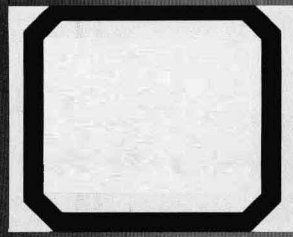




遺傳演算法及其應用

Genetic Algorithm and It's Applications

林昇甫 徐永吉 著



遺傳演算法及其應用

Advanced Design of Experiments

林昇甫 徐永吉 著



五南圖書出版公司 印行

國家圖書館出版品預行編目資料

遺傳演算法及其應用／林昇甫、徐永吉著；--

初版，-- 臺北市：五南，2009.09

面；公分

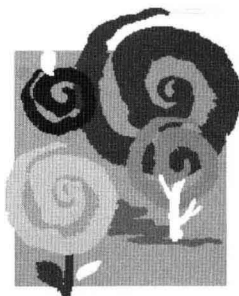
參考書目：面

ISBN 978-957-11-5731-3 (平裝)

1. 遺傳工程 2. 演算法

368.4

96019957



5DC1

遺傳演算法及其應用

作 者 — 林昇甫(138.3)徐永吉(181.5)

發行人 — 楊榮川

總編輯 — 龐君豪

主 編 — 穆文娟

責任編輯 — 蔡曉雯 陳俐穎

封面設計 — 簡愷立

出 版 者 — 五南圖書出版股份有限公司

地 址：106台北市大安區和平東路二段339號4樓

電 話：(02)2705-5066 傳 真：(02)2706-6100

網 址：<http://www.wunan.com.tw>

電子郵件：wunan@wunan.com.tw

劃撥帳號：01068953

戶 名：五南圖書出版股份有限公司

台中市駐區辦公室/台中市市區中山路6號

電 話：(04)2223-0891 傳 真：(04)2223-3549

高雄市駐區辦公室/高雄市新興區中山一路290號

電 話：(07)2358-702 傳 真：(07)2350-236

法律顧問 元貞聯合法律事務所 張澤平律師

出版日期 2009年9月初版一刷

定 價 新臺幣550元

序 言

近年來，遺傳演算法（或稱基因演算法（genetic algorithm））是一門被提出來用於搜尋近似最佳解的方法。遺傳演算法主要是依據對搜尋解好壞的判斷，利用基因遺傳的法則；也就是所謂的擇優，經過交配（crossover）運算以及突變（mutation）運算，將表現優良的基因經過演化保存且遺傳至下一代的子代中以達到搜尋最佳解的目的。反之，表現差的基因將在演化中逐漸被淘汰掉，透過這些演化規則遺傳演算法可以用在尋求近似最佳化的議題上。因此，在許多領域的研究學者像計算機科學、電機工程、機械……等等，都努力從不同角度來探討遺傳演算法。我們相信在透過眾多的學者的齊心合力下，遺傳演算法的研究將更蓬勃的發展。目前，遺傳演算法多應用於圖形識別、控制、預測、最佳路徑規畫……等研究上，至於商業化的產品並不多見。

本書僅從工程研究者的角度來探討遺傳演算法，本書並不著重遺傳演算法與大自然物種遺傳觀念間異同的探討，而是著重於遺傳演算法的理論、學習架構、相關應用……等等，透過詳細說明遺傳演算法的演化步驟以及詳細的程式虛擬碼簡介，讓讀者可以了解遺傳演化的相關學習流程，並更進一步的了解如何設計遺傳演算法。此外，本書也將遺傳演算法的相關理論以電腦模擬的方式應用於分類、時間序列分析、以及控制系統上，並比較不同遺傳演演化架構的差異。基於這個原則，本書的章節順序盡量依照遺傳算法的架構來介紹。當然，有時為了理論上的連貫性，本書也將這個順序作了些調整。本書從遺傳演算法的理論、學習架構一直介紹到遺傳演算應用於模糊系統、類神經系統、以及模糊類神經系統，讀者可以透過這些介紹更了解目前遺傳演算法的趨勢。而且，本書在每章的末尾都附上參考文獻以方便讀者查閱原始資料。

研讀完此書，我們相信讀者已經站在遺傳演算法這個領域的先端，並且具有能發展新的遺傳演算法架構的研究能力。我們期盼與各位讀者在這個領域一起努

力、收穫。

本書能順利完成，得感謝五南圖書出版股份有限公司的鼎力支持，以及我們家人、親友的諒解以及協助。本書雖經過多次的仔細校對，然才疏學淺，如有疏漏，誤謬之處，尚祈請海內外先進專家不吝賜教。

林昇甫、徐永吉

謹識於新竹國立交通大學電機學院電控工程研究所

目 錄

序 言	iii
第一章 遺傳演算法簡介	001
1.1 緣起	002
1.2 遺傳演算法定義	006
1.2.1 遺傳演算法的基本元素——基因	006
1.2.2 基因的集合——染色體	008
1.2.3 染色體所組成的集合——族群	011
1.2.4 染色體進化的依據——適應函數	012
1.3 遺傳演算法架構	013
1.3.1 初始化染色體	015
1.3.2 衡量染色體	016
1.3.3 排序染色體	016
1.3.4 複製優良染色體	017
1.3.5 交配運算	017
1.3.6 突變運算	019
1.4 本書的架構	020
參考文獻	021

第二章	遺傳演算法理論.....	027
2.1	遺傳演算法相關理論簡介.....	028
2.2	遺傳演算法	034
2.2.1	遺傳演算法特性	035
2.2.2	遺傳演算法演化架構.....	037
2.3	其它遺傳演算法	049
2.3.1	共生進化 (symbiotic evolution)	050
2.3.2	群體基礎共生進化算法 (Group-based Symbiotic Evolutionary Algorithm)	056
2.3.3	變動長度遺傳演算法 (Variable Length Genetic Algorithm)	061
	參考文獻	065
第三章	遺傳演算學習	073
3.1	遺傳演算法學習程序概述.....	074
3.2	染色體基因編碼	077
3.2.1	二進位編碼	077
3.2.2	符號編碼	080
3.2.3	實數編碼	084
3.3	初始化染色體族群	087
3.3.1	隨機方式產生初始母體.....	088
3.3.2	啓發式產生初始母體.....	091

3.4	適應函數設計	093
3.4.1	監督式適應函數設計	094
3.4.2	增強式適應函數設計	095
3.4.3	靜態比率適應函數調整	097
3.4.4	動態比率適應函數調整	098
3.5	排序族群染色體	098
3.5.1	氣泡排序法	098
3.5.2	選擇排序法	102
3.5.3	插入排序法	104
3.5.4	合併排序法	106
3.5.5	快速排序法	108
3.6	複製策略	112
3.6.1	完全式複製策略	113
3.6.2	競爭式複製策略	115
3.6.3	輪盤式複製策略	118
3.7	交配策略	124
3.7.1	選擇交配染色體	125
3.7.2	交配策略	130
3.7.3	適用時機	142
3.8	突變策略	143
3.9	基因演算法參數設計	152
3.9.1	遺傳演算法參數控制	152

- 3.9.2 遺傳演算法最佳化參數設計.....153
- 參考文獻 154
- 第四章 遺傳模糊系統簡介..... 165
 - 4.1 模糊系統簡介166
 - 4.1.1 模糊化輸入步驟169
 - 4.1.2 模糊規則庫（Fuzzy Rule Base）175
 - 4.1.3 模糊推論步驟（Fuzzy Inference Step）177
 - 4.1.4 解模糊化（Defuzzifierion）179
 - 4.2 遺傳演算法與模糊系統整合.....186
 - 4.2.1 模糊遺傳演算法186
- 參考文獻 193
- 第五章 遺傳模糊系統之學習程序 201
 - 5.1 調整模糊法則系統203
 - 5.1.1 模糊遺傳演算法204
 - 5.2 基因調整曼特寧模糊法則系統的歸屬函數220
 - 5.2.1 歸屬函數型態221
 - 5.2.2 基因調整歸屬函數227
 - 5.2.3 基因調整曼特寧模糊法則.....233
 - 5.3 基因調整TSK模糊法則系統的歸屬函數254
 - 5.3.1 TSK模糊法則簡介.....254

5.3.2	基因調整TSK模糊法則	255
	參考文獻	269
第六章	遺傳類神經系統	279
6.1	遺傳類神經網路系統	280
6.2	遺傳模糊類神經系統	307
6.2.1	遺傳演算法調整曼特寧模糊類神經系統學習	308
6.2.2	TSK模糊類神經系統權重學習	323
	參考文獻	335
第七章	相關應用	347
7.1	分類	348
7.1.1	蝴蝶花（鳶尾屬植物）資料分類（Iris database）	349
7.1.2	威斯康辛乳腺癌診測（The Wisconsin Breast Cancer Diagnostic Data）	353
7.2	混沌時間序列分析	357
7.2.1	Mackey-Glass混沌系統	359
7.2.2	太陽黑子預測	365
7.3	控制系統	369
7.3.1	倒單擺控制系統	371
7.3.2	球桿控制系統	378
	參考文獻	388

第一章

遺傳演算法簡介

- 1.1 緣起
 - 1.2 遺傳演算法定義
 - 1.3 遺傳演算法架構
 - 1.4 本書的架構
- 參考文獻

近年來，人工智慧成為電腦資訊科學中一項熱門的研究領域。人工智慧應用的領域包含了傳統的非線性控制系統、圖形辨識系統（**pattern recognition system**）、混沌系統（**chaos system**）控制，以及時間序列（**time series**）預測……等方面，由於在這些應用領域中的豐富成果使得愈來愈多的學者投入這項領域的研究，希望能找到更有效率、更準確讓結果收斂到最佳解（**optima solution**）的方法。

人類的研究總是希望不斷地追求更好的問題解答，以及希望能達到最佳的狀態，但是在事實上往往得到的結果是：最佳的解決方案雖然存在，但有時候可能是無法衡量或者是需要用很大的代價來尋找。有鑑於此，有很多的理論和方法都是為了用來搜尋近似最佳解（**near optima solution**）而發展出來的，最有名的例子如：數學規劃（**mathematical programming**）、作業研究（**operational research**），以及最佳化理論（**theory of optimization**）等學門都在探討如何搜尋近似最佳解的方法。近年來，遺傳演算法〔或稱基因演算法（**genetic algorithm**）〕也是一門被提出來用於搜尋近似最佳解的方法，遺傳演算法主要是依據對搜尋解好壞的判斷，利用基因遺傳的法則；也就是所謂的擇優，經過交配（**crossover**）運算以及突變（**mutation**）運算，達到將表現優良的基因經過演化後可以被保存且遺傳至下一代子代中的目的。反之，表現差的基因將在演化中逐漸被淘汰掉，透過這些演化規則，遺傳演算法可以用在尋求近似最佳化的議題上。

1.1 | 緣起

遺傳演算法最早是由 **Holland**^[1] 在 1960 年所提出的，主要以自然界進化現象為其參考來源進而發展出遺傳演算法。1967 年 **Bagley**^[2] 在其論文中提出了遺傳演算法一詞，主要的目的在處理一些遊戲的程式。直到 1975 年，由 **Holland** 所著作的 *Adaptation in Natural and Artificial System* 一書^[3]，奠定了遺傳演算法的基礎。其後 1989 年 **Goldberg** 出版 *Genetic Algorithms in Search*，

Optimization and Machine Learning 一書^[4]，內容詳盡介紹了有關遺傳演算法的理論與應用，並且發展出一個單變數函數的計算遺傳演算 SGA（simple genetic algorithms）的程式，SGA 對於日後遺傳演算法在電腦程式的分析上提供了一個重要的基礎，而此書更是成為後來研究、了解遺傳演算法的重要參考文獻。接著 Kane 和 Schoenauer 等人^[5]提出染色體（chromosome）使用位元陣列（bit-arrays）的方式表示截面積形狀並且比較不同的交換機制對於遺傳演算法的影響。Woon 等人^[6]提出將遺傳演算法應用在形狀最佳化的研究上。

長久以來，許多學者致力於提升遺傳演算法的效率，其中 Wu、Shu 以及 Leung 等人^[7]提出以遺傳演算法作為最佳化設計的整體性搜尋，加上利用類神經網路進行分類，以加快遺傳演算法的搜尋速度。Liu、Wang 以及 Raich 等人^[8]提出改良的遺傳演算法，使得遺傳演算法的收斂速度加快。Nakanishi^[9]提出以異型同體（homology groups）方法和遺傳演算法的組合，用來避免因編碼出現有限元素法（finite element methods, FEM）而無法分析的問題。Chapman 等人^[10]將運算區域先以較粗略的網格作運算，在將其分割成四部分，每個部分分別以較細的網格作運算，可以有效的節省演化時間。

近年來有許多學者提出了不同的遺傳演算法架構^[11]，遺傳演算法在其演進方面約略可整理如圖 1.1 所示，在圖 1.1 中遺傳演算法在其演進方面大致整理成簡易基因演算法、簡潔型基因演算法、符號式基因演算法、實數型基因演算法、菁英政策基因演算法、改良式基因演算法，以及混合式基因演算法等 7 種演算法，以下本書將依序介紹這幾種演算法的演進：

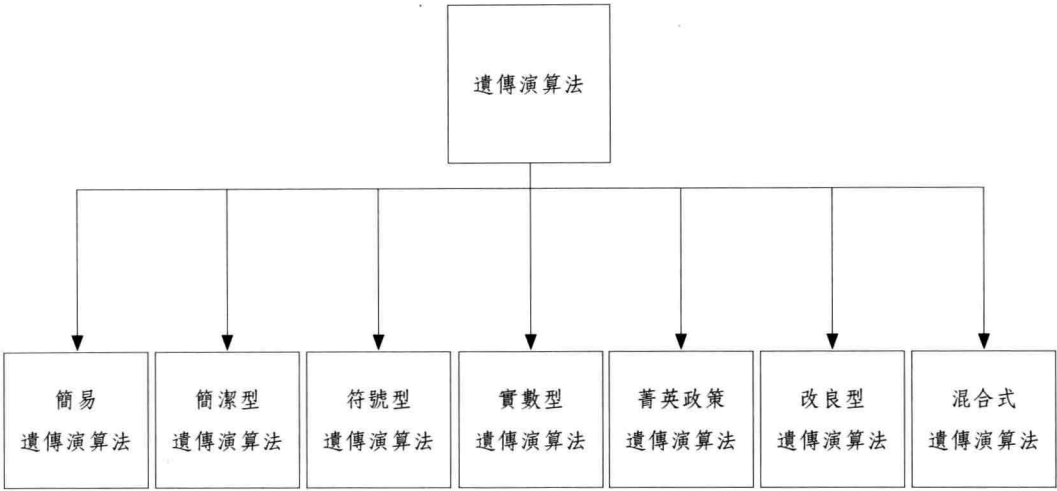


圖 1.1 遺傳演算法演進分類圖

簡易遺傳演算法（simple genetic algorithms）

簡易基因演算法^{[12]-[14]}所組成的群體是由二進位編碼所組成，亦即需要將所有的問題利用二進位的型式表示，其演化架構依序為演化停止法則的制定、複製運算、交配運算，以及突變運算等利用基因運算子演化而產生新的子代，而在運算時尚須經過對群體中的元素編碼以及解碼的過程。

簡潔型遺傳演算法（compact genetic algorithms）

簡潔型遺傳演算法^[15]主要是將群體以二進位方式編碼，而在每個基因值上加入一個機率函數，透過使用機率函數的計算求得群體的基因收斂值進而達到精簡群體的目的。

符號型遺傳演算法（symbol genetic algorithms）

這種基因演算法的架構主要是針對所欲處理的問題特性予以編碼（coding），主要是用來代替以二進位編碼表達問題的方式。例如：求解推銷員旅行問題（traveling salesman problem）時，需要使用符號編碼來表示不同的城市^{[16][17]}。和二進位編碼一樣，在運算時也須對群體中的元素編碼以及解碼。

實數型遺傳演算法 (real-code genetic algorithms)

在經過二進位型遺傳演算法以及符號型遺傳演算法後，為了減低在實作遺傳演算法時需要經過編碼以及解碼的步驟，有學者進行實數型遺傳演算法的研究 [18]-[20]，主要的改變就是將群體的基因以實數方式進行編碼，透過這樣的做法可以減少演化時所需編解碼的步驟，而這個類型的遺傳演算法也是目前使用最多的演算法。

菁英政策遺傳演算法 (elitism strategy genetic algorithms)

這種遺傳演算的流程採取了保存菁英政策，也就是在每一世代的群體中保留表現較佳的個體進行演化。由於在經過交配以及突變的運算後其群體中的結構可能會被改變或破壞，這樣的情況下群體中較佳的個體可能會無法生存至下一代，因此菁英政策遺傳演算法的流程會保留每一世代群體中較佳的個體。例如 Wang^[21] 利用菁英政策遺傳演算法探討在非等效平行機台 (unrelated machine) 之排程問題，且求解效果良好，可使完工時間縮短，並協助管理者執行排程。

改良式遺傳演算法 (improvement genetic algorithms)

改良式基因演算法 [22]-[25]，可以分為很多的層面的改良，例如群體架構的修改、交配機制的修改，以及突變機制的修改……等，主要的目的是希望透過演算法架構的修改增進演化的效能。

混合式遺傳演算法 (hybrid genetic algorithms)

混合式基因演算法 [26]-[28] 是目前研究的趨勢，主要是因為遺傳演算法為群體多點同步的搜尋法，所以收斂性較慢，一般傳統上都是利用基因突變的方式來突破局部最佳解。而混合式基因演算法是結合基因演算法與其它局部搜尋 (local search) 之功能，用以跳脫局部最佳解 (local optima solution)，使結果接近全域最佳解 (global optima solution)。例如 Wu 等 [29] 在 2006 年提出利用資料探勘的方法增加基因演算法的兩個步驟：DNA 植入以及 DNA 採掘增強局部搜尋的能力，以提升演化效率。

1.2 | 遺傳演算法定義

遺傳演算法或稱基因演算法（**genetic algorithm**）主要是透過模擬自然界生物的進化過程來達到求解問題的人工智慧方法。其主要的組成元素有基因、染色體、族群以及適應函數（**fitness function**，也就是模擬達爾文進化論中的「天擇」部分）。簡單來說遺傳演算法就是透過遺傳的方式在目前這一代的染色體中找到較佳的染色體進行演化，使得下一代的染色體能更佳的適應環境的過程，而同一演化世代中的染色體進行演化以適應環境的行為也就是所謂的學習行為。所以遺傳演算法可以說是一種嘗試錯誤、選擇優良後代，以及淘汰較差母代的尋優過程。

遺傳演算法根據其組成元素可以分為：基本元素—基因、基因的集合—染色體、染色體所組成的集合—族群，以及染色體進化的依據—適應值。這些基本組成元素是遺傳演算法中最重要的部分。在以下的章節中本書將針對各項元素分別介紹之。

1.2.1 遺傳演算法的基本元素——基因

在遺傳演算法中最基本的元素為基因（**gene**），基因是遺傳演算法中最基本的運算元。在進行遺傳演算法時最重要的事就是決定個體的編碼方式，而基因就是最基本的編碼單位，換言之就是將所欲處理的問題予以編碼成基因型式。在生物界中基因為組成染色體的基本單元，而其中的 **DNA** 是具有遺傳的物質，**DNA** 是由 **ATGC** 四種核酸鹼基所構成的序列。講到 **DNA** 的序列，可能就會讓很多讀者望而卻步，因為 **DNA** 的組成是相當複雜的，所幸在遺傳演算法中，只需要了解基因為組成染色體的基本單元即可，所以在實作時並不需要考慮到 **DNA** 的組成以及生物學方面的知識。

一般來說基因編碼型式在遺傳演算法是非常重要的，因為這是設計遺傳演算法的第一步，所以必須根據所需解決問題的類型來決定編碼形式，一般而言，基因編碼形式可以分實數編碼形式、二進位編碼形式，以及符號編碼形

式，分別說明如下：

實數編碼形式

由於其較為直觀所以是最常使用且最方便的編碼形式^{[18]-[20]}，實數編碼形式顧名思義就是將基因以實數型態表示，如圖 1.2 所示即為實數型基因的編碼，在圖 1.2 中基因位置 1，2，3，分別對應實數編碼的 35.77，11.57，11.36。

基因位置	1	2	3
基因數值	35.77	11.57	11.36

圖 1.2 實數型基因編碼

二進位編碼形式

圖 1.3 中為二進位基因編碼方式^{[12]-[14]}，在圖 1.3 中，每 3 個位元代表一個數值，如基因位置 1 代表實數 7，而基因位置 2 代表實數 5。在二進位的基因編碼方式下，衡量基因效能時須進行二進位元的解碼，解碼的方式則依據編碼的反轉換進行，例如在圖 1.3 中，將基因位置 1 的 111 轉換成實數的 7。

代表數值	7	5	4
基因位置	1	2	3
基因數值	111	101	100

圖 1.3 二進位型基因編碼

符號編碼形式

最後一個基因編碼方式為符號編碼形式^{[16][17]}，也就是將基因以特殊符號來進行編碼，符號的定義主要是依據問題來決定。圖 1.4 是符號編碼的例子，基因位置 1，2，3 分別對應符號變數 A，E，C。