



作者簡介 作者:鄭邵宇 就讀學校:

建國中學 指導老師:張雅菱 我自從升上國中踏入了人工智慧的領域後，就一直對此保有濃厚的興趣。為何一部只會作邏輯運算的機器能夠展現這多采多姿的變化呢？複雜科學的領域也同樣迷人，一直有許多未知且令人驚奇的發現存在其中。這些有趣的事物引領著我進入科學研究之路，並且不斷吸引我做更深入的探究；因為這不但是一個大千世界，同時也讓我們對於許多意義能夠以另一個不同的角度重新思考過。我喜愛電腦與音樂。小時候喜歡堆積木，在接觸到電腦之後，才發現裡面有更多種的積木可供組合，而且千變萬化，種類無窮，能夠造出的東西也更多種。音樂更可以激發許多創作的靈感與巧思。這兩樣事物也讓我更具創造的能力。這次的研究承蒙許多專家的協助與指導，才有如此成果，僅在此致上最誠摯的謝意。

一、研究動機 全球都會區交通流量日益增大，導致交通混亂和擁擠，因此如何解決都會區的交通問題一直是人類的一個重要議題。但由於交通問題涉及相當複雜的因素，幾乎無法找到好的解析法加以解決，因此傳統以經驗法則(Heuristic Methods)解決，成效並不理想。本研究擬以遺傳演算法和分類者系統為基礎，加強並延伸其理論，且以自動導航駕駛問題為例，實作一「市區交通最佳化自動導航駕

駛系統」，期使交通問題獲得較佳的解決。

二、研究目的 本研究主要目的有二：一是探討遺傳演算法、分類者系統之理論，並研究如何將之延伸，使可用於解決實際問題；二是驗證遺傳演算法和分類者系統在解決實際的複雜問題的成效。我們希望根據遺傳演算法和分類者系統的理論基礎，發展出一套基本的軟體工具箱(Tool Kits)。然後以遺傳演算法及分類者系統為基礎，建構一適應性學習系統，並實作「市區車輛自動導航駕駛系統」的電腦模擬，期望可使市區交通最佳化，解決塞車的問題。

三、研究設備器材 (一) 軟硬體 1. Intel Pentium 與Celeron PCs with 64 MB RAM在Microsoft Windows環境下執行 2. Microsoft Visual C++ 5.0 Compiler (二) 理論模型之軟體工具箱 1. 自己撰寫之函式，包含交通模擬系統之圖形介面、遺傳演算法之族群初始、選擇、交配、各種編碼方式，及分類者系統之水桶大隊演算法、佈告欄等等。

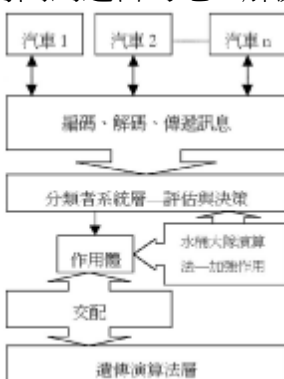
四、研究過程與方式 (一) 理論背景 1.遺傳演算法(GA) 遺傳演算法仿照大自然的物種演化，使電腦藉著演化程式資料，逐漸改變自己的行為或解決方案，在解決龐大可能性的問題時，更提供了絕佳而快速躍進式的方法，並可應用於各種其他方面研究，如人工智慧(Artificial Intelligence)、分類者系統(Classifier System)上。GA的步驟如下：甲、電腦以亂數產生一群初始族群，依照它們對環境的適應能力給予一組適應值(fitness)，即一組答案的正確性或產生的效率；愈大則生存機率愈大，更可能繁衍後代。乙、選出一些基因交配產生新的子代，與親代及整個族群競爭。交配時，適應性良好的基因可能聚集在一起，適應性差的也一樣，於是使得染色體的適應性可能往兩邊分開，下一次再挑選時，好的染色體就可能脫穎而出，差的染色體就被淘汰。交配池(Crossover



pool)：丙、新的族群再度回到第一步驟，進行相

同的程序，直到某一程度後，停止演化，得出答案（屆時的優勢族群）。2. 傳統數位染色體編碼方式 甲、二進位編碼法 為最直觀的數值編碼法。轉換速度很快，但在基因型態上有某些缺陷：我們考慮 $7(10)=0111(2)$ $8(10)=1000(2)$ 其中7與8代表十進位，0111與1000代表二進位的染色體型態，表示著兩組數值資料。兩者的基因型(genotype)迥然不同，表現型(phenotype)卻非常相近，在取適應值或族群演化時，會造成不正常的生存機會，影響族群的發展。乙、Gray編碼法 我們將Gray Code應用在此：在n-bit的碼中，包含2項的數列，每一項有n個位元，且數列中任何相鄰兩項之間只有1個位元不同，不像二進位編碼法的差距那麼大，可大幅降低在臨界點時所產生的不良影響。3. 分類者系統(CS) 以GA理論為基礎，將一條規則的以數位染色體的形式編碼，讓程式演化，即為分類者系統(Classifier System)。當問題很複雜，無法以數值型態表示染色體，須以規則型態來表示。在CS中，數位染色體成為作用體 (Agents)。CS以GA強大的環境適應性為基礎，幾個世代之後自動學習到好的規則。步驟如下：

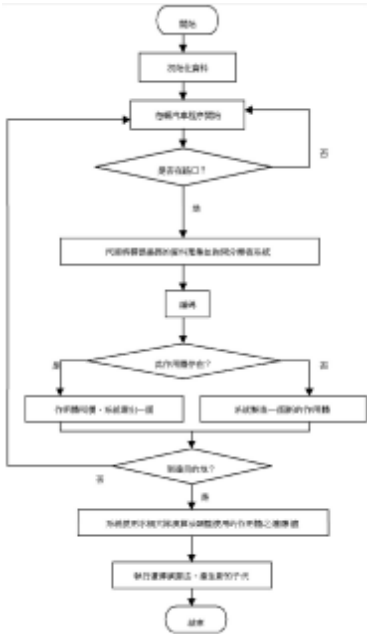
甲、電腦遭遇到一種情況，在虛擬的佈告欄上張貼訊息。乙、CS中各作用體掃描佈告欄，若有合乎自己解決方案的規則，就張貼一訊息在佈告欄上，並依據先前表現叫價（提出適應值）。叫價高的作用體可實行其解決方案。丙、系統在後續動作中評估結果，若系統因而失敗或成功，則使用水桶大隊 (Bucket-brigade)演算法，將一連串有表現的作用體一起懲罰或嘉勉，叫價因此受到影響。丁、執行GA，作用體交配產生新的子代與族群競爭，帶領系統往適應問題的方向演化。（二）實作 1. 簡介 本系統無任何預設值，將建有CS的汽車置入虛擬的城市街道中，使其應用CS學習如何判斷路況，能以最短的時間到達目的地，解決日益嚴重的塞車問題。系統架



構如下圖所示：程式流程圖：統往適應問題的方向演化。

2. 實作中CS的編碼結構 當一輛車開至路口，便詢問CS下一步如何走。車輛傳給CS下列數值：規則 輸入：目前位置、目的地、周圍的交通情況、周圍的路口與目的地之間的距離 輸出：左轉/右轉/直走（相對式編碼法）或 方位（絕對式編碼法）結構如下： |||(300,240)|

(500,620)||2.3|4.2|0.8|1.1||220|340|110|730||---Go East 經過編碼後，成為一串串由1與0所組成的碼，規則可看成一種「若- -則」形式的變化。另外，在CS中，特殊基因「#」表「無所謂」



(Don't Care)，無論0或1都可符合其條件；亦即若當有L位元的規則，其中有M個「無所謂」符號，可表示 種訊息。此種基因是使CS「融會貫通」的重要關鍵。分類者的明確度s可 如下表示：

3. 選擇作用體之方式 接著，作用體以其適應值叫價，叫價決定於先前的實際經驗結果。若該作用體過去表現 良好，適應值將會提高；表現不佳，適應值將降低。 在本研究中，若有作用體A1, A2,....., An 其適應值分別是F1, F2,, Fn 則作用體Ai被系統選中的機率 系統依據此式選出作用體所提供的方案，回應給車輛，供車輛使用該方案。

4. 後續處理 車輛繼續抵達數個路口，每每詢問CS，直到走到目的地。此時車輛將行車效率傳遞給 CS，開始進行水桶大隊演算法。在現實情況中，因某一決策是由先前的數個決策所共同影響造成的，因此水桶大隊演算 法即模擬此情況，將某一作用體先前的數個作用體之適應值作加減處理，連帶地獎賞或懲罰 這些已被使用過的作用體。

5. 學習模式與編碼方式的調整 隨著CS學習模式的不同，編碼方式也要隨之作調整。編碼是最重要的關鍵部分，對於學 習效果有決定性的影響。本研究將車輛路徑學習分成數個學習模式：

$$2^{L-M} s = \frac{L-M}{L} \frac{F_i}{\sum_{i=1}^{L-M} F_i}$$

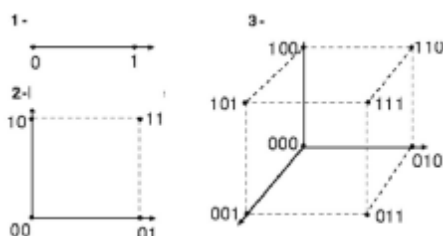
甲、 實驗模式 一：

考慮因素	下個決定的路口距離目的地的距離（ ΔD_n ）
理想學習成果	車輛將會選擇走後與目的地最近的街道
編碼格式	If $\Delta D_a > \Delta D_b > \Delta D_c > \Delta D_d$ Then N/E/W/S
說明	將四方路口距離目的地的距離依照大小順序排列，並編成數位染色體，以期能達成學習結果。

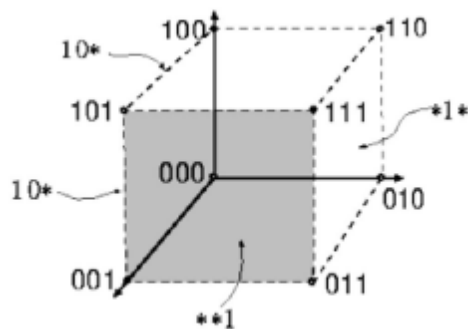
6. 相對編碼法與絕對編碼法 在編碼紀錄資料格式時，這是應該考慮的變因。使用絕對編碼法，系統較易發現特別適 合該訓練模式的規則；使用相對編碼法，系統紀錄的是相對資料而非絕對資料，系統較易發 現一般性的規則，應用在各種模型之下。
7. 數值編碼之理論延伸 數值編碼除了基本的二進位、Gray編碼之外，本研究還設計了不同的編碼方式，以期能 改進原有編碼方式的缺點。 甲、 多維延伸型編碼 如圖所示，長度為n的二元染色體可轉化為n度空間的圖形。

乙、實驗模式二

考慮因素	除了下個決定的路口距離目的地的距離之外，這次加入 20 輛車子，訓練電腦遇到有交通流量時的反應。
理想學習成果	車輛將會選擇與目的地最近的街道，同時也會考慮該街道的交通密度。



在這樣的圖形之中，每個頂點之間都相差一位元，也就能解決基因分配的不平等關係。圖為3-bit染色體的編碼方式。若染色體長度為n，則必須畫出一n維的形體。這可輕易地用電腦的資料結構加以表達。如此一來，有了*符號（代表「無所謂」）後，就可提供CS的「萬用基因」的編碼解決方案。乙、Gaussian Variation與Floating Points編碼法 Gaussian Variation提供了一種另類的基因突變方式，據許多實驗數據顯示，比傳統的位元性突變效果更好。例如，若給一初值a，則a突變如下： $a = a + \text{variation}$ 其中variation以Gaussian (Bell)曲線產生： c 為任意正數。Floating Points編碼法則將數值化成類似科學記法，但因精確度的關係，所以一旦發生如同二進位碼的差異問題時，會將所造成的影響降到最低。二進位碼的位數愈高，該基因的地位就呈2冪次增加，相當不理想。配合著Gaussian Variation突變法及



$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi c}} e^{-\frac{x^2}{c}}$$

Floating Points

編碼法，在基因型與表現型之間可取得很好的平衡效果。五、研究結果 本研究順利結合理論與實際問題的特性，建構了「市區交通最佳化自動導航駕駛系統」的基本模型。本研究已發開出一套函式庫，包含交通模擬系統之圖形介面、GA之族群初始、選擇、交配、各種編碼方式，及CS之水桶大隊演算法、佈告欄等等。此外，我們發現GA的二進位、Gray編碼在解決實際問題上有些缺失，為了解決上述問題，因此本研究設計了多維延伸型編碼和Gaussian Variation，並將之實際用於本研究的模型中。在學習模式一的實驗中，CS的學習效

學習模式一之學習效率（汽車數：5）



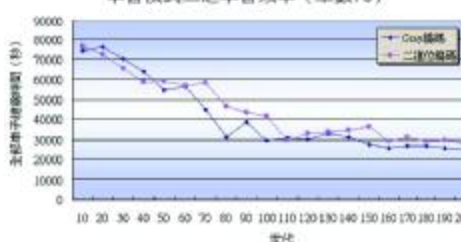
率如下圖所示：

結果可知，CS能有效地經由經驗及結果學習，短期內就可很快考慮更多因素，增加其學習效果之可用性。六、討論與應用（一）GA編碼方式的改進 據以前及推演的結果顯示，相對編碼法的編碼格式較難發現，但一旦有了一般性的編碼方式，系統就能從此模式發現一般

丙、實驗模式三

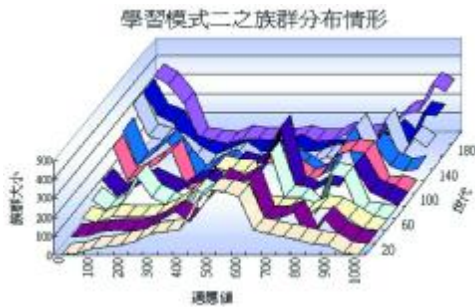
考慮因素	目前位置、目的地、四周（或全城）的交通情況、四方位路口與目的地的距離。
理想學習結果	由於此學習模式複雜，人類也無法完全掌握，但系統將能有效地改善塞車問題。

學習模式二之學習效率（車數70）

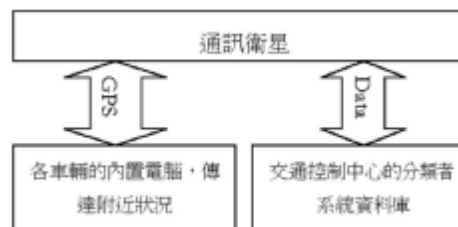


由結

性且通用的規則。此外，二進位編碼法對於電腦轉換速度很快，但在進行交配程序時，二進位碼會在Genotype和Phenotype之間有非常大的差異，因此在某些情況下不甚理想。但它仍可提高GA基因變化的多樣性，及更多變化的可能，使得整個



族群的變化率更大，提高新物種出現的可能。Gray編碼方式則是大幅降低在二進位數字進位時Genotype和Phenotype之間的差異，但它相對地把這樣的差異平均分配在各個數字。整體來說，Gray編碼方式在某些情況比二進位碼的效能好，但仍然有其缺陷存在。而多維空間編碼方式，若能成功地發展完成，就能結合二進位編碼方式及Gray方法的優點。另外，Gaussian Variation及Floating Points編碼法合起來，能將基因加以變化，可取代以位元為主的突變方式，而能有更好的突變效果。（二）交通最佳化系統的實際應用 本交通最佳化系統能使系統學習分配車流量，預先學習好該程式的模式，而發現解決交通堵塞的方案。實際上，可使用全球定位系統（GPS）作為媒介，達成訊息傳達的目的，如下圖：透過通訊衛星，控制中心可得知各街道的實際交通情況，作為分類者系統的相關資訊，其中分類者系統再將決策傳回每輛車子。如今全球定位系統價格合理、電腦運算非常快速，實現模型已非常容易。由此將真實都市輸入，並模擬實際交通流量與車子的個別屬性，訓練系統，觀察整個過程中，數位



染色體的學習曲線。電腦將告訴車輛「避開車流，找一替代路徑以達終點」，使道路交通負載均分，疏散交通。過去雖有人作過類似的應用(參考資料十二)，但方向不同，通常以類神經網路控制紅綠燈來解決此問題，但仍不能改變駕駛者常走路徑之習慣，尖峰時間尤其嚴重。本研究所發展的是一套能建議車子所走路徑的導航系統，系統在錯誤嘗試及經驗法則中自動學習，產生新的規則，適應各種情況的路段及城市。**七、結論** 複雜科學是一門相當有趣的學門，本研究初步結果顯示，複雜科學理論確實可應用在本研究所關心的實際問題上。本研究針對交通最佳化問題提出一些新的編碼方式，有頗佳的效果，相信新的編碼方式對其他的問題也能適用。我們發現，將複雜科學理論應用在實際問題上並不容易，通常需要進行許多設計及實驗步驟，同時也需解決一些困難。儘管如此，我們認為複雜科學是一門相當值得深入研究的學域。**八、參考資料**（一）Mitsuo Gen and Runwei Cheng, Genetic Algorithms & Engineering Design, Wiley-Interscience Publication.（二）M. Mitchell Waldrop, Complexity: The

Conference, pages 333-338, Stanford University, CA, USA, 28-31 July 1996. MIT Press. GP-96 Java demo at <http://asd.bbn.com/papers/traffic/traffic.html>**九、評語** 1. 利用遺傳基因演算法去探討交通最佳化之問題，是具有相當好的創意。2. 設計及編寫程式，並實際進行三種方式的電腦

模擬，其研究成果具完整性。3. 作者之思考邏輯及作品之說明能力，顯示他對作品之瞭解與嚴謹的研究態度，呈現十分優越的研究成果。Emerging Science at the Edge of Order and Chaos. (三) Microsoft, MSDN Library, Microsoft Corporation. (四) Genetic Algorithm Maze Solver, <http://home.sn.no/~bergar/mazega.htm> (五) Ken Yip, Learning Classifiers, <http://www-swiss.ai.mit.edu/speech/node6.html> (六) John H. Holland (1992), Genetic Algorithms, Scientific American, pp. 66~72, July 1992. (七) Mark Allen Weiss (1997), Data Structures and Algorithm Analysis in C, Addison Wesley Publishing Company. (八) David B. Fogel (1999), USENET: comp.ai.genetic newsgroup. (九) J. Heitkotter and D. Beasley (1998), Hitch Hiker's Guide to Evolutionary Computation, <http://www.cs.purdue.edu/coast/archive/clife/FAQ/www/Q21.htm> (十) Riccardo Poli (1996), Classifier Systems. (十一) William B. Langdon, Genetic Programming Bibliography, <http://www.cs.bham.ac.uk/~wbl/biblio/gp-bibliography.html> (十二) David J. Montana and Steven Czerwinski, Evolving control laws for a network of traffic signals. In John R. Koza, David E. Goldberg, David B. Fogel, and Rick L. Riolo, editors, Genetic Programming 1996: Proceedings of the First Annual