

# 以基因演算法求解動態頻譜管理 之整體效用最大化問題

## Using Genetic Algorithm for Maximizing Social Utility in Dynamic Spectrum Management

吳佩姍

開南大學資訊  
及電子商務學系

[b95202047@ms.knu.edu.tw](mailto:b95202047@ms.knu.edu.tw)

[du.tw](mailto:b95202047@ms.knu.edu.tw)

余俊瑩

開南大學資訊  
及電子商務學系

[b95202093@ms.knu.edu.tw](mailto:b95202093@ms.knu.edu.tw)

[du.tw](mailto:b95202093@ms.knu.edu.tw)

田惠華

開南大學資訊  
及電子商務學系

[b96202069@ms.knu.edu.tw](mailto:b96202069@ms.knu.edu.tw)

[du.tw](mailto:b96202069@ms.knu.edu.tw)

龔韋翰

開南大學資訊  
及電子商務學系

[b96202071@ms.knu.edu.tw](mailto:b96202071@ms.knu.edu.tw)

[du.tw](mailto:b96202071@ms.knu.edu.tw)

林佑政

開南大學資訊  
及電子商務學系

[linyu@mail.knu.edu.tw](mailto:linyu@mail.knu.edu.tw)

[w](mailto:linyu@mail.knu.edu.tw)

**摘要**—近年來，隨著無線網路與無線裝置的蓬勃發展，對於頻譜資源的需求量也日益增加，因此如何有效地動態分配頻譜以及增加系統的效用已成為一個重要的研究議題。在本研究中，我們提出一個以基因演算法為基礎的方法來解決動態頻譜管理問題，並且考慮頻道本身的背景干擾以及其它使用者在同一個頻道上所造成的串音干擾。本演算法目標是最大化所有使用者的個別 Shannon 效用(Shannon utility)之總和。實驗結果顯示，與[4]所提之研究相比較，本研究不僅在執行時間上有顯著的改進，且針對所求之整體效用值也有非常優異的表現。

**關鍵詞**—動態頻譜管理、基因演算法、背景干擾、串音干擾、Shannon效用

**Abstract-** Thousands of equipments of the wireless network and the mobile devices are widely used and the demand of dynamic spectrum resources is significantly growing. How to maximize the social utility in modern technique becomes an important issue. In this paper, a

genetic algorithm based approach which dynamically allocates the power spectrum is proposed to enhance the system efficiency. The objective is to maximize the sum of individual Shannon utilities with the background interference and crosstalk consideration. Compared to the approach in [4], experimental result shows that our approach obtains a better result within an acceptable amount of run time.

**Keyword-** Dynamic spectrum management, genetic algorithm, background interference, crosstalk, Shannon utility

### 一、緒論

隨著無線產品像是無線網路、藍芽產品和行動電話廣泛的被使用，頻譜最佳化問題成為近年來流行的議題。隨著無線產品越來越普遍，有很多研究著重在頻譜管理上[5][7]，包括：靜態與動態的頻譜管理，為了能夠更精準的管

理多用戶系統的頻譜資源，在本研究中我們討論動態頻譜管理相關議題。

從最佳化的角度，此研究的動態頻譜管理問題可分為三種方向，包括：Nash equilibrium、整體效用最大化和市場競爭均衡。Chung 等人[1]證明了 Nash equilibrium 存在於非合作的最大化賽局。Yu 等人[10]提出了一個反覆注水填充演算法(water-filling algorithm) 以有效地達到 Nash equilibrium 來解決數位用戶迴路(DSL)上的多種功率控制問題。Leon Walras 等人[6]提出了競爭均衡概念，藉由供給和需求不斷的平衡以塑造市場運作模型。Ye[8]在動態頻譜管理上提出了一個市場經濟均衡解決辦法，這方法可達到整體的經濟效應和個別的最佳化。Lin 等學者[3] 進一步指出，在市場競爭均衡中調整預算可以滿足每個用戶的實體功率需求或均衡所有個別效用。如果我們只改進個別用戶的個別效用是很難最佳化整體執行效用。Yu 等人[10]針對正交分頻多工系統提出一個具有低複雜度和全域用戶的功率管理的方法，此方法完善了最佳化頻譜管理達到整體效用最大。一些傳統的方法對非凸頻譜最佳化問題並不能保證可求得全域最佳解且時間複雜度呈指數增長，在[9]中針對此類問題提出解決的方法。

本文的主要貢獻如下：(1)我們所提出的方法能有效地最大化整體效用而不是個別效用。(2)我們提出的基因演算法在背景干擾和串音干擾下全面搜尋解的空間，以最大化  $m$  個用戶在  $n$  個頻道上的頻譜效用。(3)本研究不僅在執行時間上與[4]相比，有顯著的改進，且所求之整體效用值也有非常優異的結果。

本文概要安排如下。第二節將介紹本研究動機與問題定義。在第三節中，將詳介本研究所提之演算法。實驗結果和結論則分別在第四節和第五節。

## 二、問題描述

在本節中，我們將描述本研究動機與所解決問題之定義。

### 2.1 動機

如果我們讓每個個別用戶在多頻道有最大的效用，但這樣的效用卻不能保證對通訊系統達到整體效用。由於用傳統的貪婪方法求解每個個別用戶的最大效用時，其所得的解通常為區域最佳解，因此我們嘗試運用基因演算法解決頻譜管理問題。為了探討整體效用最大化，及定義整體效用最大化問題，我們以 Shannon 效用函數(Shannon utility function)來評估用戶的效用，其公式如下：

$$u_i(x_i, \bar{x}_i) = \sum_{j=1}^n \log\left(1 + \frac{x_{ij}}{\sigma_{ij} + \sum_{k \neq i} \alpha_{kj}^i x_{kj}}\right)$$

$x_{ij}$  是用戶  $i$  在頻道  $j$  上的功率(power)分配、 $\alpha_{kj}^i$  是指用戶  $i$  在  $j$  頻道上對其他用戶  $k$  的串音干擾率(crosstalk)、 $\sigma_{ij}$  為用戶  $i$  在第  $j$  個頻道上的背景干擾(background interference)。為了清楚地了解 Shannon 效用函數，我們以 2 個用戶和 3 個頻道為例，來解釋如何評估效用，其用戶 1 的效用函式子如下：

$$u_1 = \log\left(1 + \frac{x_{11}}{\sigma_{11} + \alpha_{21}^1 x_{21}}\right) + \log\left(1 + \frac{x_{12}}{\sigma_{12} + \alpha_{22}^1 x_{22}}\right) + \log\left(1 + \frac{x_{13}}{\sigma_{13} + \alpha_{23}^1 x_{23}}\right)$$

同樣地，我們列出用戶 2 的效用函式：

$$u_2 = \log\left(1 + \frac{x_{21}}{\sigma_{21} + \alpha_{11}^2 x_{11}}\right) + \log\left(1 + \frac{x_{22}}{\sigma_{22} + \alpha_{12}^2 x_{12}}\right) + \log\left(1 + \frac{x_{23}}{\sigma_{23} + \alpha_{13}^2 x_{13}}\right)$$

實驗結果中的  $\alpha_{kj}^i$ 、 $\sigma_{ij}$  參數皆是採用與[4]相

同之測試案例，在本案例中，其參數設定如下：

$$\begin{aligned}
u_1 &= \log\left(1 + \frac{x_{11}}{8 + 0.7x_{21}}\right) + \log\left(1 + \frac{x_{12}}{8 + 0.6x_{22}}\right) \\
&\quad + \log\left(1 + \frac{x_{13}}{8 + 0.9x_{22}}\right) \\
u_2 &= \log\left(1 + \frac{x_{21}}{4 + 0.1x_{11}}\right) + \log\left(1 + \frac{x_{22}}{1 + 0.7x_{12}}\right) \\
&\quad + \log\left(1 + \frac{x_{23}}{6 + 0.1x_{12}}\right)
\end{aligned}$$

根據上述例子中，若我們將每個用戶的功率，分配到三個頻道中，依不同分配方式分別會有許多不同的可行解(feasible solution)，舉例來說，如圖 1 所示，若功率配置為  $(x_{11}, x_{12}, x_{13}) = (1, 0, 0)$ 、 $(x_{21}, x_{22}, x_{23}) = (0, 1, 0)$ ，也就是說，我們將第一個用戶可用的功率分配到第一個頻道，第二個用戶可用的功率分配到第二個頻道，其所計算出來的效用為 0.3521825。

若我們如圖 2 所示，將第一個用戶可用的功率分配到第一個頻道及第三個頻道， $(x_{11}, x_{12}, x_{13}) = (0.5, 0, 0.5)$ ，而第二個用戶分配到第二個頻道  $(x_{21}, x_{22}, x_{23}) = (0, 1, 0)$ ，其整體效用將提升為 0.3536879。

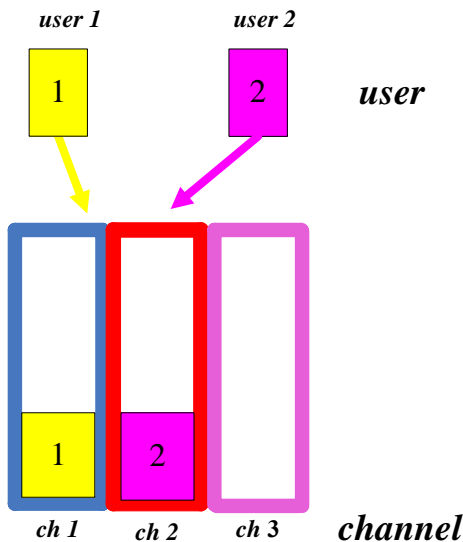


圖 1 頻譜分配可行解之一

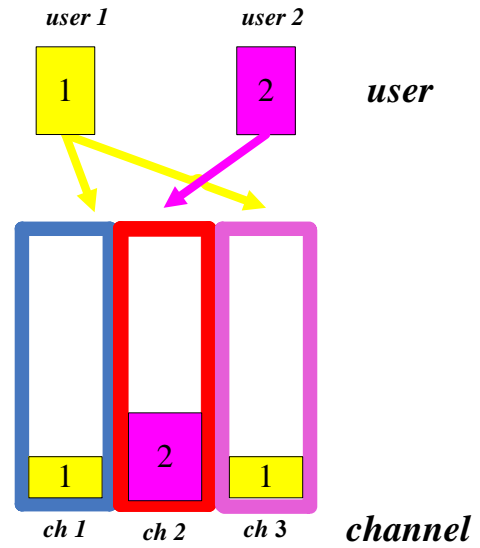


圖 2 頻譜分配可行解之二

從這兩個不同分配方式的結果，很明顯的可以觀察出，不同的功率分配會導致不同的整體效用，這意味著從一堆可行解中搜尋出一組最理想的解，可以有效的提高整體效用，因此在本篇論文中，採用基因演算法來求解此問題，使得多用戶通訊系統的效用達到整體效用最大化的目標。

## 2.2 問題的定義

本研究解決的問題為在具有背景干擾及串音干擾的多用戶通訊系統中最大化個別 Shannon 效用總和，整體效用最大化的問題定義如下：

$$\begin{aligned}
&\max \sum_{i=1}^m u_i \\
&s.t. \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq P_{\max}^i, i = 1, 2, \dots, m, \\
&\quad x_{ij} \geq 0. \\
&u_i(x_i, \bar{x}_i) = \sum_{j=1}^n \log\left(1 + \frac{x_{ij}}{\sigma_{ij} + \sum_{k \neq i} \alpha_{kj}^i x_{kj}}\right)
\end{aligned}$$

其中  $m$  是指用戶數量， $n$  表示頻道的數量， $u_i$  是用戶  $i$  在頻道  $j$  的功率分配， $P_{\max}^i$  是用戶  $i$  的多功率限制， $\sigma_{ij}$  是每個用戶  $i$  在頻道  $j$  的背景干

擾率， $\alpha_{kj}^i$  是每個用戶  $i$  在  $j$  在頻道上與用戶  $k$  的串音干擾率。

### 三、研究方法

在此節中，將敘述如何以基因演算法求解動態頻譜管理之整體效用最大化問題，演算法流程圖如圖 3 所示。以下將就一些重要步驟逐一詳述：

1. 編碼方式：在用基因演算法解決問題前，必須要先針對問題的特性進行解編碼，本研究採用實數編碼。
2. 產生初始解：初始解的好壞將會大幅影響求解品質與效率，在本研究中，我們考慮背景干擾(background interference)的因素，每個用戶將功率盡可能分配至背景干擾較低的頻道。
3. 計算適應值：針對每個用戶，我們採用 Shannon 效用函數來評估個別用戶的效用，以個別 Shannon 效用總和作為演算法適應值。
4. 基因選擇與交配：在本研究中，基因的選擇與交配有兩種方式。第一種方式為以用戶為單位產生切點，進行交配。第二種方式為隨意產生切點，進行交配，產生新世代。
5. 基因突變：隨機挑選兩個基因(至少 1 個不為 0)，將兩個基因內容平均分配。
6. 微調修正：經過基因選擇、交配及突變之後，產生的新子代可能會違反限制條件，因此針對違反限制條件的用戶必須透過微調修正。微調修正方式有三種：第一種方式為依比例壓縮。第二種為將用戶功率分配於背景干擾較低的頻道。第三種為僅保留用戶在各頻道中具有最大值的功率分配，將剩餘功率分配至隨機頻道。
7. 終止條件：當經過足夠多次的演化世代後，即終止演化程序，並輸出最佳解。

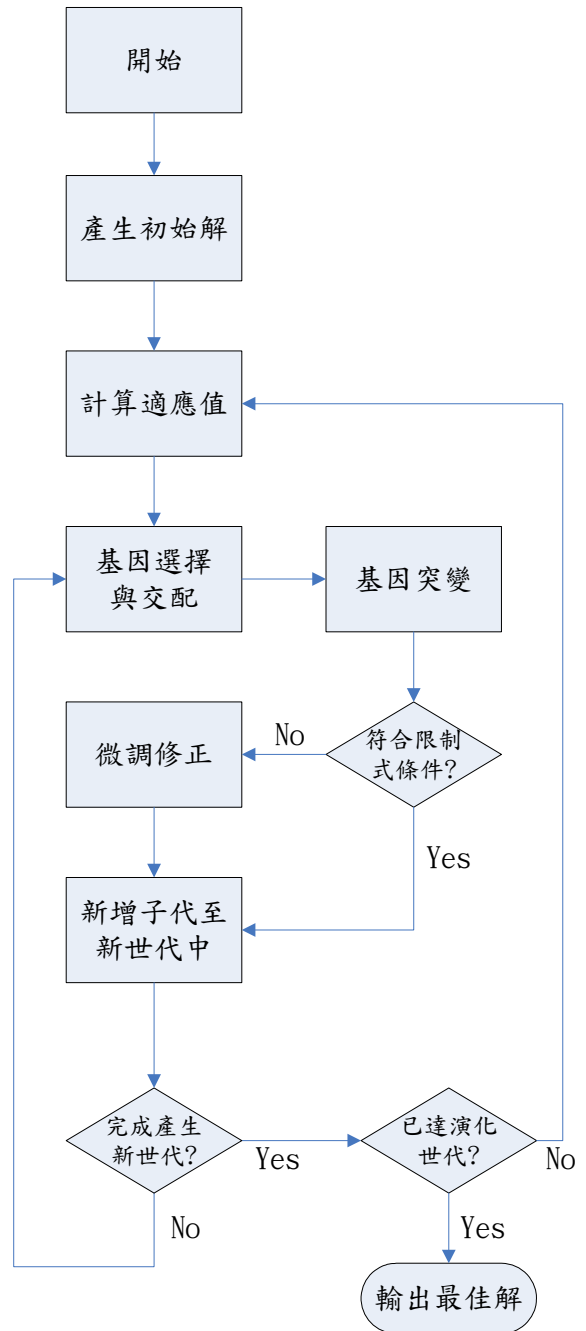


圖 3 演算法流程圖

### 四、實驗結果

本實驗於 .Net2005 開發平台上以 C++ 語言實作演算法，實驗設備為 3GHz Intel CPU 跟 2GB RAM。為了方便評估結果的效率與品質，實驗的背景干擾和串音干擾比率採用 [4] 所提供之測試案例，背景干擾的範圍為 1 到 9 而串音干擾

值為 0.1 到 0.9。本研究主要比較對象為[4]所提之演算法，我們將完整實驗結果列於表 1 之中，兩個演算法效用值與執行時間比較折線圖則分別如圖 4 與圖 5 所示。在效用值方面，本論文所提之演算法相較於[4]大約有 20.11%的改進率，在一些較大的測試案例中，如 u40c50\_1 甚至可達 37.48%的效用值改進率。而在執行時間方面，我們也普遍優於[4]所提之演算法，本演算法大約僅需[4]的 30.42%，特別在越大的測試案例中，執行效率的提升也越明顯。

## 五、結論

動態頻譜管理問題當用戶數量大於 2 且頻道數大於 3 時，已被證明為 NP-hard[5]。在本論文中，我們提出一個以基因演算法為基礎的方法來解決動態頻譜管理問題，並且考慮頻道本身的背景干擾以及其它使用者在同一個頻道上所造成的串音干擾。實驗結果顯示本論文所提之演算法相較於[4]所提之演算法有較佳的求解品質，且整體求解時間也較有效率。

## 六、致謝

感謝實踐大學資訊科技與管理學系林明華教授研究團隊提供測試案例。

## 七、參考文獻

- [1] S. Chung, S.J. Kim, J. Lee, and J. Cioffi, "A game-theoretic approach to power allocation in frequency-selective Gaussian interference channels", *IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT)*, 2003, p.p.316.
- [2] J. Holland, "Adaptation in natural and artificial systems", *University of Michigan Press*, Ann Arbor, 1975.
- [3] M.H. Lin, J.F. Tsai, and Y. Ye, "Budget allocation in a competitive communication spectrum economy", to appear in *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*.
- [4] Y.C. Lin, M.H. Lin, H.H. Huang, and L.Y. Lee, "A Simulated Annealing Approach for Social Utility Maximization in Dynamic Spectrum Management" in *Proceeding of the 8th WSEAS International Conference on INSTRUMENTATION, MEASUREMENT, CIRCUITS and SYSTEMS (IMCAS '09)*, Hangzhou, China, May 20-22, 2009
- [5] Z.Q. Luo, and S. Zhang, "Dynamic Spectrum Management: Complexity and Duality", *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 2008, pp. 57-73.
- [6] L. Walras. *Elements of Pure Economics; Or the Theory of Social Wealth*, Lausanne, Paris, 1874.
- [7] Y. Xie, B. Armbrustery, and Y. Ye, "Dynamic Spectrum Management with the Competitive Market Mode", 2009.
- [8] Y. Ye, "Competitive Communication Spectrum Economy and Equilibrium", working paper, 2007.
- [9] W. Yu, and R. Lui, "Dual Methods for Nonconvex Spectrum Optimization of Multicarrier Systems", *IEEE Transactions on Communications*, 2006, pp. 1310-1322.
- [10] W. Yu, R. Lui, and R. Cendrillon, "Dual Optimization Methods For Multi-User Orthogonal Frequency Division Multiplex Systems", *newblock IEEE Global Communications Conference (Globecom)*, 2004, pp. 225-229.
- [11] W. Yu, G. Ginis, and J.M. Cioffi,

“Distributed Multiuser Power Control For Digital Subscriber Lines”, *IEEE Journal on*

*Selected Areas in Communications*, 2002, pp.1105-1115.

表 1 實驗結果

Test Case	SA[4]		Our GA		Utility 改進率(%)
	Utility	CPU (sec)	Utility	CPU (sec)	
u10c10_1	2.18163	1	2.31134	9.063	5.95%
u10c20_1	2.74449	6	2.84239	17.093	3.57%
u10c30_1	3.0728	14	3.33936	21.813	8.67%
u10c40_1	3.24	24	3.67847	58.594	13.53%
u10c50_1	3.26243	41	3.8311	101.5	17.43%
u20c10_1	3.74007	7	4.24785	50.328	13.58%
u20c20_1	5.06596	28	5.63826	95.125	11.30%
u20c30_1	5.26686	70	6.56167	142.984	24.58%
u20c40_1	5.73952	243	6.85918	168.031	19.51%
u20c50_1	5.85862	557	7.06738	209.937	20.63%
u30c10_1	4.43878	60	4.91879	76.531	10.81%
u30c20_1	6.77981	221	7.54103	141.219	11.23%
u30c30_1	7.13375	532	8.86407	203.141	24.26%
u30c40_1	8.06903	773	9.45454	257.922	17.17%
u30c50_1	8.44176	1231	10.2478	315.468	21.39%
u40c10_1	5.14411	40	5.61226	106.328	9.10%
u40c20_1	7.93071	358	9.0893	195.141	14.61%
u40c30_1	9.6839	972	11.2866	275.187	16.55%
u40c40_1	9.25846	1094	12.3547	357.016	33.44%
u40c50_1	9.50717	3571	13.07	520.375	37.48%
u50c10_1	5.26709	126	5.88697	193.781	11.77%
u50c20_1	8.87619	751	10.4267	312.329	17.47%
u50c30_1	10.7217	1823	12.9737	464.672	21.00%
u50c40_1	11.1269	2879	14.5699	542.969	30.94%
u50c50_1	12.3902	2709	15.436	696.562	24.58%
Total	164.9419	18131	198.10936	5533.109	20.11%

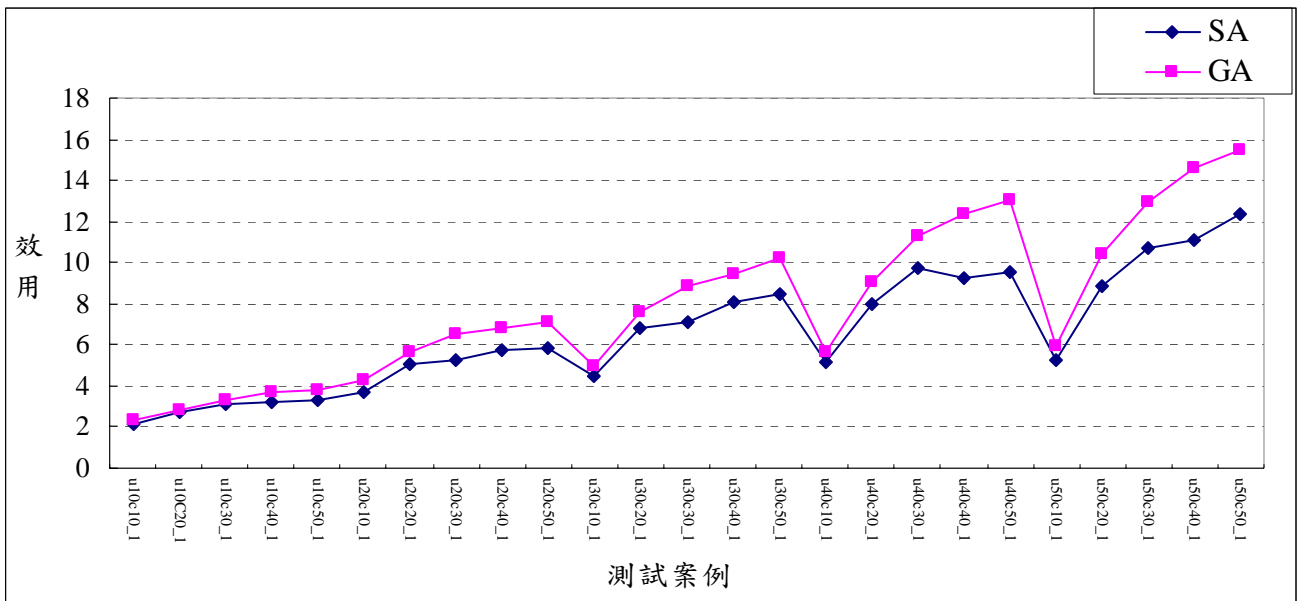


圖 4 本研究與[4]之效用值比較折線圖

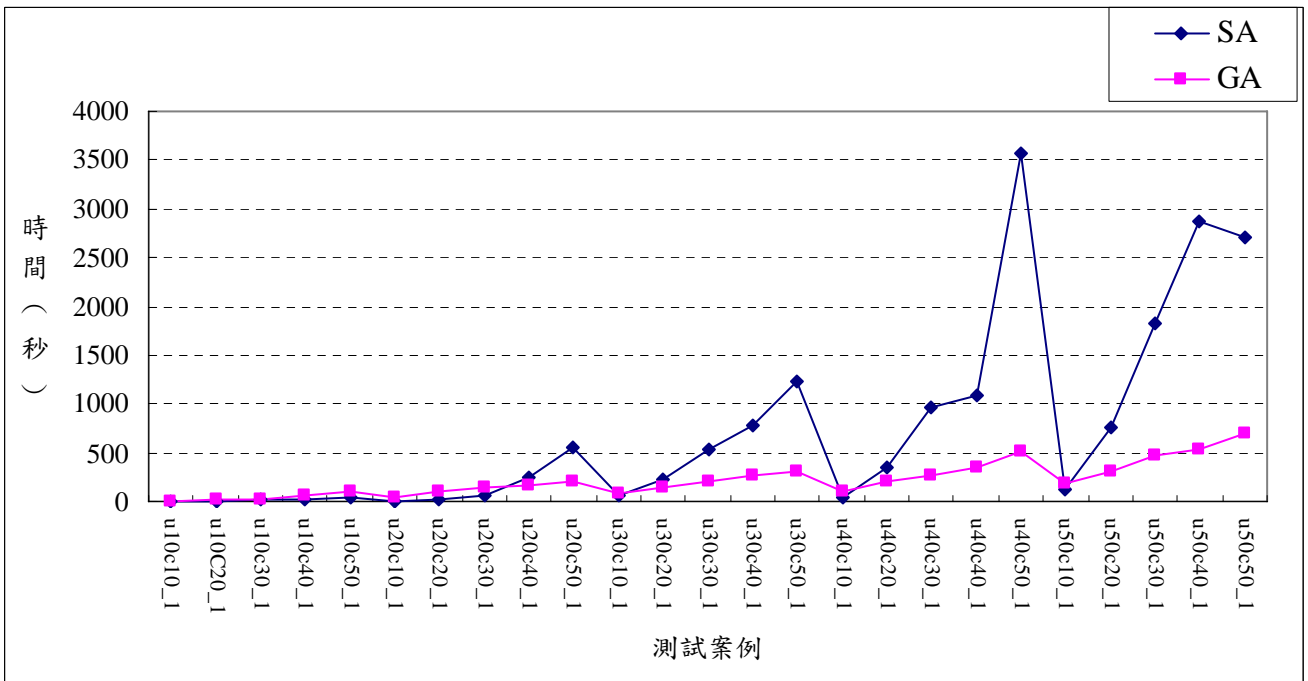


圖 5 本研究與[4]之執行時間比較折線圖