

基因演算法應用於時間電價用戶契約容量選定

李聰穎 林義傑 詹榮茂 陳俊隆

明新科技大學電機工程系

摘要

本文將基因演算法應用於台灣電力公司時間電價用戶的契約容量選定問題，此方法以用戶在各個時段的最大用電量為用戶選擇全年各時段的最佳契約容量值，文章中並以二個實際用戶的資料來測試本文所提出的方法，結果顯示本文所提出的方法可以很有效率的為用戶選擇最佳的契約容量，使得用戶全年的基本電費支出最少。

關鍵詞：基因演算法、最佳契約容量、時間電價

Contract Capacities Selection for Time-of-Use Rate Users: A Genetic Algorithm Approach

Tsung-Ying Lee Yi-Jie Lin Rong-Mao Jan Jun-Long Chen

Department of Electrical Engineering, Ming Hsin University of Science and Technology

Abstract

This paper applies the Genetic Algorithm to the solution of the optimal contract capacities for the time-of-use rates industrial customers in Taiwan Power Company System. The maximum load of each time zone during the study period is used in this algorithm to solve the optimal annual contract capacities in each time zone. Two numerical examples are used to test this algorithm. The results show that the algorithm can reach the optimal contract capacities very efficiently while achieving the minimum electricity cost of an industrial customer in a year.

Keywords : Genetic Algorithm, optimal contract capacities, time-of-use rates

1. 簡介

電能有別於其他消費性的產品，具有不能大量儲存的特性，因此電力事業的經營必須投資設置，以充裕的發供電設備來滿足用戶用電的需求。所以電業投資設置發供電設備在產銷的過程中將電力由發電經輸電、配電傳送到用戶用電，必需參酌用戶的最高需量或用戶用電契約容量來購置，以避免投資設備容量不敷使用抑或閒置，造成投資設備不當。

對一個時間電價用戶而言，其總電費支出可分為契約容量電費、流動電費、功因調整及因超約用電而須支出的超約罰金。在這些電費的支出中，流動電費的支出取決於用戶在不同時段中消耗的電能的多寡，契約容量電費的支出則由用戶與電力公司所簽訂的各時段的契約容量有關，超約罰金則由用戶在各時段的最大用電量及各時段所簽定的契約容量有關，而功因調整則與用戶的功率因數有直接的關係。對

於一個沒有裝設儲能裝置或執行負載管理策略的用戶而言，其各時段的總用電量及最大負載值並無法加以控制（亦即功因調整及流動電費的部份無法加以調整），因此適當的選擇各時段的契約容量乃成為降低用戶電費支出成本的一個重要步驟及方法。現在有很多的時間電價用戶對於最佳契約容量如何訂定的方法並不了解，所以用戶往往選擇了不適當的契約容量而平白支付了不必要的契約容量電費（契約容量訂定太大了）或因訂定的契約容量太小而支付了大量的超約罰金。

基因演算法最早是在 1970 年由 J.H.Holland 提出，以電腦模擬生物演化機制的觀念，並於 1975 年所出版的“Adaptation in Natural and Artificial Systems”一書中提出基因演算法的原型。其係根據達爾文其法於自然界「物競天擇、適者生存」的自然法則，選擇物種中對環境適應力較強的母代(Parents)並隨機性的相互交換彼此的基因資訊，以其能產生較上一母代更優秀的子代(Offspring)，經過篩選後留下適應力最佳的物種，再繼續交配、繁衍再篩選，如此重覆終而演化出適應性最強的物種。由於基因演算法是利用簡單的系統架構、運算機制，就能產生強大的搜尋能力，而且也具備較高的問題獨立性，同時為多點搜尋法再伴隨世代交替以及隨機搜尋的特性，這種平行處理問題的能力使其不易陷入局部最佳解(Local Optimum)中無法跳脫，而逐步向整體最佳解(Global Optimum)收斂，這些特點也讓基因演算法被廣泛應用於各個領域。例如電力系統可靠度最佳化[1]，電力系統穩定器[2]及電力系統虛功率調度[3]等。

關於時間電價用戶契約容量選定的研究成果並不多見，參考文獻[4]中，作者提出了一種以動態規劃法解時間電價用戶最佳契約容量的方法，參考文獻[5]中，作者亦提出另外一種解時間電價用戶最佳契約容量問題的方法，此方法首先決定解的可行區域，然後用逐一搜尋的方式計算不同契約容量下的電費支出，並找出一個使電費支出為最少的契約容量為用戶之最佳契約容量。

本文中將利用基因演算法提出一個解三段式時間電價用戶最佳契約容量的方法，此方法可在很短時間內同時最佳化用戶的經常、半尖峰、離峰契約容量，以使得用戶的總電費支出為最少。而在本文最後亦將以幾個實例測試來驗證本文所提出的方法。由此測試結果顯示此方法確可快速收斂，並解得用戶各時段的最佳契約容量，以使得用戶一年內支付的總電費最少。

2. 問題描述及目標函數

本文所提出方法的用途是要為時間電價用戶選擇出適當的契約容量，使得用戶的總電費支出成本最少。因此目標函數可表示如下[6,7]。

$$\text{Minimize } TDC = \sum_{i=1}^{12} [BR_i(XP, XM, XO) + PR_i(PR_i, PM_i, PO_i)] \quad (1)$$

$$BR_i(XP, XM, XO) = BP_i \times XP + BM_i \times XM + BO_i \times (XO - 0.5(XM + XP)) \quad , \quad i = 1, 2, \dots, 12 \quad (2)$$

上式中 $(XO - 0.5(XM + XP))$ 計得之值為負時，則按零計算。

其中，

TDC：用戶一年所需支付的契約容量電費（含超約罰金）

$BR_i(XP, XM, XO)$ ：當用戶的契約容量為 XP 、 XM 及 XO 時，第 i 個月的契約容量電費支出

BP_i, BM_i, BO_i ：第 i 個月的尖峰時段、半尖峰時段及離峰時段契約容量電價（每個月 NT\$/kW）

PP_i, PM_i, PO_i ：第 i 個月中，用戶在尖峰時段、半尖峰時段及離峰時段的最大負載值

XP ：經常(尖峰)契約容量

XM ：半尖峰契約容量

XO ：離峰契約容量

$PR_i(PP_i, PM_i, PO_i)$ ：當第 i 個月各時段的最大負載值分別為

PP_i 、 PM_i 及 PO_i 時，用戶必須支付的超約罰金。

關於(1)式中，有一點值得注意，即(1)式中僅包含契約容量及超過契約容量所需支付的超約罰金，並未包含用戶的流動電費及功因調整，此乃因為這兩個值只與用戶實際用電度數及電力公司關於功因調整的規定有關，與用戶的契約容量值無關，因此在選定契約容量時不需加以考慮。

3. 解時間電價用戶最佳契約容量的方法

圖 1 為本文中用以解時間電價用戶最佳契約容量之方法的流程圖，此方法乃是利用基因演算法為基礎，求得用戶最佳契約容量以使得用戶的總電費支出最少。以下將分別對此方法中一些重要的步驟加以說明。

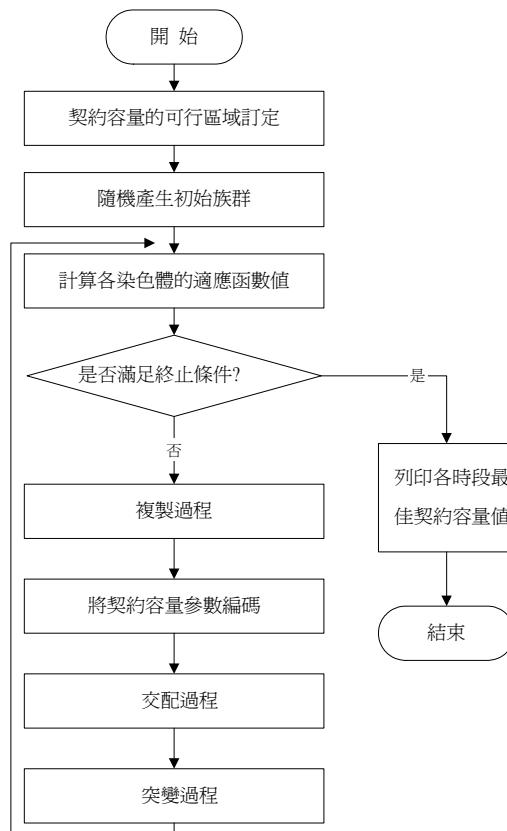


圖 1. 解時間電價用戶最佳契約容量的方法

3.1 契約容量可行區域訂定

由方程式(1)及(2)知，時間電價用戶的契約容量電費支出及超約罰金的支出與用戶各時段的契約容量值有絕對的關係；亦即當契約容量增加時，用戶的契約容量電費將增加，但用戶因超約而支出的罰金卻可能因此減少。因此，為了使用戶的電費支出能最少，在必須支付的超約罰金尚可忍受的程度下，其契約容量應越小越好。此表示，當為用戶訂定一年內最佳契約容量時，用戶各時段契約容量的可行區域應小於或等於各該時段在一年內的最大負載值。

適當的訂定契約容量的可行區域，可以減少搜尋的範圍，加快計算的速度。

3.2 隨機產生初始族群

以亂數隨機產生10組契約容量值的組合，每個組合為經常契約、半尖峰契約及離峰契約組成的字串(稱為染色體)。此初始族群雖然由亂數隨機產生，但仍需滿足契約容量可行區域的限制。

3.3 計算各染色體的適應函數值

為了評估染色體的優劣程度，必須導入一個評估指標作為演算機制的判斷依據，透過適應函數的運算可得到適應值，適應值越佳者表示其被選取的機會越高，反之適應值越差者其被淘汰的機會也越大。一般而言適應函數指的是求解的目標函數，亦即方程式(1)。

3.4 複製過程

複製或稱選擇是在模擬自然界生存的法則，其目的在於保留適應力較佳的物種以淘汰置換不良的染色體[8]。利用適應值高低的結果，將適應力程度佳者挑選並複製至交配池中，以準備演化產生新的染色體子代。常見的複製方式有：輪盤法、期望值法、菁英法、競賽法、均勻法以及穩態法，本研究採用期望值法做複製，此法為輪盤法之改良，其方法為：依照各染色體適應值之期望值的整數部份去分配染色體被選擇到的個數。而剩餘的小數部份，仍採用輪盤法來決定。此法主要目的在改輪盤法易陷入區域最佳解的情形。

3.5 將契約容量參數編碼

由於契約容量值皆為整數，因此在本研究中用二進制編碼技術，將由經常契約、半尖峰契約及離峰契約組成的字串編碼為二進制(0及1)字串。

3.6 交配過程

經由複製的程序之後完成之染色體，以兩兩配對的方式作部份的內容交換，以達到資料交換的目的[8]。此機制的基本理念為：優秀的母代有機會將優良的基因遺傳給至下一代(子代)、產生較上一代更為

優秀的染色體。交配過程發生的機率由交配率所控制，交配率過高，將造成物種基因的劇烈變化而無法適度保存上一代的優良基因，但太低則會造成停滯在區域的最佳解上及演化速度變慢。常用交配的法則有(1)單點交配(One-Point Crossover)(2)雙點交配(Two-Point Crossover)(3)字罩交配(4)局部對應交換法(Partially Mapped Crossover)(5)順序交換法(Order Crossover)。本研究採用單點交配法做交配。

3.7 突變過程

突變過程是將交配後所產生的子代，根據預先設定的突變機率來進行突變，其主要目的是要防止在經過複製與交配的過程中，仍侷限在一個區域的最佳化環境中而無法跳出，而找不到全域的最佳解[8]。其作法為，從染色體字串中隨機選擇一點為突變點，然後改變此位元的資訊。一般常見的突變的方法主要有(1)二元編碼突變法(2)反轉突變法(3) Order Based 突變法。本研究採用二元編碼突變法。

3.8 解時間電價用戶最佳契約容量之方法搜尋終止之條件

基因演算法則搜尋終止條件是當所有染色體(字串)均驅向一致，亦即不再有更好的適應函數值出現時予以終止；為了能快速求得各時段的最佳契約容量，以使得用戶的總電費支出為最少。在本文中設定終止條件：(1)完成所要求基因演算法的代數(2)當適應函數值達到所要求後即可終止搜尋程序。

4. 實例測試

本節中將以台電系統中的二個三段式時間電價用戶為例來測試本文所提出的方法，以使得用戶在一年內的總電費支出為最少。以下將就此二實例測試內容加以說明。

4.1 測試一

在測試一中以台電系統中三段式時間電價用戶中的一個化工廠用戶的負載資料為例來測試本文所提出的方法，此用戶原始的經常契約容量為 29,150kW，半尖峰契約容量為 200kW，離峰契約容量為 150kW，用戶在一年內所必須支付的契約容量電費及超約罰金和為台幣 64,740,836 元。表 1 所示為此用戶在一年內各月份各時段的最大負載值，其中非夏月期間，由於沒有尖峰時段，只有半尖峰及離峰，因此其尖峰時段最大負載值為零。

當以本文所用的基因演算法來搜尋此用戶各時段的最佳契約容量時，計算所得的最佳契約容量為經常契約容量 29,374kW，半尖峰契約容量 311kW，離峰契約容量 147kW，而用戶在此契約容量下一年內所支付契約容量及超約罰金和為台幣 64,354,684 元。此結果與用戶原始所訂定的契約容量比較發現，在訂定新的契約容量後，用戶每年可節省台幣 386,152 元的電費支出。表 2 所示為利用基因演算法執行十次所求得結果。

為了驗證上述所求得的最佳契約容量的正確性，以掃描的方式逐點計算用戶在不同契約容量下的

TDC 值。表 3 中列出部份結果。由此表可看出當用戶利用基因演算法所求得各個時段契約容量值為其契約容量時，其所需支付的 TDC 值將是最少的。故所求得的契約容量確為用戶的各時段最佳契約容量值。再由圖 2、3、4 中分別繪出不同契約容量下，TDC 的關係，圖 2 表示半尖峰及離峰契約容量固定在上述所求得最佳值時，經常契約容量和 TDC 值之間的變化；圖 3 表示出尖峰及離峰契約容量固定在上述所求得最佳值時，半尖峰契約容量和 TDC 值之間的關係；圖 4 則繪出尖峰及半尖峰契約容量固定在上述所求得最佳值時，離峰契約容量和 TDC 值之間的關係。由此三圖可再次驗證利用本文所提出方法求得各時段契約容量值的正確性。另外從表 2 和圖 4 比較看出，固定的尖峰和半尖峰契約容值時，離峰契約訂定在 147kW 到 14842kW 中時，所求得的 TDC 值是相同的，這是因為(3.2)式中計算離峰契約容量費用部份 $(XO - 0.5(XM + XP)) < 0$ 時則按零計算和用戶的負載關係(離峰契約 147kW 時離峰時段超約罰金為 0)。所以此例離峰契約容量訂定在 147kW 到 14842kW 時 TDC 值相同。

表 1 測試一用戶的負載資料

用戶原始契約容量為 $XP = 29150\text{kW}$, $XM = 200\text{kW}$, $XO = 150\text{kW}$			
月份	PPD(kW)	PMD(kW)	POD(kW)
1	0	30312	30451
2	0	30009	30147
3	0	29527	29600
4	0	29654	29726
5	0	29774	29847
6	29316	29986	30059
7	29374	29506	29736
8	28995	28224	29683
9	29141	29683	29832
10	0	29847	29526
11	0	29688	29369
12	0	29482	29165

註：(1)PPD 為每月尖峰時段的最大負載值

(2)PMD 為每月半尖峰時段的最大負載值

(3)POD 為每月離峰時段的最大負載值

(4)由於 1 月至 5 月及 10 月至 12 月為非夏月(無尖峰時段)，因此在這些月份中 PPD=0kW

表 2 測試一利用基因演算法求最佳契約容量結果

原始的 TDC=64,740,836(NT\$)				
執行次數	XP(kW)	XM(kW)	XO(kW)	TDC(NT\$)
1	29374	311	228	64354684
2	29374	311	4356	64354684
3	29374	311	204	64354684
4	29374	311	2229	64354684
5	29374	311	1667	64354684
6	29374	311	943	64354684
7	29374	311	14842	64354684
8	29374	311	644	64354684
9	29374	311	147	64354684
10	29374	311	4112	64354684

表 3 測試一用戶在不同契約容量的 TDC 值

原始的 TDC=64,740,836(NT\$)			
XP(kW)	XM(kW)	XO(kW)	TDC(NT\$)
28974	111	27	65258778
29074	161	57	64972966
29174	211	87	64707098
29274	261	117	64474216
* 29374	311	147	64354684
29474	361	177	64444173
29574	411	207	64607539
29674	461	237	64863089
29774	521	267	65142729
29874	571	297	65449028

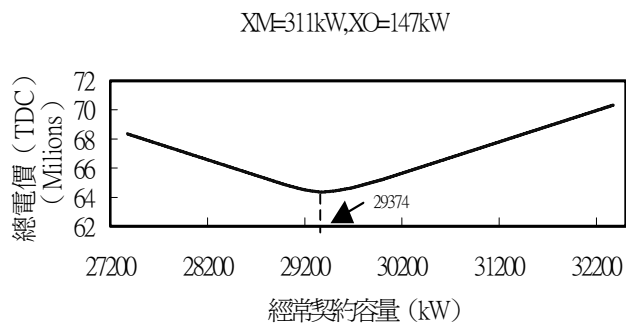


圖 2 經常契約-總電價關係圖

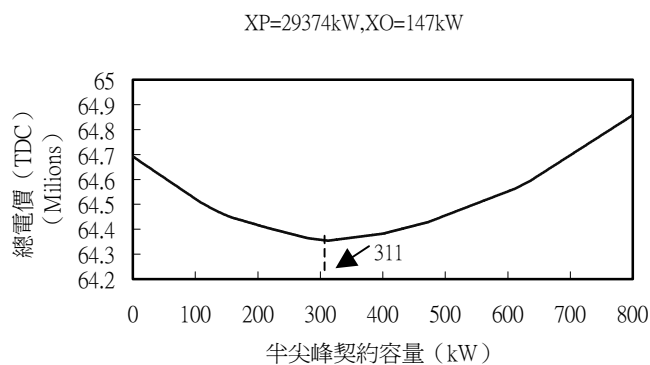


圖 3 半尖峰契約-總電價關係圖

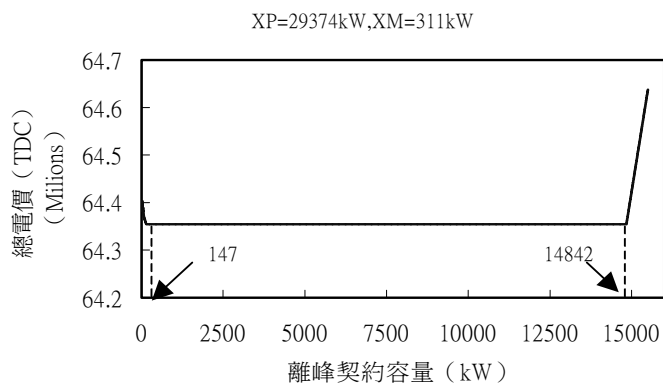


圖 4 離峰契約-總電價關係圖

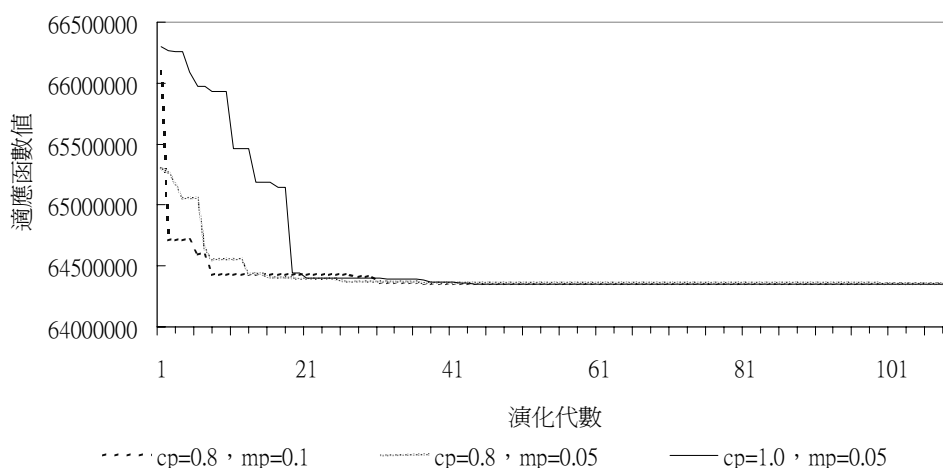


圖 5. 測試一在不同基因演算法參數設定時的演化過程

圖 5 為測試一在不同基因演算法參數設定時的演化過程，其中 cp 表示交配機率， mp 表示突變機率，由此圖可看出，大約在 100 代的演化後，即可解得最佳的契約容量值。

4.2 測試二

測試二中將以台電系統中的一個鋼鐵用戶的負載資料為例來測試本文所提出的方法，此用戶亦為一個三段式時間電價用戶，其原始的經常契約容量為 190kW、半尖峰契約容量為 70kW、離峰契約容量為 20kW，用戶在一年內必須支付的契約容量電費及超約罰金和為台幣 547641 元。表 4 所示為此用戶在一年內各月份各時段的最大負載值。

利用本文提到的方法，根據用戶各個月各時段的最大負載值計算用戶此一年內各時段的最佳契約容量值，結果計算出來用戶各時段的最佳契約容量值為經常契約容量 186kW、半尖峰契約容量 38kW、離峰契約容量 16kW，此時用戶一年所需支付的 TDC 值為台幣 510318 元，新的契約容量將可為用戶結省台幣 37323 元的電費支出。表 5 列出為利用基因演算法執行十次所求得結果。

利用掃描的方式逐點計算在不同的契約容量，用戶所需支付的 TDC 值，表 6 列出部份的掃描結果。由此表中可驗證本文所提的方法為用戶解得最佳契約容量值的 TDC 值是表中最小的。亦即若用戶選擇此最佳契約容量為其契約容量，則用戶所需支付的總電費是最少。將掃描的結果，由圖 6、7、8 中分別繪出不同經常、半尖峰及離峰契約容量與用所支付的 TDC 值間的關係，其餘二契約容量則固定在所求得的最佳值上。由此三圖可看出，所求得的最佳契約容量使得用戶所需支付的總電費是最少的，再次驗證所求得各時段契約容量值的正確性。

表 4 測試二用戶的負載資料

用戶原始契約容量為 XP = 190kW , XM = 70kW , XO = 20kW			
月份	PPD(kW)	PMD(kW)	POD(kW)
1	0	179	191
2	0	191	203
3	0	203	215
4	0	227	241
5	0	250	249
6	195	255	271
7	185	242	257
8	193	252	268
9	145	224	224
10	0	172	170
11	0	160	167
12	0	167	179

表 5 測試二利用基因演算法求最佳契約容量結果

原始的 TDC=547641(NT\$)				
執行次數	XP(kW)	XM(kW)	XO(kW)	TDC(NT\$)
1	186	38	108	510318
2	186	38	22	510318
3	184	40	37	510431
4	186	38	81	510318
5	186	38	16	510318
6	186	38	107	510318
7	186	38	47	510318
8	186	38	51	510318
9	186	38	95	510318
10	186	38	112	510318

表 6 測試二用戶在不同契約容量的 TDC 值

原始的 TDC=547641(NT\$)			
XP(kW)	XM(kW)	XO(kW)	TDC(NT\$)
106	18	4	784021
126	23	7	670722
146	28	10	581098
166	33	13	529307
*	186	16	510318
206	43	19	529806
226	48	22	579310
246	53	25	632026
266	58	28	684742
286	63	31	737458

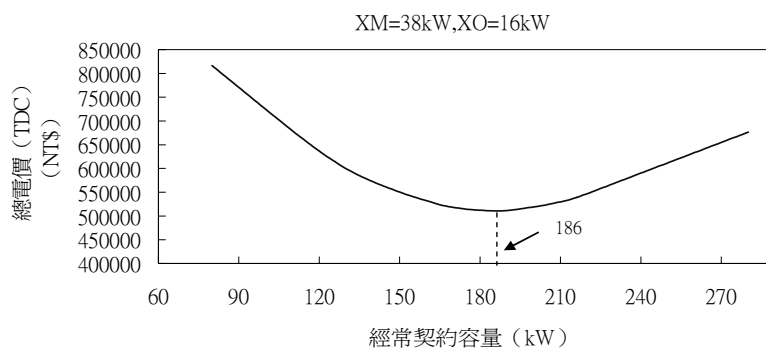


圖 6 經常契約-總電價關係圖

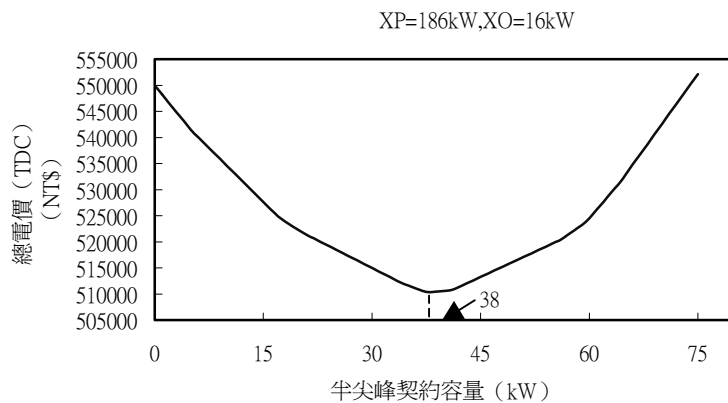


圖 7 半尖峰契約-總電價關係圖

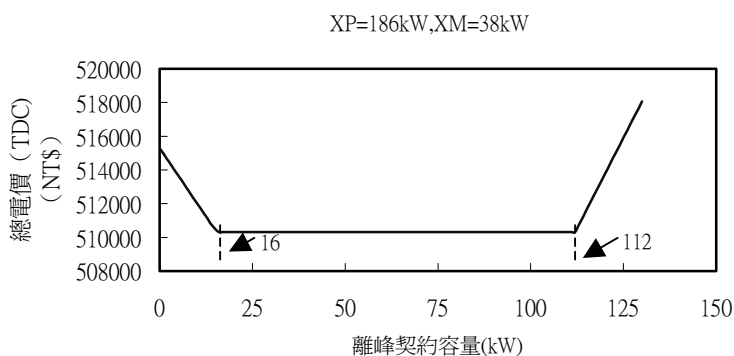


圖 8 離峰契約-總電價關係圖

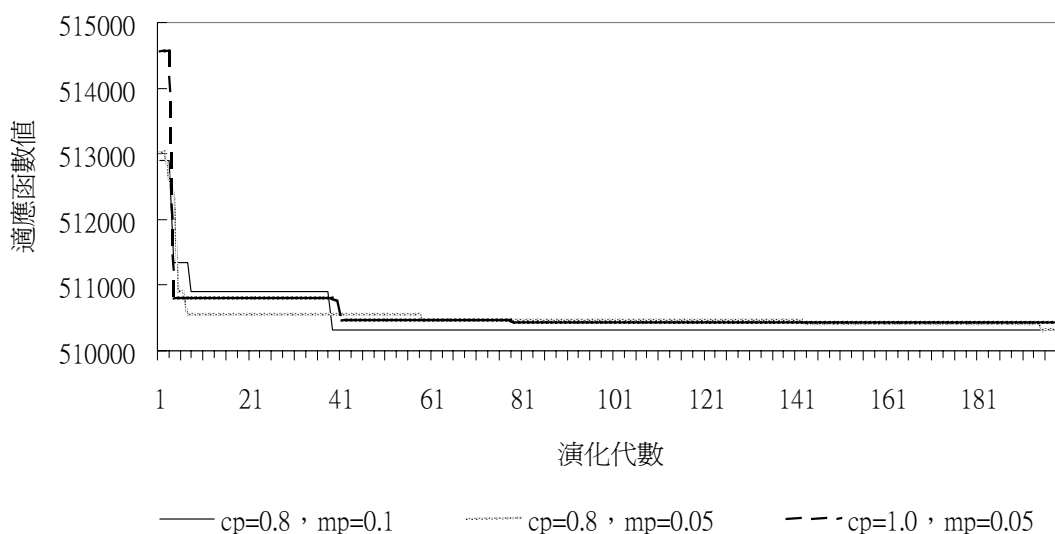


圖 9. 測試二在不同基因演算法參數設定時的演化過程

圖 9 為測試二在不同基因演算法參數設定時的演化過程，由此圖可看出，大約在 200 代的演化後，即可解得最佳的契約容量值。

表 7 為上述二個測試的總結，從表中可看出，採用本研究所提出的方法，適當的為用戶選擇契約約容量，可以使用戶一節省大約 0.6% 的電費，而用戶二則可節省約 7% 的電費。

表 7 用戶契約容量改善前後之比較

用戶	原定契約容量	最佳契約容量	降低百分比
	總電費(\$/年)	總電費(\$/年)	(%)
化工廠	64740836	64354684	0.596
鋼鐵廠	547641	510318	6.815

5. 結論

由上述二個用戶實例測試得知，利用本文所提的方法可解得時間電價用戶的最佳契約容量。使得此方法可以成爲成爲一種計算最佳契約容量的有效工具，可以讓用戶根據其負載預測結果來評估最佳契約容量訂定，以減少電費負擔。

此外，本文中討論時皆以三段式時間電價爲例來說明並驗證本文所提的方法，然而，此方法也可適用於二段式時間電價，只需調整目標函數及電費計算方式，而求得二段式時間電價用戶最佳契約容量的訂定。

6. 參考文獻

- [1] Levitin, G., Lisnianski, A., Haim, H.B. and Elmakis, D., "Genetic algorithm and universal generating function technique for solving problems of power system reliability optimization," Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, 2000. Proceedings. DRPT 2000. International Conference on , pp. 582 –586, 4-7 April 2000 .
- [2] Abdel-Magid, Y.L. and Abido, M.A., "Optimal multiobjective design of robust power system stabilizers using genetic algorithms," Power Systems, IEEE Transactions on , Volume: 18 Issue: 3 , pp. 1125 –1132, Aug. 2003.
- [3] Ma, J.T. and Lai, L.L., "Application of genetic algorithm to optimal reactive power dispatch including voltage-dependent load models," Evolutionary Computation, 1995., IEEE International Conference on , Volume: 1 , 29 Nov.-1 Dec. 1995 .
- [4] Hsiao, H.C., C.Y. Hsiao, M.C. Lin, Q.F. Wu and T.C. Chan, "Forecasting the Optimal Contract Capacities in Industrial Distribution Systems," Proceeding of the 11th Symposium on Electrical Power Engineering, pp.215-220, December (1990).
- [5] Yang, C.G., R.T. Shu and G.K. Yang, "Load Management, Determination for the Optimal Contract Capacities," Load Management Part II, Taiwan Power Company Internal Report, pp.105-122, May (1991).
- [6] Lee, T.Y. and N.chen, "Optimal Utility Contracts for Time-of-Use Rates Industrial customers", Journal of the Chinese Institute of Electrical Engineering, Vol.1, No.4, pp.247-257, (1994) .
- [7] 蔡明堂、陳松齡、鄭富升, "時間電價工業用戶最佳契約容量之訂定", 正修學報, 第十一期, 民國 87 年。
- [8] 蘇木春、張孝德編著, "機器學習類神經網路、模糊系統以及基因演算法則", 全華科技圖書。