演算法演化後，可減少軟式限制違反次數，用初始解適應值及 GA 演算後適應值的比例計算可提升 82.08%，證明基因演算具有課表最佳化功能。
2. 經過相同的編碼方式，可以針對坊間排課軟體進行課表最佳化處理。
3. 本研究以懲罰值做為最佳化時主要的判斷依據，排課人員可針對排課規則的重要性，自行調整懲罰函數的數據，決定最佳化需求。

5-2 研究建議

本研究之排課系統考慮到排課時大部份的排課規則，在進行最佳化時雖然能得到令人滿意之結果，但仍有改善的空間。以下提出幾點建議作為未來研究之參考：

1. 軟式限制是最佳化的重要依據，本研究的軟式限制有 7 點，並依據重要程度給予不同懲罰值。當運用在實際狀況時，可依據校內制定之規則及重要程度，增加更多的軟式限制或調整其懲罰值，以期望能發展出更符合實際運作的課表。
2. 可針對本研究模型加入「優生政策」機制，或者加入其他的演算法，如禁忌搜尋法、退火模擬演算法，以改良式基因演算法或混合其他演算法來測試排課問題，期望更能增加求解的效益。

參考文獻

一、中文部份

- [1] 吳正宇，「點著色在課程排程問題之研究—以淡江大學研究所為例」，淡江大學運輸管理學系運輸科學碩士班碩士論文，民國 92 年。
- [2] 王怡仁，「電腦輔助之排課系統」，國立雲林科技大學碩士論文，民國 87 年。
- [3] 王江山，「以多目標規劃求解大學教師排課最佳化之研究」，國立成功大學工業與資訊管理學系碩士在職專班碩士論文，民國 93 年。
- [4] 林淳菁，「應用遺傳基因演算法求解不相關平行機台之排程問題」，輔陽科技大學工業工程與管理研究所碩士論文，民國 90 年。
- [5] 李杰濃，「以樣式技術為基礎之大學排課黑板系統」，大葉大學資訊工程學系碩士論文，民國 94 年。
- [6] 陳源億，「代理人協商排課系統研究」，輔仁大學資訊工程學系碩士論文，民國 94 年。
- [7] 陳柏泰，「模糊理論應用於排課分析」，清雲科技大學機械工程研究所碩士論文，民國 94 年。
- [8] 廖聖揚，「應用限制規劃方法求解軍事院校排課問題」，國立高雄第一科技大學資訊管理所碩士論文，民國 94 年。
- [9] 翁得榮，「排課問題之研究—以高雄第一科技大學運籌管理系為例」，國立高雄第一科技大學運籌管理所碩士論文，民國 95 年。
- [10] 任書鳴，「應用資料探勘技術於排課系統之研究」，靜宜大學資訊管理學系研究所碩士論文，民國 95 年。
- [11] 蔡宇宗，「運用模糊理論於排課預處理作業—以遠東科技大學資管系為例」，樹德科技大學資訊工程學系碩士論文，民國 96 年。

- [12] 侯兆昇，「運用基因演算法解決高等職業學校排課問題」，義守大學資訊工程學系碩士班碩士論文，民國 96 年。
- [13] 蘇毓涵，「發展以知識模型為基礎的排課系統」，中原大學資訊管理研究所碩士論文，民國 97 年。
- [14] 張士宇，「基因演算法應用於大學排課最佳化系統建置之研究」，國立台北科技大學土木與防災研究所碩士論文，民國 97 年。
- [15] 蔡鎬匡，「將柏拉圖最佳化應用於高中排課系統」，國立中正大學資訊工程所碩士論文，民國 97 年。
- [16] 俞慧蓮，「以動態排課策略因素及禁忌搜尋法求解自動排課問題」，屏東科技大學資訊管理系所碩士論文，民國 97 年。
- [17] 張曉芬，「自動排課系統之研究-使用粒子群優化演算法」，國立臺北教育大學資訊科學系碩士班碩士論文，民國 98 年。
- [18] 林宜穎，「多代理人應用協商與辯證技術於排課系統」，國立台北科技大學資訊工程系研究所碩士論文，民國 98 年。
- [19] 賴意旻，「使用基因演算法於無線廣播資料配置問題」，南華大學訊管理學系碩士論文，民國 94 年。
- [20] 楊迺聲，「軍事院校班隊排課最佳化之研究」，國立中央大學土木工程學系在職碩士班碩士論文，民國 94 年。
- [21] 邱元泰，「遺傳演算法在排課問題之應用」，國立中正大學數學研究所碩士論文，民國 91 年。

二、西文部份

- [22] B. J. Park, H. R. Choi and H. S. Kim, "A hybrid genetic algorithm for the job shop scheduling problems", *Computers & Industrial Engineering* 45, pp. 597-613, 2003.

- [23] Eiseif, H. and Laporte, G. "Combinatorial Optimization Problems with Soft and Hard Requirement," Journal of the Operational Research Society, Vol. 38, 1987, pp. 785-795.
- [24] Schaerf, A., "A Survey of automated timetabling," Artificial Intelligence Review, Vol. 13, No. 2, 1999, pp. 87-127.
- [25] B.Sandikci, "Genetic Algorithms", In partial fulfillment of the requirements for the course IE572 Spring, 2000.
- [26] J.Holland, "Adaptation in Natural and Artificial Systems", University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan, 1975.
- [27] Burke E.K. and Petrovic S., 2002, "Recent Research Directions in Automated Timetabling", European Journal of Operational Research, vol. 140, Issue: 2, pp.266-280.
- [28] Melanie Mitchell, An Introduction to Genetic Algorithms, MIT Press, London, 1998.

附錄 A 實例問題最佳解解碼後班級課表

1-1	一	二	三	四	五
1	美術 0603	音樂 0603	國文 0107	輔導 0305	體育 0601
2	生物 0405	數學 0305	國文 0107	音樂 0603	童軍 0305
3	數學 0305	鄉土 0106	自習 0107	健教 0405	國文 0107
4	英文 0205	英文 0205	家政 0205	家政 0205	自習 0107
5	社會 0501	國文 0107	生物 0405	地理 0505	英文 0205
6	健教 0405	歷史 0505	生物 0405	數學 0305	美術 0603
7	國文 0107	體育 0601	數學 0305	聯課 0103	班會 0107

1-3	一	二	三	四	五
1	社會 0501	自習 0301	英文 0203	音樂 0603	自習 0301
2	體育 0601	輔導 0301	童軍 0301	英文 0203	音樂 0603
3	國文 0106	家政 0203	鄉土 0106	地理 0505	美術 0603
4	家政 0203	數學 0301	體育 0601	數學 0301	英文 0203
5	健教 0406	美術 0603	國文 0106	國文 0106	國文 0106
6	數學 0301	生物 0406	健教 0406	國文 0106	數學 0301
7	生物 0406	生物 0406	歷史 0504	聯課 0408	班會 0301

1-2	一	二	三	四	五
1	數學 0306	生物 0406	社會 0501	英文 0206	童軍 0306
2	英文 0206	國文 0105	美術 0603	體育 0601	健教 0406
3	健教 0406	自習 0406	生物 0406	國文 0105	國文 0105
4	體育 0601	英文 0206	生物 0406	音樂 0603	國文 0105
5	國文 0105	鄉土 0106	自習 0406	數學 0306	家政 0206
6	家政 0206	輔導 0306	歷史 0504	美術 0603	數學 0306
7	音樂 0603	數學 0306	地理 0505	聯課 0604	班會 0406

1-4	一	二	三	四	五
1	健教 0407	童軍 0303	美術 0603	地理 0503	生物 0407
2	自習 0407	鄉土 0106	數學 0303	英文 0201	生物 0407
3	音樂 0603	數學 0303	家政 0201	國文 0104	國文 0104
4	數學 0303	生物 0407	自習 0407	國文 0104	家政 0201
5	美術 0603	國文 0104	體育 0601	輔導 0303	健教 0407
6	社會 0501	英文 0201	歷史 0502	數學 0303	體育 0601
7	英文 0201	音樂 0603	國文 0104	聯課 0407	班會 0407

1-5	一	二	三	四	五
1	體育 0605	家政 0201	地理 0503	國文 0102	音樂 0603
2	社會 0501	童軍 0303	歷史 0502	國文 0102	國文 0102
3	生物 0405	音樂 0603	健教 0405	數學 0303	自習 0405
4	健教 0405	英文 0201	數學 0303	自習 0405	美術 0603
5	英文 0201	國文 0102	美術 0603	英文 0201	生物 0405
6	數學 0303	數學 0303	體育 0605	家政 0201	生物 0405
7	國文 0102	輔導 0303	鄉土 0106	聯課 0102	班會 0405

2-2	一	二	三	四	五
1	童軍 0203	體育 0103	輔導 0301	國文 0108	理化 0403
2	公民 0504	電腦 0605	公民 0504	數學 0301	理化 0403
3	理化 0403	國文 0108	地理 0503	歷史 0502	英文 0203
4	國文 0108	理化 0403	數學 0301	英文 0203	數學 0301
5	數學 0301	歷史 0502	國文 0108	體育 0103	國文 0108
6	地理 0503	美術 0203	音樂 0603	家政 0604	國文 0108
7	英文 0203	英文 0203	家政 0604	聯課 0203	班會 0403

2-1	一	二	三	四	五
1	數學 0305	英文 0203	電腦 0605	英文 0203	國文 0101
2	歷史 0502	理化 0401	數學 0305	家政 0604	英文 0203
3	國文 0101	國文 0101	音樂 0603	體育 0103	理化 0401
4	童軍 0305	國文 0101	英文 0203	輔導 0305	地理 0503
5	公民 0504	地理 0503	國文 0101	國文 0101	數學 0305
6	家政 0604	理化 0401	美術 0203	歷史 0502	公民 0504
7	體育 0103	數學 0305	理化 0401	聯課 0201	班會 0101

2-3	一	二	三	四	五
1	理化 0404	歷史 0502	英文 0201	英文 0201	歷史 0502
2	理化 0404	公民 0504	美術 0201	數學 0305	國文 0105
3	英文 0201	數學 0305	家政 0604	公民 0504	英文 0201
4	電腦 0605	國文 0105	數學 0305	地理 0503	家政 0604
5	數學 0305	輔導 0305	國文 0105	國文 0105	體育 0103
6	音樂 0108	體育 0103	國文 0105	理化 0404	理化 0404
7	國文 0105	地理 0503	童軍 0201	聯課 0305	班會 0105

2-4	一	二	三	四	五
1	歷史 0502	國文 0102	理化 0404	理化 0404	數學 0304
2	國文 0102	輔導 0304	理化 0404	體育 0407	理化 0404
3	美術 0204	體育 0407	國文 0102	國文 0102	公民 0504
4	地理 0503	數學 0304	數學 0304	家政 0604	歷史 0502
5	數學 0304	理化 0404	地理 0503	電腦 0605	國文 0102
6	英文 0204	理化 0404	家政 0604	英文 0204	國文 0102
7	公民 0504	童軍 0206	音樂 0204	聯課 0304	班會 0102

3-1	一	二	三	四	五
1	理化 0408	地科 0404	電腦 0303	理化 0408	英文 0204
2	英文 0204	童軍 0408	英文 0204	理化 0408	國文 0104
3	國文 0104	歷史 0502	數學 0303	體育 0604	音樂 0303
4	國文 0104	國文 0104	公民 0504	數學 0303	數學 0303
5	美術 0204	體育 0604	國文 0104	歷史 0502	輔導 0602
6	公民 0504	家政 0408	國文 0104	國文 0104	家政 0408
7	地理 0503	英文 0204	地理 0503	聯課 0605	班會 0104

2-5	一	二	三	四	五
1	公民 0504	地理 0503	國文 0106	國文 0106	數學 0302
2	數學 0302	英文 0206	美術 0206	國文 0106	理化 0402
3	理化 0402	家政 0604	英文 0206	英文 0206	歷史 0502
4	理化 0402	國文 0106	數學 0302	公民 0504	輔導 0302
5	體育 0407	理化 0402	童軍 0402	數學 0302	電腦 0605
6	國文 0106	家政 0604	體育 0407	地理 0503	英文 0206
7	國文 0106	歷史 0502	音樂 0108	聯課 0206	班會 0302

3-2	一	二	三	四	五
1	數學 0302	輔導 0602	國文 0101	數學 0302	體育 0604
2	地理 0503	電腦 0306	地理 0503	童軍 0404	英文 0202
3	歷史 0502	數學 0302	數學 0302	理化 0404	理化 0404
4	公民 0504	英文 0202	家政 0404	國文 0101	理化 0404
5	理化 0404	音樂 0302	地科 0404	英文 0202	國文 0101
6	歷史 0502	美術 0202	家政 0404	公民 0504	國文 0101
7	國文 0101	體育 0604	英文 0202	聯課 0302	班會 0202

3-3	一	二	三	四	五
1	英文 0204	數學 0306	國文 0103	國文 0103	地理 0503
2	輔導 0602	體育 0604	童軍 0401	歷史 0502	公民 0504
3	國文 0103	理化 0401	美術 0204	數學 0306	體育 0604
4	國文 0103	理化 0401	數學 0306	理化 0401	英文 0204
5	理化 0401	公民 0504	英文 0204	英文 0204	地科 0404
6	數學 0306	地理 0503	電腦 0306	家政 0401	國文 0103
7	歷史 0502	家政 0401	音樂 0306	聯課 0204	班會 0401

3-5	一	二	三	四	五
1	英文 0206	數學 0304	英文 0206	童軍 0403	英文 0206
2	國文 0103	地理 0503	國文 0103	英文 0206	歷史 0502
3	音樂 0304	電腦 0304	理化 0403	地理 0503	國文 0103
4	數學 0304	公民 0504	理化 0403	美術 0206	國文 0103
5	理化 0403	家政 0403	體育 0604	公民 0504	理化 0403
6	國文 0103	歷史 0502	家政 0403	輔導 0602	數學 0304
7	體育 0604	地科 0404	數學 0304	聯課 0108	班會 0304

3-4	一	二	三	四	五
1	理化 0402	公民 0504	歷史 0502	音樂 0306	國文 0107
2	童軍 0402	英文 0202	數學 0306	數學 0306	地理 0503
3	美術 0202	地理 0503	電腦 0306	理化 0402	家政 0402
4	歷史 0502	體育 0604	國文 0107	理化 0402	公民 0504
5	數學 0306	數學 0306	輔導 0602	國文 0107	英文 0202
6	地科 0404	國文 0107	英文 0202	國文 0107	體育 0604
7	英文 0202	理化 0402	家政 0402	聯課 0106	班會 0402

附錄 B 實例問題最佳解解碼後教師課表

0101	一	二	三	四	五
1			3-2		2-1
2					
3	2-1	2-1			
4		2-1		3-2	
5			2-1	2-1	3-2
6					3-2
7	3-2				2-1

0105	一	二	三	四	五
1					
2		1-2			2-3
3				1-2	1-2
4		2-3			1-2
5	1-2		2-3	2-3	
6			2-3		
7	2-3				2-3

0102	一	二	三	四	五
1		2-4		1-5	
2	2-4			1-5	1-5
3			2-4	2-4	
4					
5		1-5			2-4
6					2-4
7	1-5			1-5	2-4

0106	一	二	三	四	五
1			2-5	2-5	
2		1-4		2-5	
3	1-3	1-1	1-3		
4		2-5			
5		1-2	1-3	1-3	1-3
6	2-5			1-3	
7	2-5		1-5	3-4	

0103	一	二	三	四	五
1		2-2	3-3	3-3	
2	3-5		3-5		
3	3-3			2-1	3-5
4	3-3				3-5
5				2-2	2-3
6	3-5	2-3			3-3
7	2-1			1-1	

0107	一	二	三	四	五
1			1-1		3-4
2			1-1		
3			1-1		1-1
4			3-4		1-1
5		1-1		3-4	
6		3-4		3-4	
7	1-1				1-1

0104	一	二	三	四	五
1					
2					3-1
3	3-1			1-4	1-4
4	3-1	3-1		1-4	
5		1-4	3-1		
6			3-1	3-1	
7			1-4		3-1

0108	一	二	三	四	五
1				2-2	
2					
3		2-2			
4	2-2				
5			2-2		2-2
6	2-3				2-2
7			2-5	3-5	

0201	一	二	三	四	五
1		1-5	2-3	2-3	
2			2-3	1-4	
3	2-3		1-4		2-3
4		1-5			1-4
5	1-5			1-5	
6		1-4		1-5	
7	1-4		2-3	2-1	

0205	一	二	三	四	五
1					
2					
3					
4	1-1	1-1	1-1	1-1	
5					1-1
6					
7					

0202	一	二	三	四	五
1					
2		3-4			3-2
3	3-4				
4		3-2			
5				3-2	3-4
6		3-2	3-4		
7	3-4		3-2		3-2

0206	一	二	三	四	五
1	3-5		3-5	1-2	3-5
2	1-2	2-5	2-5	3-5	
3			2-5	2-5	
4		1-2		3-5	
5					1-2
6	1-2				2-5
7		2-4		2-5	

0203	一	二	三	四	五
1	2-2	2-1	1-3	2-1	
2				1-3	2-1
3		1-3			2-2
4	1-3		2-1	2-2	1-3
5					
6		2-2	2-1		
7	2-2	2-2		2-2	

0301	一	二	三	四	五
1		1-3	2-2		1-3
2		1-3	1-3	2-2	
3					
4		1-3	2-2	1-3	2-2
5	2-2				
6	1-3				1-3
7					1-3

0204	一	二	三	四	五
1	3-3				3-1
2	3-1		3-1		
3	2-4		3-3		
4					3-3
5	3-1		3-3	3-3	
6	2-4			2-4	
7		3-1	2-4	3-3	

0302	一	二	三	四	五
1	3-2			3-2	2-5
2	2-5				
3		3-2	3-2		
4			2-5		2-5
5		3-2		2-5	
6					
7				3-2	2-5

0303	一	二	三	四	五
1		1-4	3-1		
2		1-5	1-4		
3		1-4	3-1	1-5	3-1
4	1-4		1-5	3-1	3-1
5				1-4	
6	1-5	1-5		1-4	
7		1-5			

0401	一	二	三	四	五
1					
2		2-1	3-3		
3		3-3			2-1
4		3-3		3-3	
5	3-3				
6		2-1		3-3	
7		3-3	2-1		3-3

0304	一	二	三	四	五
1		3-5			2-4
2		2-4			
3	3-5	3-5			
4	3-5	2-4	2-4		
5	2-4				
6					3-5
7			3-5	2-4	3-5

0402	一	二	三	四	五
1	3-4				
2	3-4				2-5
3	2-5			3-4	3-4
4	2-5			3-4	
5		2-5	2-5		
6					
7		3-4	3-4		3-4

0305	一	二	三	四	五
1	2-1			1-1	
2		1-1	2-1	2-3	1-1
3	1-1	2-3			
4	2-1		2-3	2-1	
5	2-3	2-3			2-1
6				1-1	
7		2-1	1-1	2-3	

0403	一	二	三	四	五
1				3-5	2-2
2					2-2
3	2-2		3-5		
4		2-2	3-5		
5	3-5	3-5			3-5
6			3-5		
7					2-2

0306	一	二	三	四	五
1	1-2	3-3		3-4	1-2
2		3-2	3-4	3-4	
3			3-4	3-3	
4			3-3		
5	3-4	3-4		1-2	
6	3-3	1-2	3-3		1-2
7		1-2	3-3		

0404	一	二	三	四	五
1	2-3	3-1	2-4	2-4	
2	2-3		2-4	3-2	2-4
3				3-2	3-2
4			3-2		3-2
5	3-2	2-4	3-2		3-3
6	3-4	2-4	3-2	2-3	2-3
7		3-5			

0405	一	二	三	四	五
1					
2	1-1				
3	1-5		1-5	1-1	1-5
4	1-5			1-5	
5			1-1		1-5
6	1-1		1-1		1-5
7					1-5

0501	一	二	三	四	五
1	1-3		1-2		
2	1-5				
3					
4					
5	1-1				
6	1-4				
7					

0406	一	二	三	四	五
1		1-2			
2					1-2
3	1-2	1-2	1-2		
4			1-2		
5	1-3		1-2		
6		1-3	1-3		
7	1-3	1-3			1-2

0502	一	二	三	四	五
1	2-4	2-3	3-4		2-3
2	2-1		1-5	3-3	3-5
3	3-2	3-1		2-2	2-5
4	3-4				2-4
5		2-2		3-1	
6	3-2	3-5	1-4	2-1	
7	3-3	2-5			

0407	一	二	三	四	五
1	1-4				1-4
2	1-4			2-4	1-4
3		2-4			
4		1-4	1-4		
5	2-5				1-4
6			2-5		
7				1-4	1-4

0503	一	二	三	四	五
1		2-5	1-5	1-4	3-3
2	3-2	3-5	3-2		3-4
3		3-4	2-2	3-5	
4	2-4			2-3	2-1
5		2-1	2-4		
6	2-2	3-3		2-5	
7	3-1	2-3	3-1		

0408	一	二	三	四	五
1	3-1			3-1	
2		3-1		3-1	
3					
4					
5					
6		3-1			3-1
7				1-3	

0504	一	二	三	四	五
1	2-5	3-4			
2	2-2	2-3	2-2		3-3
3				2-3	2-4
4	3-2	3-5	3-1	2-5	3-4
5	2-1	3-3		3-5	
6	3-1		1-2	3-2	2-1
7	2-4		1-3		

0505	一	二	三	四	五
1					
2					
3				1-3	
4					
5				1-1	
6		1-1			
7			1-2		

0604	一	二	三	四	五
1					3-2
2		3-3		2-1	
3		2-5	2-3	3-1	3-3
4		3-4		2-4	2-3
5		3-1	3-5		
6	2-1	2-5	2-4	2-2	3-4
7	3-5	3-2	2-2	1-2	

0601	一	二	三	四	五
1					1-1
2	1-3			1-2	
3					
4	1-2		1-3		
5			1-4		
6					1-4
7		1-1			

0605	一	二	三	四	五
1	1-5		2-1		
2		2-2			
3					
4	2-3				
5				2-4	2-5
6			1-5		
7				3-1	

0602	一	二	三	四	五
1		3-2			
2	3-3				
3					
4					
5			3-4		3-1
6				3-5	
7					

0603	一	二	三	四	五
1	1-1	1-1	1-4	1-3	1-5
2			1-2	1-1	1-3
3	1-4	1-5	2-1		1-3
4				1-2	1-5
5	1-4	1-3	1-5		
6			2-2	1-2	1-1
7	1-2	1-4			

附錄 C 實證問題最佳解解碼後違反適應值資料

適應值 1 違反次數 2：

1. 班級:2-5；星期一第 6 節；科目:國文；教師代碼:0106
2. 班級:3-5；星期一第 2 節；科目:國文；教師代碼:0103

適應值 2 違反次數 1：

1. 班級:3-2；星期一第 3 節 - 星期一第 6 節；
科目:歷史；教師代碼:0502

適應值 3 違反次數 2：

1. 國文領域時段(星期一第 5 節)；教師代碼:0105
2. 藝能領域時段(星期一第 6 節)；教師代碼:0604

適應值 4 違反次數 0。

適應值 5 違反次數 0。

適應值 6 違反次數 16：

1. 教師代碼:0101；星期四
2. 教師代碼:0103；星期五
3. 教師代碼:0104；星期二
4. 教師代碼:0106；星期二
5. 教師代碼:0303；星期四

6. 教師代碼:0304 ; 星期一
7. 教師代碼:0305 ; 星期一
8. 教師代碼:0403 ; 星期二
9. 教師代碼:0404 ; 星期三
10. 教師代碼:0404 ; 星期五
11. 教師代碼:0406 ; 星期三
12. 教師代碼:0504 ; 星期一
13. 教師代碼:0504 ; 星期二
14. 教師代碼:0504 ; 星期四
15. 教師代碼:0601 ; 星期三
16. 教師代碼:0604 ; 星期二

適應值 7 違反次數 14 :

1. 班級:1-2 ; 星期四 ; 數學
2. 班級:2-1 ; 星期五 ; 數學
3. 班級:2-2 ; 星期一 ; 數學
4. 班級:2-3 ; 星期一 ; 數學
5. 班級:2-4 ; 星期一 ; 數學
6. 班級:2-4 ; 星期二 ; 理化

7. 班級:2-5 ; 星期二 ; 理化
8. 班級:2-5 ; 星期四 ; 數學
9. 班級:3-2 ; 星期一 ; 理化
10. 班級:3-3 ; 星期一 ; 理化
11. 班級:3-4 ; 星期一 ; 數學
12. 班級:3-4 ; 星期二 ; 數學
13. 班級:3-5 ; 星期一 ; 理化
14. 班級:3-5 ; 星期五 ; 理化