

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告



※ 螞蟻行為演算法在圖與圖比對之應用 ※

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 89-2213-E-041-006-

執行期間： 89年08月01日至 90年07月31日

計畫主持人：謝愛家

共同主持人：

計畫參與人員：

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：嘉南藥理科技大學 資訊管理系

中華民國九十年十月二十五日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

螞蟻行為演算法在圖與圖比對之應用

The Graph Matching by the Algorithm of Ant Colony System

計畫編號：NSC 89-2213-E-041-006

執行期限：89年8月1日至90年7月31日

主持人：謝愛家 嘉南藥理科技大學資訊管理系助理教授

一、中文摘要

本計畫主要的目的是發展一個適用於圖與圖比對問題的螞蟻行為演算法。首先，對圖與圖比對問題化為一最佳化問題。在化為最佳化問題的定義中，將同時考慮每一節點之比對距離與未配對的節點的處罰值。圖與圖比對問題是尋求一配對其節點的配對距離與未配對節點的處罰值之和最小，並且有配對的節點間其關係要與相對應的圖中的關係一致。除此之外，我們將以手寫文字辨識系統來驗證所提方法之可行性。

關鍵詞：圖與圖比對，螞蟻行為演算法，具屬性關係圖，文字識別

Abstract

This project is to develop an algorithm based on the ant colony system for graph matching. First, the graph matching is defined in optimization problem manner, which are encountering the matching cost and the penalty of unmatched node. The problem of the graph matching is to find a matching such that the summation of the distances of the matched nodes and the penalties of the unmatched nodes from two matching graphs as well as the relations of matched nodes in the graph are preserved. Besides, we will apply the proposed method to recognize the handwritten character.

Keywords: Graph Matching, Ant Colony

System, Attributed Relational Graph, Character Recognition

二、計畫緣由與目的

在圖形識別中，一般結構化物件 (Structural Object) 常以圖 (Graph) 來表示，而對於圖與圖比對問題 (Graph Matching) 仍然是一個難解的問題 (如 Graph Isomorphisms 仍是 Open Problem, Subgraph Isomorphisms 是 NP-Complete Problem)。但是在實際的應用上，卻仍然會使用到它。因此，能夠提供一個近似且快速的方法來計算二個圖的距離就顯得非常有用。

比對技術 (Matching Technique) 是對二個圖形 (Pattern) 的特徵做比對。在圖形識別中，圖形的描述可包含字串 (String)、樹 (Tree) 和圖 (Graph) 等 (Bunke and Sanfeliu, 1990)。因此，比對技術分別有字串與字串比對問題 (String-to-String Correction Problem)、樹與樹比對問題 (Tree-to-Tree Correction Problem) 和圖或子圖同形問題 (Graph/Subgraph Isomorphisms) (Tsai and Fu, 1979; Tsai and Fu, 1983) 等。對結構化物件 (如中文字) 的描述，除了描述其基本特徵外，亦需同時考慮其相互間的關係等，因此，圖是理想的表示方法之一。例如中文字的 "呆" 和 "杏"，如圖一所示，若不考慮其部首間的結構關係，只以筆畫是很難區別它們的。

圖的表示法 (Bunke and Sanfeliu, 1990) 有很多種，較常用的包括有隨機圖 (Random Graph) (Chen and Lieh, 1990) 或具屬性關

係圖 (Attributed Relational Graph, ARG) (Tsai and Fu, 1979) 等。在 ARG 圖中節點(Node)可代表其特徵或結構化物件的子部份,如中文字的部首,而節點間的邊(Branch)則可表示其節點間的關係,圖二是英文字"Y"的 ARG 表示圖。

以 ARG 為例,要去辨識一個結構化物件,會先建立其參考物件的 ARG 圖,當有一未知的物件待辨識時,會先把其資料轉為 ARG 圖,再對其 ARG 圖與參考物件的 ARG 圖間作圖與圖之比對,並依比對後的距離或相似程度決定輸入的物件是那個參考物件。

目前在這一方面的研究非常多,所使用的方法有鬆弛比對法 (relaxation method) (Christmas et al., 1995)、子圖錯誤-更正法 (subgraph error-correcting isomorphisms) (Tsai and Fu, 1979; Tsai and Fu, 1983)、類神經網路法 (neural network) (Suganthan et al., 1995)、線性規劃法 (linear programming) (Umeyama, 1988; Almohamad and Duffuaa, 1993)、基因搜尋法 (genetic search method) (Wang, Fan and Horng, 1995) 和近似法 (approximation method) (El-Sonbaty and Ismail, 1998) 等。

就技術而言,子圖的同形問題是 NP-complete 問題 (Garey and Johnson, 1976),而圖的同形問題仍然是一個難解的問題 (open problem) (Almohamad and Duffuaa, 1993)。因此,就實際的應用上能夠找到近似解或者能達到不錯的辨識率之方法,均是非常好的方法。圖與圖比對問題亦是屬於最佳化問題 (optimization problem)。最近有一新的方法叫螞蟻行為演算法 (ant colony system),它主要的原理是在於模擬一群螞蟻尋找食物時,會自然找到一條最佳的路徑 (Denebourg, Pasteels and Verhaeghe, 1983)。因為螞蟻行走時會分泌一種費洛蒙 (pheromone) 的物質,因此,越多螞蟻走過的路徑其遺留的費洛蒙越多。而螞蟻行經某一路徑的機會與該路徑所遺留的費洛蒙成正比,所以遺留越多費洛蒙的路徑會吸引更多的螞

蟻走該路徑。最後所有螞蟻行經同一(最佳)路徑。此演算法已成功的應用於各式最佳化問題 (Dorigo, Maniezzo and Colorni, 1996; Dorigo and Gambardella, 1997; Maniezzo and Colorni, 1999; Merz and Freisleben, 1999)。

因此,本計畫主要是能夠利用螞蟻行為演算法來解圖與圖比對問題。首先,對圖與圖比對問題化為一最佳化問題。在化為最佳化問題的定義中,將同時考慮每一節點之比對距離與未配對的節點的處罰值。在對二個圖形特徵做配對時,不只要依它們特徵間的距離,而且亦要考慮兩者間未配對特徵間的處罰,由此二者同時來決定其配對,才會得到較好的配對關係 (Hsieh, Fan and Fan, 1995)。圖與圖比對問題是尋求一配對其節點的配對距離與未配對節點的處罰值之和最小,並且配對的節點間其關係要與相對應的圖中的關係一致。除此之外,我們將以手寫文字辨識系統來驗證所提方法之可行性。

為了達成上述功能,本研究的主要工作項目包括(1)螞蟻行為演算法在圖與圖比對問題的近似解法(2)手寫文字辨識系統之建立與效能評估。

三、研究方法及成果

本計畫提出一個利用螞蟻行為演算法來解圖與圖比對問題。首先,將對螞蟻行為演算法作一介紹,並把圖與圖比對問題化為一最佳化問題。在化為最佳化問題的定義中,將同時考慮每一節點之比對距離與未配對的節點的處罰值。在對二個圖形特徵做配對時,不只要依它們特徵間的距離,而且亦要考慮兩者間未配對特徵間的處罰,由此二者同時來決定其配對,才會得到較好的配對關係 (Hsieh, Fan and Fan, 1995)。圖與圖比對問題是尋求一配對其節點的配對距離與未配對節點的處罰值之和最小,並且配對的節點間其關係要與相對應的圖中的關係一致。除此之外,我們將以手寫文字辨識系統來驗證所提方法之可行性。底下我們將分別描述其作法:

1. 建立圖與圖比對的近似法

首先對 ARG 圖做一定義，然後把每一個 ARG 圖分解成數個基本 ARG 圖(Basic ARG, BARG)，再依其特徵值間求得邊上屬性間的配對距離，再由 BARG 間的距離及其處罰值依螞蟻行為演算法求得二個 ARG 圖最終的距離。其作法如下：

(1) 圖的表示法

我們採具屬性關係圖(ARG)來表示結構化物件，其定義如下：

$$G=(N, B, A, E, G_N, G_B),$$

其中，

N: 節點

B: 邊

A: 節點屬性集

E: 邊屬性集

G_N : 產生節點屬性函數

G_B : 產生邊屬性函數

(2) ARG 圖的分解

依每一節點把 ARG 圖分解為數個基本的 ARG 圖(Basic ARG, 簡稱 BARG)。對節點 v_i 其 BARG 指的是原 ARG 圖中保留與 v_i 相連的邊及節點。

(3) 圖與圖比對問題的解法

若 $V=\{v_1, \dots, v_p\}$, $U=\{u_1, \dots, u_q\}$ 分別表示二個要比對的圖形的特徵， w_{ij} 表示 v_i 和 u_j 配對時的配對距離， s_i 是當 v_i 未配對的處罰值， t_j 是當 u_j 未配對的處罰值，則可化為

$$W' = \begin{bmatrix} W & S' \\ T' & O \end{bmatrix}$$

令 V' 是新 W' 所對應的節點，則圖與圖比對問題的目標函數如下：

$$\min_{\pi} \left[\left(\sum_{i \in V'} W'_{i\pi(i)} \right) * (1 + \sum_{i \in V'} \sum_{j \in V' \wedge j \neq i} \rho(v_i, v_j, u_{\pi(i)}, u_{\pi(j)})) \right]$$

$$\rho(v_i, v_j, u_{\pi(i)}, u_{\pi(j)}) =$$

$$\begin{cases} 0 & \text{if } v_i \text{ 和 } v_j \text{ 的結構關係與 } u_{\pi(i)} \text{ 和 } u_{\pi(j)} \\ & \text{的結構關係一致} \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

π : 任意一種排列或配對, $u_{\pi(i)}$ 代

表 v_i 在 U 中的對應

(4) 計算二個 BARG 圖的距離

邊與邊的對應可利用其特徵值間求得邊上屬性間的配對距離，加上其節點間的距離，可得到此二個 BARG 圖的距離。

(5) 螞蟻行為演算法計算二個 ARG 圖的距離

ARG 圖先依節點數不同分別分解出與節點數相同個數之 BARG 圖，再對輸入及參考的 ARG 圖間兩兩之 BARG 圖。

我們把 W' 視為 $p \times q$ 的城市間距離，開始每隻螞蟻隨機由任一節點出發，為管理螞蟻不重複經過所走過的路徑，我們使用一個記錄表記錄螞蟻所經過的路徑。每一個回合後依最多螞蟻走過的配對當作此回合的最佳配對。並重覆上述方法，直到最佳配對不再變小為止。以下將描述其作法：

Step 1. 初始化及計算 η_{ij}

Step 2. 放 m 隻螞蟻在起步城市

Step 3. 對每一隻螞蟻 k 做 step 4 至 step 6

Step 4. 根據 $P_{ij}^k(t)$ 的值和任選一亂數以及尚未行經的城市，決定螞蟻 k 下一步行經的城市

Step 5. 計算 $\tau_{ij}(t+n)$ 的值

Step 6. 重覆 step 4 至 step 5 直到所有城市均走過

Step 7. 重覆 step 2 至 step 6 直到疊代次數超過預設值或最佳配對不再變小

其中，

(a)

n :城市數($p+q$)

m :螞蟻數

τ_{ij} :城市 i 和 j 間費洛蒙量

d_{ij} :城市 i 和 j 間的距離

ρ :費洛蒙的揮發度

α, β :二個參數

Q :常數

L_k :螞蟻 k 走過的路徑長

(b)遺留在城市 i 和 j 間路徑的費洛蒙量

$$\tau_{ij}(t+n) = \rho * \tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k$$

$\Delta \tau_{ij}^k$:城市 i 與 j 間路徑因螞蟻 k 走過

所增加之費洛蒙量

$$= \begin{cases} \frac{Q}{L_k} & \text{if } (i, j) \in \{\text{螞蟻 } k \text{ 經過的路徑}\} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

(c) t 時間螞蟻行經城市 i 和 j 間路徑的機率

$$P_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_j [\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}, \quad j \in \{\text{螞蟻 } k \text{ 未經過之城市}\}$$

$$\eta_{ij} = 1/d_{ij}$$

依每隻螞蟻所獲得的路徑,我們可以依 W' 計算出每一節點之比對距離與未配對的節點的處罰值。選出最小的值當作二個ARG圖的距離。

(6)選出最佳參考之ARG圖

輸入之ARG圖與所有參考的ARG比對後,選出最佳參考之ARG圖,當作辨識結果。

2. 以手寫英數字辨識系統來驗證其可行性

為了驗證所提方法的可行性,我們以手寫英數字之辨識系統當作驗證的標的。此乃因為手寫英數字的變異度很大,利用傳

統統計式的方法不易達到很高的辨識率且收集手寫英數字的樣本相對較手寫中文字來得方便。其作法包含(1)手寫文字影像的輸入(2)雜訊去除等的影像加強(3)細線化(4)筆畫抽取(5)輸入影像ARG圖的建立(6)輸入ARG圖與參考ARG圖的比對。

在實際的測試中,我們分別以手寫的數字0-9等10個字和大寫英文字A-Z等26個字分別做測試,其中每個字有31個樣本。

首先,自其中選擇一組當做參考字形,並以一組當作學習螞蟻行為演算法的參數,其餘(29組)則當做測試用字形。測試結果對手寫數字之字集有94.14%的辨識率,而對手寫大寫英文字之字集有90.58%的辨識率。

另外,我們也是自其中選擇一組當做參考字形,並以十組當作學習螞蟻行為演算法的參數,其餘(20組)則當做測試用字形。十組最佳的螞蟻行為演算法的參數則加以平均。測試結果對手寫數字之字集有94.5%的辨識率,而對手寫大寫英文字之字集有90.77%的辨識率。

因此,增加學習的樣本對辨識率雖有提高,但並不明顯。若與前年之計畫結果相比(手寫數字96.33%的辨識率,手寫大寫英文字90.58%的辨識率),發現結果亦較差,或許是我們目前對螞蟻行為演算法的參數之學習尚未有較好的方法,若能有一套學習策略應可有效提昇。

四、結論與討論

在本計畫中,我們提出一個適用於圖與圖比對問題的螞蟻行為演算法。首先,把每一個文字以ARG圖表示,依節點間其特徵值求得邊上屬性間的配對距離,再由其配對距離及其處罰值依螞蟻行為演算法求得二個ARG圖最終的距離。最後,我們對手寫數字和英文字做測試,其結果分別為94.5%和90.77%。由結果顯示未來將可針對如何由多組參考樣本去學習螞蟻行為演算法中所使用的參數,如螞蟻數、費洛蒙揮發度等。

五、参考文献

- [1] Almoahad, H.A. and S. O. Duffuaa (1993). A linear programming approach for the weighted graph matching problem. *IEEE Trans. Pattern Analysis Mach. Intell.*, Vol. 15, No. 5, pp. 522-525.
- [2] Bunke, H. and A. Sanfeliu, Eds. (1990). *Syntactic and structural pattern recognition: theory and applications*. World Scientific, Singapore.
- [3] Christmas, W.J., J. Kittler and M. Petrou (1995). Structural matching in computer vision using probabilistic relaxation. *IEEE Trans. Pattern Analysis Mach. Intell.*, Vol. 17, No. 8, pp. 749-764.
- [4] Chen, L.H. and J.R. Lieh (1990). Handwritten character recognition using a 2-layer random graph model by relaxation matching. *Pattern Recognition*, Vol. 23, No. 11, pp. 1189-1205.
- [5] Denebourg, J.L., J.M. Pasteels and J.C. Verhaeghe(1983). Probabilistic behavior in ants: a strategy of errors? *J. Theoretical Biology*, Vol. 105, pp. 259-271.
- [6] Dorigo, M., V. Maniezzo and A. Colorni(1996). Ant system: optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Trans. System, Man, and Cybernetics, Part B: Cybenetics*, Vol. 26, No. 1, pp. 29-41.
- [7] Dorigo, M. and L.M. Gambardella(1997). Ant colony system: a cooperating learning approach to the traveling salesman problem. *IEEE Trans. On Evolutionary Computation*, Vol. 1, No. 1, pp. 53-66.
- [8] El-Sonbaty, Y. and M.A. Ismail (1998). A new algorithm for subgraph optimal isomorphism. *Pattern Recognition*, Vol. 31, No. 2, pp. 205-218.
- [9] Garey, M.R. and D.S. Johnson(1979). *Computers and intractability: a guide to the theory of NP-Completeness*. Freeman, New York.
- [10] Hsieh, A. J., K.C. Fan and T. I. Fan (1995). Bipartite weighted matching for on-line handwritten Chinese character recognition. *Pattern Recognition*, Vol. 28, No. 2, pp. 143-151.
- [11] Maniezzo, V. and A. Colorni(1999). The ant system applied to the quadratic assignment problem. *IEEE Trans. On Knowledge and Data Engineering*, Vol. 11, No. 5, pp. 769-778.
- [12] Merz, P. and B. Freisleben(1999). A comparison of memetic algorithms, tabu search, and ant colonies for the quadratic assignment problem. *Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation*, Vol. 3, pp. 2063-2070.
- [13] Suganthan, P., E. Teoh and D. Mital (1995). Pattern recognition by graph matching using the Potts MFT neural networks. *Pattern Recognition*, Vol. 28, pp. 997-1009.
- [14] Tsai, W.H. and K.S. Fu (1979). Error-correcting isomorphisms of attributed relational graphs for pattern analysis. *IEEE Trans. System, Man, Cybernet.*, Vol. 9, No. 12, pp. 757-768.
- [15] Tsai, W.H. and K.S. Fu (1983). Subgraph error-correcting isomorphisms for syntactic pattern recognition. *IEE Trans. System, Man, Cybernet.*, Vol. 13, No. 1, pp. 48-62.
- [16] Umeyama, S. (1988). An eigendecomposition approach to weighted graph matching problems. *IEEE Trans. Pattern Analysis Mach. Intell.*, Vol. 10, pp. 695-703.
- [17] Wang, Y. K., K. C. Fan and J. T. Horng (1995). Error-correcting isomorphism of directed graphs by genetic-based search. *Journal of Information Science and Engineering*, Vol. 11, No. 1, pp. 127-151.