

使用基因演算法之自動排課系統

徐靖翔, 彭靖翔, 顏辛哲, *鄭文昌

朝陽科技大學資訊工程系

e-mail: *wccheng@cyut.edu.tw

摘要

排課問題是校務工作中相當重要的工作之一，也是一種最佳化求解的問題。本研究使用基因演算法撰寫自動排課系統，此系統可以匯入、新增與刪除課程資料，新增與刪除老師應硬限制與軟限制，統計圖表、逗號分隔檔案格式(csv檔)與課程表輸出等，最後以朝陽科技大學資訊工程系所105學年度第一學期全系課程為範例，經過實驗結果證實，利用基因演算法來進行自動排課確實可以得到令人滿意的結果，此系統亦能夠應用於其他排班方面問題。

關鍵字: 自動排課系統, 最佳化求解, 基因演算法, 硬限制, 軟限制。

Abstract

The automatic scheduling system is one of the most important jobs in school work, and it is also an optimization problem. In this study, we used the genetic algorithm to complete the automatic scheduling system. This system can import, add and delete course materials, add and remove teacher hard limit and soft limit, and statistical charts, comma-separated file formats (csv files) and curriculum output. Finally, the Department of Information Engineering, Chaoyang University of Science and Technology, the first semester of 105 years of the whole course as an example. The experimental results show that the use of genetic algorithms to carry out automatic scheduling can really get satisfactory results. In addition, the system can also be applied to other scheduling problems.

Keywords: Automatic scheduling system, optimization problem, genetic algorithm, hard limit, soft limit.

1. 簡介

排課問題一直都是校務工作中相當重要的工作之一，排課過程存在著許多衝突與矛盾，例如學分計算、教室數量與屬性、老師數量、課程編排、公佈課表等，甚至部分教師因為公務需要，只有部

分時段可以授課，使排課問題的複雜度提高，在條件完成後還需要滿足排課的公平性以及教師對於排課結果的滿意度。因此，本研究希望能完成一套自動化的排課系統，使得排課不再繁複，藉此縮短人力與時間。排課系統必須考量的限制條件很多，在多種的限制條件之下，要將教師授課時段排入班級課表中，並盡量滿足限制條件，所以排課系統是一個滿足多條件的最佳化問題。

在許多解決最佳化問題的演算法裡，基因演算法 (Genetic Algorithm, GA) [1] 是表現相當優異的一種，適合用來解決複雜度高的問題。基因演算法是一類借鑒生物界的進化規律 (適者生存) 演化而來的隨機化搜索方法，可以快速地將解空間中的全體解搜索出，而不會陷入局部最優解的快速下降陷阱，所以我們希望透過基因演算法模仿自然界的選擇與遺傳的機制來尋找最佳解答。近年來有不少學者使用GA來解決問題研究排課問題，以下分別說明。彭振為等人[2]在2008年使用GA建構排課系統，其研究針對排程上面的速度提升，但是對於排課作業上尚有許多不足。謝正瑜[3]利用GA提高教學排課滿意度，他所研究的重點不僅是要利用GA來縮短排課所花費的時間，同時也希望提高排課結果，並將授課時段、教室等限制融入基因表現中，初步測試結果顯示GA在排課問題上的優異表現。

李佩君等[4]發展出一套盡可能完全電腦化的排課系統，透過資料庫的建立達成不同課程完整的安排，管理者透過系統能輕鬆與準確的安排課程、快速掌握所有課程資訊、能隨意與快速的異動已安排的課程，最後提供一個不同需求的列印功能，如此能列印出不同需求的資料。邱宏彬等[5]提出GA在國民中學排課問題之最佳化研究，主要運用GA在考慮硬限制不衝突及減少軟限制違反次數上的限制條件下，對於課程安排進行最佳化，提出的方法架構模擬國民中學課表安排為案例，藉以驗證GA對於課程安排最佳化的可行性。林柏翰[6]提出非固定周期班次排課最佳化研究，同為運用GA做為最佳化的搜尋方法，但不同於其他研究，使用的是非固定的班表，每一天的工作長度都不同，主要解決師資來源受限較大，部分排課必須以某些特定教師為主的問題。

以上研究說明，GA確實能有效應用在自動排課系統上，並達到不錯的效果。在此研究我們以朝

陽科技大學資訊工程系105學年系課表作為研究範例，不同於之前研究，本研究除了符合硬限制以及軟限制達到最佳化結果之外，介面設計也是重要的一環，希望介面化設計讓排課人員可以快速上手，在排課時可以有輕鬆操作流程完成自動排課，且可以透過不一樣的方式輸出來表示課程表。

2. 基因演算法(GA)

GA是一種應用自然界演化觀念所發展出來的演算法，最早是由J. Holland教授於1975年提出[7]。對於一個最優化問題，一定數量的個體可抽象表示為染色體，使種群走向更好的解，傳統上GA用二進位表示(即0和1的字串)，但也可以用其他表示方法，進化過程從隨機個體的種群開始，之後一代一代發生，在每一代中透過目標函數來定義整個種群的適應度，再從當前種群中選擇適應度較佳的多個個體，透過自然選擇和突變產生新的生命種群，該種群則成為演算法的下一代迭代種群，使用GA的過程也有可能出現無最佳解的情形，做為折衷方案GA找到的解不保證是最佳解，而可能只是次佳解。

GA的步驟包含定義問題、產生族群與染色體編碼、目標函數設定、基因選擇、交配、突變、以及遺傳等，以下分別說明。

(1)定義問題。使用固定長度的染色體表示問題變數域，選擇染色體種群數量 N 、交配機率 P_c 、突變機率 P_m 。

(2)產生族群與染色體編碼。在進行演算法時，我們必須先建立資料，然後根據問題的屬性予以資料依序編碼，資料編碼可以是目的導向，可根據資料處理的目的而進行編碼，也可以是問題導向，根據面臨問題的屬性選擇適合的染色體編碼法，編碼的目的主要是讓程式可以清楚得去尋找你所給定的資料，方便之後的流程進行。

(3)目標函數設定。目標函數作為衡量各組染色體好壞標準，透過目標函數計算出各個染色體的適應值，觀察由分數的高低獲知該染色體對目標的適應程度。

(4)基因選擇。在目前種群中選擇一對染色體，優良雙親 (parents) 產生高適應性的結果，適應值越高的染色體將有比較多選擇機率，適應值較低的染色體獲選數量便相對較少。通常我們會用圓餅圖來表示每一個染色體被選擇的機率，透過此步驟變可以決定適應值與獲選分配比例的關係。

(5)基因交配。將選擇的基因組進行交配 (crossover)，交配法有單點交配、雙點交配、字罩交配等，主要目的是希望兩個染色體可以透過交配產生更優秀的下一代。

(6)基因突變。突變是用來維持演算法族群

(population)裡面每一個世代的染色體到下一個世代時，還能夠維持遺傳多樣性的一個遺傳運算元，突變可能使兩個產生出來的染色體適應性低，也可能產生出適應性高的染色體，藉由突變快速的尋找到最佳解。

(7)基因遺傳。遺傳運算是將交配與機率突變所產生的下一代染色體放入新的種群中。重複(4)至(7)，直到新染色體種群的大小等於初始種群的大小 N 為止，並用新一代(後代)染色體種群取代初始染色體種群。

圖1為GA流程圖，演算法一開始產生大小為 N 的染色體種群，接著計算每個染色體的適應性，接著選擇一對染色體進，選擇方法採用輪盤法，接著產生一隨機機率並比較於 P_c 決定是否進行交配運算產生兩個新子代，接著再產生一隨機機率並比較於 P_m 決定是否進行突變運算，重複選擇直到新種群數量與初始染色體種群個數相同，最後用新種群代替初始染色體種群，如果條件滿足則結束，否則回到計算每個染色體的適應性步驟重複執行。

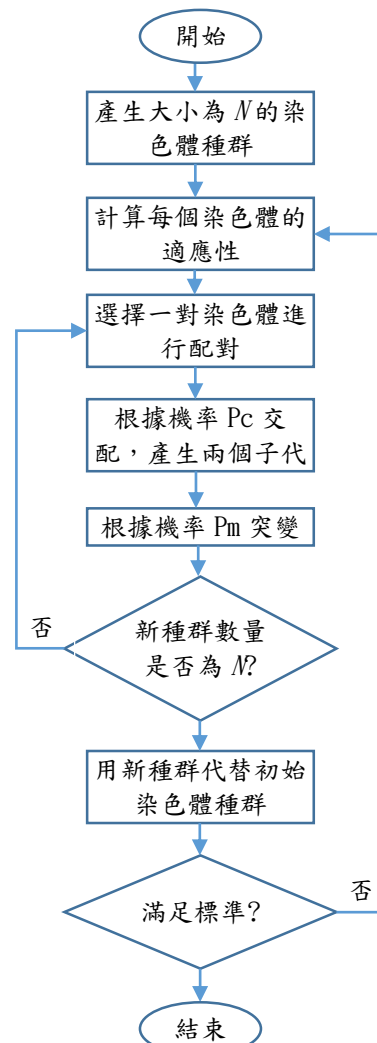


圖 1. GA 流程圖

3. 基於 GA 自動排課系統

本章節主要說明我們設計的自動排課系統。排課系統要先了解最基本的宣告變數多寡，由於排課系統的做法多元，從課程與老師的編排問題來看，部分研究是將課程跟老師分開運算，透過排定好的課程時段將老師依序的排入課程，但是這種做法，並沒辦法讓老師有更多的彈性，而且下一步適應性函數運算部分又會遇到給分不易的問題。因此，本研究將課程與老師綁定在一起，一個老師可以授課多門課程，老師可以透過限制設定改變課程時段，使得排課系統更為人性化。

接下產生族群染色體編碼，在我們系統中課程設定一週五天，一天八節課，以五位老師為例，每位老師由40位元的二元基因資料表示，則一組染色體有200位元二元資料，0代表著沒有排課，1代表著有排課。

目標函數設定我們使用指數衝突計數來設定目標函數，每當違反了硬限制就會增加衝突數量，例如同一班學生，同一時段排了兩門課，學生不能同時上兩門課，因此產生一個衝突，由於使用的基因數量和衝突點數量成正比，因此衝突點計算結果必須正規化(衝突點數量/基因數量)，為了符合衝突點數量越少越好，因此我們使用 $\exp()$ 計算衝突數的目標函數值。

把所有分數加總正規化後，利用機率輪盤挑選兩個基因進行交配，挑選出來的兩個染色體選擇其中一位老師的課表的40位元基因交換，此方法的好處是交配完不會遺漏課程和加快效率。基因突變是由突變率來決定，突變機制是設置在染色體每一次完成交配後才啟動，因此突變的次數會較為繁複，在此突變率設為0.01。

4. 實驗結果

本章節介紹排課系統的視窗設計和操作方法，並透過實作來了解排課系統的實際效益。

4.1 系統介面介紹

排課系統視窗(如圖 2 所示)主要分為課程資訊區(圖中標示為①)、資料編輯區(圖中標示為②)、和操作說明區(圖中標示為③)，以下分別說明。



圖 2. 排課系統視窗

(1) 課程資訊區

這區塊顯示參與排課的課程，不管是匯入課程資料還是在資料編輯區編輯新增的課程，都會一併出現在此區塊。

(2) 資料編輯區

這區塊提供課程資料編輯，為了排課人員操作步驟的正確與減少視窗空間，我們使用標籤頁功能。

(3) 操作說明區：

這區塊是為了提醒排課人員在執行程式時操作步驟以及注意事項。

4.2 資料編輯區標籤頁說明

資料編輯區為了簡化排課人員操作步驟以及正確，在視窗設計上採用標籤頁，提供排課人員依序完成排課，其中分別有設定課程、老師限制、排課、統計圖和時間、結果產生五個標籤頁。

(1) 設定課程標籤頁

設定課程標籤頁提供排課人員編輯課程，主要分新增課程輸入區(如圖 3 中標示為①區塊)以及按鈕區(如圖 3 中標示為②區塊)。新增課程輸入區可輸入課程名稱(課程編號可有可無)、任課老師、上課班級、上課堂數，按鈕區提供新增、清除、匯入、下一步、以及匯入路徑設定等。



圖 3. 資料編輯區的設定課程標籤頁

(2) 老師限制標籤頁

老師限制標籤頁提供排課人員輸入限制條件，主要分成待設定區(如圖 4 標示①)、設定區(如圖 4 標示②)以及已設定區(如圖 4 標示③)。為了簡化，在一整天課程中限制設定只能對上午與下午來做限制排課。所有課程將會出現在待設定區，將欲新

增限制的課程點選(出現藍底背景),並按下新增限制按鈕,同理,欲解除限制的課程點選(出現藍底背景),按下解除限制。最後完成新增限制的課程會移至此已設定區,並且不會出現在待設定區。

值得一提,“彈性排課”此選項如果勾選,可以讓該限制是以軟限制進行排課,假若在執行排課時,不能尋找出最佳解,這時系統會搜尋所有課程的限制是否有勾選彈性排課,如果有彈性排課,便會依照彈性排課比率將課程依照非限制狀況下排課補齊其他空堂時間,使得排課結果更接近最佳化。



圖 4. 資料編輯區的老師設定標籤頁

(3) 排課標籤頁

當前置設定作業完成後,將來到排課標籤頁,在此標籤頁分為演算法設定(如圖 5 中①所示)、開始排課按鈕(如圖 5 中②所示)以及排課進度條(如圖 5 中③所示),演算法設定包含基因族群數量、突變率以及迭代次數,基因數量代表後續運算時有著多少族群可以選擇,若基因數量多,有機會找到最佳解,但相對時間久,反之,基因數量少,不易找到最佳解,但時間短。突變率,突變率代表著在基因演算法在每一次迴圈(在每一次迭代的交配運算)中,有著多少的機率可以對新的基因突變,基因突變的功能在第二章已經提及到,這裡不加以說明。

突變率高,收斂過程變動大,有機會找到最佳解,也可能無法收斂,而突變率低,收斂變動小,容易找到局部最佳解。突變率設定高低,因問題而異,排課人員可以透過不同的設定測試,得到不同課程編排的結果。

迭代次數是 GA 運算次數。迭代次數過低,容易造成還沒收斂完成,迭代次數高,雖不會影響收斂結果,但系統運算時間久。當所有設定完成後,即可按下按鈕進行排課,同時透過排課進度條(ProgressBar),排課人員可以觀察排課進度。

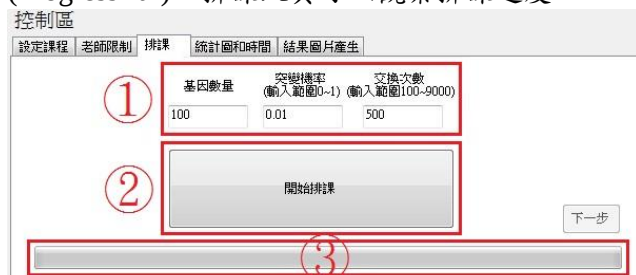


圖 5. 資料編輯區的排課標籤頁

(4) 統計圖和時間標籤頁

本標籤頁可以使排課人員了解排課系統在完成排課,排課的執行時間、基因演算法在每一次迭代過程中分數變化統計圖,頁面也包含統計圖以及執行時間,如圖 6 所示。藉由觀察後可以重新執行修改排課標籤頁的相關設定(基因數量、突變率、交換次數),重新執行排課,因此提供排課人員相當重要的資訊。



圖 6. 資料編輯區的統計圖和時間標籤頁

(5) 結果圖片產生標籤頁

本標籤頁可以顯示完成排課的結果,此課表排定方式是參考朝陽科技大學學期課表排版,在此標籤頁包含①課表顯示和②課表匯出,如圖 7 所示。

課程名稱	老師	Monday	Tuesday	Wednesday
2721 計算機概論	謝富雄			
2722 程式設計	施再繁		78	
2723 微積分(一)	張依靜			
2724 電子物理	洪士程		123	
2725 數位系統	陽伏典	123		

圖 7. 資料編輯區的结果圖片產生標籤頁

4.3 系統實際操作

本研究使用朝陽科技大學資訊工程系 105 年專業科目做排課的資料範本,並完成下列幾項實驗,以下分別說明。

(1) 實驗一

本章節主要測試排課系統的限制功能,每位老師加入星期一不排課限制,染色體個數與迭代次數如表1所示。當突變率設定0.01及交配機率0.7,實驗結果如表2所示,由表中得知染色體數量太能夠找到較佳解,而染色體數量少無法找到解答,由此可知在解決問題的時候染色體的族群越大越容易找到答案。當突變率增加為0.1時,結果如表3所示,當突變率改變,迭代次數越多的實驗結果影響最大,實驗T3和實驗T4會因為突變率增加而增加找到答案的機會,但是實驗T1和實驗T2會因為突變率增加,影響到答案無法收斂或是平均值降低,由此可知突變改變對結果可能有好有壞。

表 1. 實驗一條件設定

實驗	染色體數量	迭代次數
T1	1000	9000
T2	1000	500
T3	100	500
T4	100	9000

表 2. 突變率 0.01 及交配機率 0.7 實驗結果

實驗	適應值	時間(sec)	較佳解 (適應值>0.95)
T1	1	1094.7	Yes
T2	1	62.8	Yes
T3	0.894	5.2	No
T4	0.88	99.7	No

表 3. 突變率 0.1 及交配機率 0.7 實驗結果

實驗	適應值	時間(sec)	較佳解 (適應值>0.95)
T1	0.982	1098.7	Yes
T2	0.972	100.4	Yes
T3	0.986	64.7	Yes
T4	0.872	5.7	No

(2) 實驗二

本次實驗模擬國高中每天都要排滿八堂的狀況，觀察排課的效率與結果有沒有符合要求。實驗測試分為兩個範例，以一個班級或兩個班級為基礎排滿 40 門課。在實驗過程中使用三組不同運算條件，三組資料都有不同的染色體數量、突變率、交換次數。實驗二條件如表 4。

表 4. 實驗二條件設定

實驗	染色體數量	迭代次數	突變率
T1	200	500	0.01
T2	2000	5000	0.01
T3	1000	2000	0.06

依照條件以一個班級為基礎排滿 40 門課實驗 T1、T2 及 T3 結果如表 5 所示，由結果得知染色體數量大且迭代次數高的 T2、T3 能夠找到較佳解，然而染色體數量小且迭代次數少的 T1 卻無法找到較佳解。依照條件以兩個班級為基礎排滿 40 門課實驗 T1、T2 及 T3 結果如表 6 所示，在條件更為嚴苛時，由結果得知除了染色體數量大和迭代次數高之外，還需要突變率稍微高些才能找到較佳解，因此只有 T3 才有較佳解。

表 5. 以一個班級為基礎實驗結果

實驗	適應值	時間(sec)	較佳解 (適應值>0.95)
T1	0.8	23.1	No
T2	1	78.5	Yes
T3	1	427	Yes

表 6. 以兩個班級為基礎實驗結果

實驗	適應值	時間(sec)	較佳解 (適應值>0.95)
T1	0.6	29.3	No
T2	0.74	98.4	No
T3	1	647	Yes

本次實驗我們發現了使用 GA 把所有空堂填滿的效率不是很顯著，長時間才能找到符合要求的結果，儘管適應值沒有達到 1，但是已經很靠近了，另外由實驗中發現適時的調整突變率會有助於找到答案。

5. 結論

本研究完成一個自動排課系統，藉由實務操作可以證明 GA 可用於求解排課問題，本研究最主要貢獻在於探討以 GA 來滿足教師對教學排課喜好的需求，提高對課表的接受度，希望透過自動化排課系統簡化行政流程、避免人工排課時所導致人力以及排課人員精神與時間上的耗損，提升工作效率降低人力成本。未來的後續研究，可應用統計分析評估各操作條件對於結果值的影響，亦可以加入學生們對課程時段的喜好要求外，還可結合其他理論去評估課表離散或集中的好壞程度，以期安排出全面性的高滿意度課表，並推導應用於其他相關問題上。

參考文獻

- [1]. 維基百科-遺傳算法，2017/1/6，取自：<https://goo.gl/WuvJHc>。
- [2]. 彭振為、陳國祥、范瑞芳、陳耀宗，“以基因演算法為基礎之排課系統”，國立澎湖科技大學資訊工程學系，第七屆離島資訊技術與應用研討會摘要論文集，2008。
- [3]. 謝正瑜，“利用遺傳基因演算法提高教學排課滿意度之研究”，華梵大學資訊管理學系碩士班研究生專題，2011。
- [4]. 李佩君、林旻遠，“排課系統-以逢甲資工為例”，逢甲大學資訊工程學系專題研究，民國 97。
- [5]. 邱宏彬、陳奕憲、楊培楷，“基因演算法在國民中學排課問題之最佳化研究”，南華大學資訊管理所研究生專題，2012。
- [6]. 林伯翰，“非固定週期班次排課最佳化研究”，國立高雄應用科技大學企業管理系研究生專題，2011。
- [7]. MBAlib 智庫百科，2017/1/6，取自：<https://goo.gl/iCnGAI>。
- [8]. Evolutionary Computation: Genetic algorithm，

2017/1/10，取自：<https://goo.gl/gmdzRr>。

- [9]. JERRY 技術分享區-基因演算法(一)複製 (Genetic Algorithm PART I : Reproduction)，2017/1/6，取自：<https://goo.gl/mieIYc>。
- [10]. 基因演算法，2017/1/6，取自：<https://goo.gl/NNUfVM>。
- [11]. 基因演算法，2017/1/6，取自：<https://goo.gl/nsus0z>。
- [12]. 遺傳演算法，2017/1/6，取自：<https://goo.gl/E33vFr>。
- [13]. 基因演算-introduction and c，2017/1/6，取自：<https://goo.gl/d8rf7E>。