

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 多階層規劃問題之類神經網路解算法的分析與應用(2/2)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2213-E-032-004-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：淡江大學經營決策學系

計畫主持人：時序時

共同主持人：溫于平

計畫參與人員：藍坤銘

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 10 月 23 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫結案報告

計畫編號：NSC 94-2213-E-032-004

執行期限：94 年 8 月 1 日至 95 年 7 月 31 日

主持人：時序時 淡江大學經營決策學系

hshih@isu.edu.tw

共同主持人：溫于平 清華大學工業工程與工程管理學系

upwen@ie.nthu.edu.tw

計畫參與人員：藍坤銘 清華大學工業工程與工程管理學系

## 一、摘要

本計畫在研究類神經網路 (artificial neural network, ANN) 技術於多階層規劃問題 (multi-level programming problems, MLPPs) 上。此問題在描述層級式組織下各決策單元的互動與決策問題。此種決策形態常見於 (較為民主式) 分權系統 (decentralized systems) 中，惟因此問題的互動過程使得傳統方法求解均難臻理想 (Wen and Hsu 1991)。而類神經網路技術運用於數學規劃則為新進發展的一支，尤在及時 (real-time) 求解問題，並可藉硬體電路實現平行分散處理 (parallel distributed processing) 能力來達成，並具備解決大尺度問題之潛力。

本計畫即在延續以往類神經網路求解之發展，持續探討此解法的穩定性，俾找出有效網路。目前已發展出結合禁忌搜尋 (Tabu search) 規則與 Rodriguez-Vazquez et al. (1988) 類神經網路演算法之多階規劃混合類神經網路 (hybrid neural network)，分別處理整數及實數變數，並驗證此混合網路較 Shih et al. (2004) 的類神經網路在解算速度上有巨幅之改善。目前正在持續研究此網路應用於供應鏈管理中，利用多階層規劃模式描述供應鏈管理中規劃及排程相關問題，並期所建議的類神經網路較傳統工具解析問題能得到較佳結果。

**關鍵詞：**多階層規劃、類神經網路、禁忌搜尋、Hopfield 網路、能量函數。

## Abstract

The proposed project aims to utilize

artificial neural network (ANN) techniques for solving multi-level programming problems (MLPPs). Simulating the actual decision-making process of the hierarchical structure of an organization, multi-level programming is practical and useful for decentralized planning problems. Due to the complexity of the problems, there exists no efficient traditional technique for obtaining the numerical solution of a reasonable size problem (Wen and Hsu 1991). The ANN approach is a newly technique for mathematical programming or optimization, and it is efficient for solving real-time problems through parallel distributed processing, and especially good for large-size problems. Therefore, the project will utilize the ANN technique to solve MLPPs. We have developed a hybrid algorithm with ANN (Rodriguez-Vazquez et al. 1988) and Tabu search to attack the problems with a better performance than our previous work (Shih et al. 2004). Currently, the new algorithm will be applied to planning and scheduling of supply chain management.

**Keywords:** Multi-level programming, Artificial neural network, Tabu search, Hopfield network, Energy function.

## 二、緣由與目的

多階層規劃 (multi-level programming) 係於 1970 年代末期被發展出來，用以模擬層級組織架構中的最佳化決策問題。其決策過程係由高階者先行設定其目標 (objective) 及決策 (decisions)，並詢問其所屬各階層的個別最佳化；低階者則秉告其最佳值，並被高階者以整體組織的利益考量而修正之。此過程將持續進行，直至獲得

組織的滿意解(satisfactory solution)為止。其特徵有下列四點 (Bialas and Karwan 1984)：

- (i) 在階層結構中，多階規劃系統具有彼此互相影響的決策部門。
- (ii) 高階下決策後，其低階考量此決策執行其本身的決策。
- (iii) 每個部門在增加自己本身利益的同時，會受到其他部門的決策所影響。
- (iv) 決策者解決問題時，所受到的外在影響，會反應在其目標函數及可行的決策上。

此種決策形態常用於（較為民主式）分權系統(decentralized systems)中，在實務上曾應用於政府政策、農漁業、經濟系統、財務、福利、運輸與網路設計，而尤適於衝突之解決 (conflict resolutions) (Anandalingam and Friesz 1992)。

線性二階規劃問題為多階規劃問題中最單純者，Wen and Hsu (1991)曾定義其數學模式為：

$$\begin{aligned}
 P1: \quad & \max_x F(x, y) = ax + by \quad \text{where } y \text{ solves} \\
 & \max_y f(x, y) = cx + dy \\
 & \text{s.t.} \quad Ax + By \leq r \\
 & \quad \quad x, y \geq 0
 \end{aligned}$$

這裡  $a, c, x \in \mathcal{R}^{n_1 \times 1}$ ,  $b, d, y \in \mathcal{R}^{n_2 \times 1}$ ,  $r \in \mathcal{R}^{m \times 1}$  A是一個  $m \times n_1$  的矩陣而B是一個  $m \times n_2$  的矩陣。

在近三十年間，大家曾經採用傳統工具如線性規劃的分解原理 (decomposition principle)、標的規劃(goal programming)、多目標規劃 (multi-objective programming)、或賽局理論(game theory)等解決此層級組織架構的最佳化問題，惟均不能充份描述此類問題之特性 (Wen and Hsu 1991)，因之有許多經驗方法被發展出來。對於線性係數情況而言，主要可歸類為極點搜尋法 (extreme point search

approach) 及變換法 (transformation approach) 兩者。前者搜尋相當無效率，而後者變換法係運用 KKT 條件 (Karush-Kuhn-Tucker conditions) 於限制式中引入非線性項，其輔助問題的複雜度將形升高，甚至不能控制，且三階以上問題均難以解決。有鑑於此，Shih et al. (1996) 藉由多目標最佳化與模糊隸屬函數 (membership functions) 之容忍度 (tolerance) 的概念，發展出一模糊方法以解決多階層規劃問題。此模糊方法在於建立一有效的監督搜尋步驟，將既有巢狀結構化為自上而下循序求解的問題，不但結構簡化且具有推廣至  $n$  階的潛力。

然而前述內容僅及於靜態解法，為解決動態環境下的多階層規劃問題，Shih (2002) 提出互動式解法 (interactive procedure)，嘗試以外在迴路可調節部份決策參數 (包括目標及決策變數的達成度、風險態度、補償程度、 $\epsilon$ -限制值、可能性指標等)，來因應多階層環境的變化。然而此等解法有其調整的限制，本身並未具備即時求解能力。其後 Shih et al. (2004) 利用新近發展的類神經網路 (artificial neural network, ANN) 協助解決動態問題。此解法源於 Hopfield (1982) 與 Tank and Hopfield (1985) 提出類神經網路之最佳化解算電路，其概念為利用能量函數 (energy function) 將最佳化問題轉換為一非線性微分方程系統，當此動態系統達到穩定狀態 (steady state) 時，能量函數將達到極小值，此時顯示解即為其最佳解 (Ham and Kostanic 2001)。故其後研究類神經網路求解最佳化問題多歸類於 Hopfield 網路。

其次，現代數值方法已可有效解決大型和複雜之最佳化問題，故其應用性大增；然更重要的，類神經網路可藉由類神經網路計算的雛形而實現於超大型積體電路上，以即時(real time)方式解決最佳化問

題，故對具動態特質問題之解決尤具時效。雖然如此，類神經網路解算法實質為一非線性規劃問題，此系統是否穩定將是能否隨時間增加而收斂的關鍵 (Haykin 1999)；因此將有賴持續實驗及分析，並結合其他解算法，找出適合於多階層規劃的類神經網路及其參數，達到理論的正確與完備，以利其應用到大型實務問題上。

### 三、結果與討論

本計畫主在研究 Hopfield 之類神經網路解法求解多階層規劃問題。由前述背景資料可知本研究在結合能量函數以建立一解決最佳化的模式。在此架構下，目前已對類神經網路最佳化理論與相關參數進行了解。其次，為了解決二階規劃 KKT 轉換後的混合整數規劃 (mixed-integer programming, MIP) 問題，以使能量函數能夠快速收斂並且達到穩定狀態，本研究結合禁忌搜尋 (Tabu search) 規則 (Wen and Huang 1996a,b) 與 Rodriguez-Vazquez et al. (1988) 類神經網路演算法之混合類神經網路 (hybrid neural network)，分別處理其中整數及實數變數。新建議的演算法如下述步驟：

#### Step 1. (Initialization)

- 1a. Set the tabu maximum terminal size =  $N$ , the tabu list = TL, inventory list = IL, and NA (No admittance) = 1.
- 1b. Set a tabu index  $I = 1$  for tabu iteration, and the necessary NN parameters, including learning rate =  $\mu$ , maximum time for stopping condition =  $T$ , max number of iterations for NN = MI, and penalty constant for the constraints =  $K$ .

#### Step 2. (The Selection of Tabu Strategy)

- 2a. Randomly generate the input data  $\eta_{[I]}$  which is the discrete variables set from IL' which is a complementary infeasible variables set IL, go to Step 2b.

- 2b. Check the input data  $\eta_{[I]}$ , go to Step 3 if  $\eta_{[I]}$  is not in TL; Otherwise, repeat Step 2a.

#### Step 3. (Neural Network Computation)

Utilize the input data  $\eta_{[I]}$  to solve MIP through the NN by Rodriguez-Vazquez et al. (1988) for obtaining  $x, y, w, u$  and  $t$ . Go to Step 4.

#### Step 4. (Decision Rule)

- 4a. Check if the variables  $x, y, w, u$  and  $t$  are satisfactory. If all constraints in MIP are satisfactory, compute  $F_{[I]} = \mathbf{ax} + \mathbf{by}$  and go to Step 4b; Otherwise, go to Step 4c.
- 4b. If  $I \leq N$  and  $\eta_{[I]}$  is not in TL, record the current  $\eta_{[I]}$  and the  $F_{[I]}$  in the TL. Set  $I = I + 1$  and Go to Step 2a; Otherwise, go to Step 5.
- 4c. Record the input data  $\eta_{[I]}$  in the IL, and let  $I = I + 1$ . Go to Step 2a.

#### Step 5. (Termination)

If  $I \leq N$  and  $NA \leq TL$ , let  $NA = NA + 1$  and  $I = I + 1$ . Go to Step 2a; otherwise, go to termination. The near-optimal solution is reached with the objective value  $F^*$  for the MIP problem.

由於禁忌搜尋與 Rodriguez-Vazquez et al. (1988) 網路的結合，較原先 Shih et al. (2004) 所採用的分枝與界限 (branch-and-bound) 法與傳統的格拉日乘子 (Lagrangian multiplier) 或懲罰函數 (penalty function) 類神經網路更具效率，所測試案例均可於數分鐘內獲得最佳解 (Intel Pentium IV 3.0 GHz, Windows XP, Matlab 6.0 平台)，而前者則往往耗時超過 30 分鐘，故此混合類神經網路深具實用化之潛力。

最後，本研究計畫的階段性成果初步已達成，在後續研究中將繼續測試應用案例，並更期盼能繼續發展更具一般性的類神經網路。

### 四、計畫成果自評

由於本計畫獲得支援，使得主持人、共同主持人及參與人員對於多階層規劃問題深入瞭解，亦對類神經網路解決最佳化問題有進一步認知，並實現於多階規劃問題的求解。且所建議之混合網路業經驗證，求解效率均較以往類神經網路以及傳統解法為優越。其對二階規劃的研究成果已於 2006 年 7 月獲 *Applied Mathematics Letters* (Lan et al. 2006) 同意刊登。

另本研究內容較為前瞻，花費較長時間於類神經網路特性的研究，然其研究成果之學術價值頗高，目前正在整理一篇回顧性論文，以期投稿後能引導此領域的未來研究。

另就實用化部份而言，本計畫之成果將期應用於供應鏈管理上。目前已對其中供應鏈管理中規劃與排程相關問題進行分析，並期盼此研究結果能得到更有效率的結果。

## 五、參考文獻

- Anandalingam, G., T.L. Friesz (1992), Hierarchical Optimization: An Introduction. *Annals of Operations Research*. (eds. by G. Anandalingam and T.L. Friesz) 34, 1-11.
- Bialas, W.F., M.H. Karwan (1984), Two-level linear programming, *Management Science*, 30, 1004-1020.
- Ham, M.H., I. Kostanic (2001), *Principles of Neurocomputing for Science and Engineering*. McGraw-Hill, NY.
- Haykin, S. (1999), *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. Prentice Hall, NJ.
- Hopfield, J.J. (1982), Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 79, 2554-2558.
- Hopfield, J.J., D.W. Tank (1985), "Neural" computation of decisions in optimization problems. *Biological Cybernetics*, 52, 141-152.
- Lan, K.M., U.P. Wen, H.S. Shih, E.S. Lee, A Hybrid Neural Network Approach to Bilevel Programming. *Applied Mathematics Letters* (Accepted for publication in July 2006, #AML 5415).
- Rodriguez-Vazquez, A., R. Dominguez-Castro, A. Rueda, J.L. Huertas, E. Sanchez-Sinencio (1988), Switched- capacitor neural networks for linear programming, *Electronics Letters*, 24, 496-498.
- Shih, H.S. (2002), An Interactive Approach for Integrated Multi-level Systems in a Fuzzy Environment. *Mathematical and Computer Modelling*, 36(4-5), 569-585.
- Shih, H.S., Y.J. Lai, E.S. Lee (1996), Fuzzy Approach for Multi-level Programming Problems. *Computers and Operations Research*, 23(1), 73-91.
- Shih, H.S., U.P. Wen, E. S. Lee, K.M. Lan, H.C. Hsiao (2004), An Artificial Neural Network Approach to Multi-objective Programming and Multi-level Programming Problems, *Computers and Mathematics with Applications*, 48(1-2), 95-108.
- Wen, U.P., S.T. Hsu (1991), Linear bi-level programming problems - a review. *J. of Operational Research Society* 42, 125-133.
- Wen, U.P., A.D. Huang (1996a), A simple tabu search method to solve the mixed-integer linear bilevel programming problem, *European J. of Operational Research*, 88, 563-571.
- Wen, U.P., A.D. Huang (1996b), A tabu search approach for solving the linear bilevel programming problem. *J. of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 13(2), 113-119.