

以模糊理論結合遺傳演算法應用於 水庫防洪操作之最佳化研究

A Research of Optimization of Reservoir Flood Control Using Fuzzy Theory and Genetic Algorithms

中華大學土木工程學系副教授

中華大學土木工程學系研究生

中華大學土木工程學系研究生

陳 莉

蔡宗志

江柏寬

Li Chen

Tsai Tsung Chih

Po Kuan Chiang

摘 要

本研究主要以模糊理論結合遺傳演算法發展出一套水庫防洪操作系統。由於模糊理論不同於傳統精確數學的「二值邏輯」，故能表現出程度上的差異，因此極適合應用於表現水庫之防洪操作。研究中使用人工智慧領域中之「遺傳演算法」同時優選水庫之模糊規則參數及從屬函數圖形之參數，而達到使模糊系統性能最佳化。研究中並假設一個水庫實例進行測試，結果能有效的降低洪峰流量及平緩水庫水位的變化，顯示本模式將可為水庫即時之防洪操作提供一個有效的判斷依據，更可作為水庫操作人員一項有力的決策支援工具。

關鍵詞：模糊理論，遺傳演算法，從屬函數。

ABSTRACT

This approach focuses on the system of reservoir flood control combining fuzzy theory and genetic algorithms. Fuzzy theory provides gradual characteristic that can consider degree of difference. Therefore, it can be applied to the reservoir of flood control operating suitably. The research will use genetic algorithms to search the optimal parameters of fuzzy theory rules and appropriate membership function at the same time. By means of testing a assumed example, it demonstrates that this model is a very effective real-time operation system and can be provided managers with a decision making judgment.

Keywords: Genetic algorithms, Fuzzy theory, Membership function.

一、前言

目前台灣地區水庫所使用之洪水調節操作，為定率定量放流或不定率調節放流等方式，當洪水來臨時，需由一些有經驗的水庫操人員依照法定之水庫防洪操作規則來操作放水，但一般而言人為的操作都趨向保守，且法定操作規則的訂定時間也多已年代久遠，沒有做一個適度的修改。因此本研究提出一套新的防洪操作方法，將應用人工智慧領域中的模糊理論(Fuzzy Theory)結合遺傳演算法(Genetic Algorithms)來發展一套新的防洪操作方法(張斐章，陳莉，1993)。首先用遺傳演算法優選一些防洪操作規則中的參數(陳莉，1995)，其中除考量使洪峰降到最低外，亦須考慮未來之用水量。故本研究之目標函數包含了兩大項目：第一為使洪峰消減量達到最多，第二要使最終蓄水量儘量接近初始蓄水量。

由於水庫在實際操作上有很多水文上的不明確性與模糊地帶，故對於防洪的運轉操作將產生一定的障礙。因此藉由模糊理論建立水庫防洪的操作規則並結合遺傳演算法優選的特性，並以 Visual-Basic 程式撰寫一套完整性的水庫即時防洪操作模式，將可供決策者作判斷及輔助參考。

二、文獻回顧

模糊的概念自 1965 提出後，在各領域中已廣泛被應用且獲致相當的成果。各國在模糊理論的研究上皆不遺餘力，首先英國的 Mamdani 為模糊控制之肇始；德國的 Zimmermann 則專心致力於決策系統；日本有 Sugeno、Yasunobu、Miyamoto、Ihara 之模糊建模；中國大陸於 1980's 年代中期，即致力於模糊理論拓展方面的研究：1990 年，大陸學者陳守煜提出多階段多目標決策系統模糊優選原理，運用於複雜系統中的方案優選，並提供了多目標系統新的決策方式(陳守煜，1990)。1992 年陳守煜和周惠成提出具有模糊限制條件的多階段多目標系統之模糊優化理論(陳守煜，1992)。1993 年王本德與張力將此模糊發展理論應用在水庫洪水模糊優化操作(王本德，張力，1993)。

目前國內應用模糊理論於水資源的相關論文有：1990 年張斐章與徐國麟利用模糊集理論推估河川流量(張斐章，徐國麟，1990)；1993 年張斐章、黃源義和梁晉銘之模糊推論模式之建立及其應用於水文系統之研究(張斐章，黃源義，梁晉銘，1993)。1994 年黃文政、吳健民和謝宏志提出以模糊聚類法反應水文資料間的相似特性研究(黃文政，吳健民，謝宏志，1994)。1995 年張斐章、黃金鐸與王文清運用模糊序率動態規劃於水庫操作之研究(張斐章，黃金鐸，王文清，1995)。1997 年惠士奇之灰色模糊序率動態規劃於水庫操作之應用(惠士奇，1997)。1998 年許榮哲之灰色模糊動態規劃於水庫即時操作之應用(許榮哲，1998)。以及 1999 年向子菁撰智慧型控制理論於水庫操作決策之研究(向子菁，1999)等。

而遺傳演算法由於能夠順利解決大部份傳統的解析與數值的最佳化技術所難以求解的非連續或不可微分、以及非凸、多峰的函數最佳化問題(Holland, 1968; Holland, 1975; Goldberg, 1989)。因此遺傳演算法可廣泛地被各領域所接受，如工程類(電機工程、土木工程、機械工程)與管理類(資訊管理、財務管理、工業管理)等。

遺傳演算法在國外有關於水資源的研究論文有：Goldberg 和 Kuo 於 1987 首次應用 GAs 在水資源問題上，他們應用 GAs 解決了一個管渠最佳化的問題(Goldberg, 1989)。East 和 Hall 於 1994 年應用 GAs 在四個水庫資源上，他們推斷出 GAs 在水資源最佳化具有潛力，並且它能顯著地節省搜尋記憶體及執行時間(East and Hall, 1994)。Oliveira 和 Loucks 於 1997 年使用 GAs 發展多水庫操作系統方針，且推斷出 GAs 是一個有實用價值且強健的方法，而 GAs 更可引領有效率的策略(Oliveira and Loucks, 1997)。Chang 和 Chen 於 1998 年應用實數編碼的 GAs 於水庫防洪規線管理，結果顯示實數編碼比二進位編碼更具效率與精確(Chang and Chen, 1998)。一個 GAs 的概要回顧可由 Wardlaw 和 Sharif 的成果看出(Wardlaw and Sharif, 1999)。最近 Wardlaw 和 Sharif 於 2000 年發表以 GAs

最佳化多水庫系統，他們與間斷微分動態規劃(DDDP)比較，顯示了 GAs 非常接近最佳效果且方法強健(Wardlaw and Sharif, 2000)。

國內應用遺傳演算法於水資源工程的相關論文報告有：Wang 於 1991 年應用於降雨入滲模式的參數檢定(Wang, 1991)；王寧本於 1996 年運用於推估洪水出流歷線(王寧本, 1996)；張斐章與陳莉於 1993 年將 GAs 應用於水庫防洪操作中參數之優選，可有效降低洪峰並使水庫蓄水平緩變化(陳莉, 張斐章, 1993)；陳莉於 1995 年以 C++物件導向程式撰寫模擬石門水庫操作之模擬模式，並以 GAs 優選石門水庫之運轉規線，使該區之缺水情況得以舒緩，並提高水資源利用效率(陳莉, 1995)；陳莉於 1998 年以遺傳演算法優選翡翠水庫運用規線之研究(陳莉, 1998)。由上述 GAs 之相關研究均證明遺傳演算法在求解最佳化問題上頗具效率。

三、模糊理論

3.1 模糊理論之概述

模糊理論(Fuzzy Theory)是為了解決真實世界中普遍存在的模糊現象所發展出的一門學問，是由美國電子控制專家 Zadeh 於 1965 年所提出的一種將模糊概念(vague concept)量化的表達工具，可用來表達無法明確定義的模糊性概念。此與傳統精確數學最大的不同點在於模糊理論於判斷邏輯及集合論中，具有多值邏輯及富有模糊性的過渡集合論，而傳統精確數學則為二值邏輯，即強調「非此即彼」的關係，要麼「屬於」、要麼「不屬於」，兩者必居其一，且僅居其一。

此理論經由多年的辯證，近年來以被學術界廣為利用及研究。現今這項理論已被成功運用於人工智慧、自動控制、圖像識別、醫療診斷、心理學、決策支援、管理科學、環境評估等領域中，且已有豐碩且成功的發展。簡單來說，模糊理論是以近似人類語言所描述出來的控制法則，使用電腦設備執行模糊推論，並配合適當的介面達到控制的目的。換言之，對於系統而言就是以定性的操作法則來取代精細描述的數學式，系統經回授方式，幾經反覆修正，得到所要求之結果。

3.2 模糊理論之演算架構

1. 相關專有名詞介紹

模糊理論實際上是以模糊集合為基礎，基本精神係接受模糊性現象存在的事實，在應用上則偏重於人類經驗及對問題特性的掌握程度。其相關之專有名詞有：

(1) 模糊集合(Fuzzy Set)

乃是模糊變數(X)被劃分為若干區段時，各區所對應之非統集合，它允許不同區段(模糊子集)同時容納(重疊)相同模糊變數之情況發生，而且每一模糊子集，均賦予一從屬函數來對應。

(2) 從屬函數(Membership Function)

從屬函數係反應某一事物具不確定性之大小，其強度最強訂為 1、最弱訂為 0，又可稱之為模糊分佈。

(3) 模糊邏輯(Fuzzy Logic)

邏輯是一門研究推理規則的科學，將之建構於模糊集合理論之上的邏輯系統稱為模糊邏輯系統。其提供一個近似推論(approximate reasoning)的方式，處理自然語言中語意不明的模糊命題，其採用模糊集合來表示具模糊特性之意義。

模糊邏輯常以交集(and)或聯集(or)之運算以形成複合之命題。其中，and 在模糊集合運算中表「交集(\cap)」，在從屬函數運算中「取小」，記為「 \wedge 」；而 or 在模糊集合運算中表「聯集(\cup)」，在從屬函數運算中「取大」，記為「 \vee 」。

2. 模糊理論之演算架構

模糊推理系統大致可分為四大部分，模糊化(Fuzzification)、模糊規則庫(Fuzzy Rule Base)、模糊推理機(Fuzzy Inference Engine)、去模糊化(Defuzzification)。其模糊推理系統如圖 1 所示。以下分別探討四大部分：

(1) 模糊化

其功能為接受由受控體傳回來的狀態變數(State Variables)，再將收到的資料映射至對應的模糊空間上，即將數字化為口語項。這部分是進入模糊控制的第一道關卡，任何輸入都要先經過這道模糊化的過程。其主要原因在於控制規則

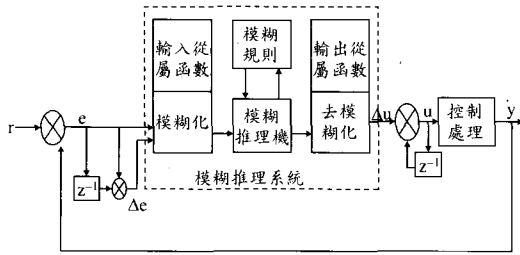


圖 1 模糊推理系統圖

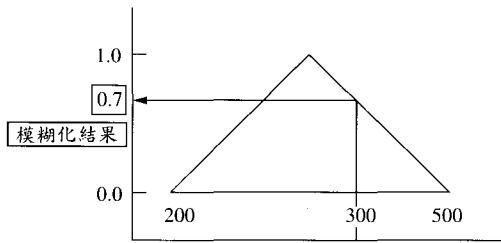


圖 2 模糊化過程圖

是以口語形式寫成，所以在運算時，自然也與口語形式計算，故必須先轉換成語意邏輯形式，才得以透過模糊推論求得解答。

在模糊化的過程中，通常以從屬函數代表一個數字經過模糊化的結果，如圖 2 所示。其輸入之 X 為一明確值，它與事先定義好的模糊集合從屬函數進行交集運算，得到 $\mu = 0.7$ ，此即為模糊化之結果。

(2) 模糊規則庫

通常含有資料庫 (Data Base) 和模糊語言控制規則 (Fuzzy Linguistic Control Rule Base)，因此又可以稱為知識資料庫 (Knowledge Base)，其功能有：

- A. 儲存必要的變數資料，使得模糊推理系統能夠判定輸入變數在模糊集合的定義，也就是說存放如何將明確集合的資料轉換為模糊集合的數值，亦即轉換為從屬函數。
- B. 在資料庫中，存放以口語形式寫成的控制規則，當系統決定好使用的輸入輸出變數後，即可根據變數間的關係，設計控制規則。

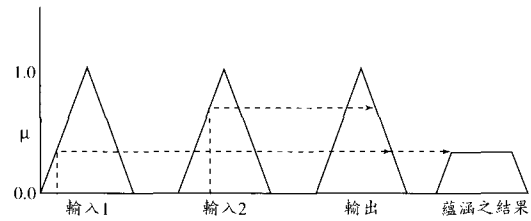


圖 3 模糊推理過程圖

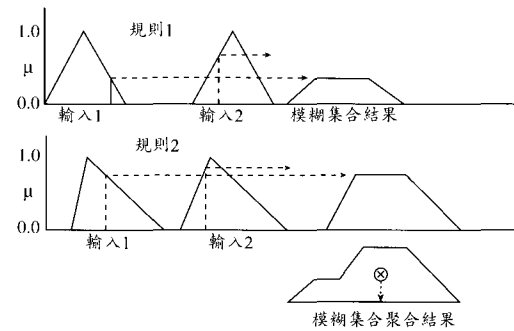


圖 4 去模糊化過程圖

(3) 模糊推理機

是模糊推理系統的決策中心，也是最重要的核心，用來作決策邏輯之推算，它是模擬人類思考模式而設計。

當進行模糊推論時，主要是取其兩相關從屬函數圖形之交集，常用「取小法」或「乘法」來計算彼此的關係。而本文中乃採用「取小法」進行模糊推論工作，如圖 3 所示。

(4) 去模糊化

其功能為把模糊推理機所推算出之結果轉為數字，而不再為口語項，最後再將得出的數字，映射到適當的值域。

去模糊化的方法有很多，各具有不同的特性，常見方法有：

重心法 (Center of Area method)、總和重心法 (Center of Sums method)、高度法 (Height method)、最大最小法 (Max-Min method)。

本文是採用重心法，其方法為推求圖中多邊形面積的重心，其重心所對應的明確值就是去模糊化後的輸出值，其推求方法如圖 4 所示。

表 1 函數複製表

字串編號	初始群集	十進位 x 值	$F(x)=x^2$ 目標值	$F(x) / \text{Sum } f(x)$ 適合度	選中次數 (輪盤法)
1	1011	11	121	0.28	1
2	1110	14	196	0.47	2
3	0010	2	4	0.01	0
4	1010	10	100	0.24	1
Sum f(x)			421	1	4

四、遺傳演算法

4.1 遺傳演算法之概述

遺傳演算法(Genetic Algorithms, GAs)是由 John Holland 與其密西根大學的學生、同事在 1960~1970 年時所提出，觀念源自達爾文演化論中「物競天擇，適者生存」的道理，因此符合自然系統裡的調適與革新現象。這種學習系統是一種模擬群集遺傳與適應者生存的過程(張斐章, 陳莉, 1993; 陳莉, 1995)。每次由舊的族群中得到較好的物種(字串)，並隨機性地交換彼此資訊，以期產生優良的下一代。個體所繁殖的子代經由複製(reproduction)和交配(crossover)等機制，來承傳其親代(parents)的特徵。但是在遺傳的過程中，也有可能產生與親代不同的變異(variation)，也就是所謂的突變(mutation)，此舉將導致新物種的產生。遺傳演算法即是根據上述的論點，對既定的問題求得最佳解，或是在不斷變遷的環境中調整系統使其能愈來愈逼近最佳解。因此利用此種演算法，可以找到近似解或甚至就是最佳解。

遺傳演算法目前已廣泛應用於科學與工程領域，主要包括最佳化問題、自動進化程式與機器學習方面。尤其是最佳化在土木水利工程上非常重要，但真實世界情況裡，目標函數與限制式經常不是解析式，而是以模擬模式來完成，例如模擬水庫的操作。傳統的方法諸如線性規劃(LP)與非線性規劃(NLP)常需將原始問題予以簡化，最主要的缺點在於因過分的簡化使問題失真，故推動了如遺傳演算法之類的新搜尋方式的發展。

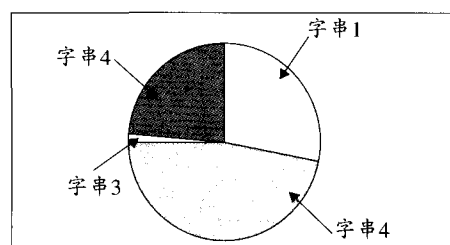


圖 5 複製輪盤圖

4.2 遺傳演算法之演算架構

1. 基本運算元及相關專有名詞介紹

(1)複製(reproduction)或選擇(selection)

複製是一種個體字串依照其目標函數值 $F(x)$ (生物學家稱此函數為“適合度函數”)來產生的程序，而依照適合度函數值來產生是指具較高值的字串有較多的機會來產生下一代的子代個體，最簡單的方法是製造一個“偏態的”輪盤(biased roulette)。如表 1 之函數複製及圖 5 的複製輪盤圖所示。

(2)交換(crossover)或重組(recombination)

主要可使子代經由親代雙方染色體的互換組合而成，在搜尋的過程中使能產生新的個體。使用二位元編碼時，通常用的方法稱為一點(one-point)式的交換，過程是將雙親的染色體分開成左右次染色體(sub-chromosome)，使雙親的左邊次染色體長度相等，且右邊次染色體長度也相等，然後每個子代從一個親代獲得左邊次染色體再從另一個親代獲得右邊次染色體，其中分開的位置(在兩個連續的基因之間)稱為交換點，舉例：若親代染色體為 011 10010 與 100 01110 且交換點在位元 3 與 4 之間(位元是從左數到右，

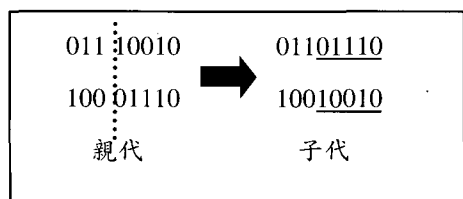


圖 6 一點式交換圖

始於 1)，則子代為 011 01110 與 100 10010。如圖 6 所示。

(3) 交換機率 (crossover probability)

交換機率是指每一個個體或字串，當其被挑選為親代個體時，決定是否要進行交配運算的機率。一般而言，交換率越高，則新物種進入族群的速度越快，整個搜尋最佳值的速度也越快。

交換機率的範圍在 0~1 之間。根據文獻及相關研究，一般將交換率設定在 0.4~0.9 之間，其相關文獻整理如下：

1. 陳國良等(1999)建議交換率定為 0.25~1.0 之間。
2. Thierens(1995)建議在使用競爭選取法時，交換率應有上限，如下式所示。

$$P_c \leq \frac{(S-1)}{S} \quad S: \text{在競爭選法時，進行競爭的字串個數。}$$

3. Goldberg(1989)則認為由 De Jong 一連串的研究結果顯示，交換率定為 0.6 可得到不錯的結果。
4. Grefenstette(1986)建議交換率定為 0.75~0.95 之間。
5. Mercer (1977) 建議交換率可定為 1.0。

※ 交換率愈高（例如設定為 1），雖然搜尋最佳值的速度也愈快，但當碰到較佳解出現時，卻也會因交換率的緣故而破壞掉。因此一般交換率多會設定小於 1。

(4) 突變(mutation)

突變是指以很小的機率 P_m 隨機的改變某個字串位置上的值，使之突變成另一個值。若為二位元編碼，即把 1 變成 0 或相反，以功能而言此運算元可防止基因的偏移(genetic drift)所致的

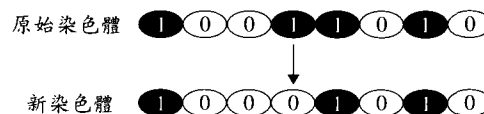


圖 7 第四個位元突變

過早的收斂(premature convergence)，而無法獲得整體最佳解。圖 7 為第四個位元突變。

(5) 突變機率(mutation probability)

突變機率是指當交換後產生的子代，可能產生變異的機率，其最主要的目的在於避免基因落入局部的最佳解。

(6) 群集大小(population size)

群體大小就是群體中個體(individuals)的總數，也就是編碼後字串的總數。一般而言遺傳演算法是從這一代繁衍至下一代，而在每一代通常都維持一定大小的群體數目。

(7) 字串長度(bit length)

字串長度是對每一變數編碼後的字串所具有的位元個數，當以二位元編碼時，其長度即為位元個數（變數個數 × 每個變數的位元數）。

(8) 尺度調整 (Scaling)

尺度調整是為了使每一代字串保持適當的競爭能力。若沒有尺度的調整，於早期的運算過程中可能會因為一些表現較好的字串支配選擇複製的程序，此時必須將目標函數尺度縮小，以避免整個群集都被這些非常好的字串所佔據。當群集大部分都已收斂時，每個字串的優劣將顯得十分接近而不明顯，因此藉由放大目標函數尺度，將使字串間的差異程度能適度的顯現，而繼續朝向最佳化的表現。

(9) 精英(Elitist)策略

改進遺傳演算法的結果可藉由針對現存的群集中最好或最壞的個體做某種特殊的處理，包括永遠保留到目前為止最佳的個體，或相反的，在新生成的個體中有系統的來取代原有最差的 (DeJong, 1993)。

2. 遺傳演算法中常見的二位元編碼法 (binary coding)

通常應用遺傳演算法於實數參數的問題

時，是將每個參數以標準的二位元碼編排成一個位元字串(bit string)，若某個體(individual) A 是以固定長度 L 的位元字串來表示，則 $A \in B^L$ 而 $B=\{0, 1\}$ 。許多參數的位元字串連結在一起而成爲一個單獨的位元字串(或稱“染色體”(chromosome))，代表著整個的參數向量，在生物學的術語上，每一位元的位置即對應於染色體上的一個“基因”(gene)，而每一位元的值則對應於一個“對偶基因”(allele)。如果一單獨參數 X_i 有下限 a_i 與上限 b_i ，則用 L 個二位元將 x_i 編碼的標準方法是使實數 $a_i + k(\frac{b_i - a_i}{2^L})$ 對應於標準

的二位元碼，其中 k 爲整數且 $0 \leq k \leq 2^L$ 。

其中各變數，

X：位元字串經映射後所求得之參數值

A：參數值中之下限值

B：參數值中之上限值

K：字串經解碼後所求得之十進位整數值

L：字串之位元長度

3. 遺傳演算法之演算架構

在遺傳的程序裡，一個群集受制於周遭環境所能提供的狀況，適應力好的成員將被選擇爲配對與複製，通常表現較好的後代是由優良的親代雙方遺傳而來，在第二代中適應力良好的成員又被選來進行配對及複製，這種革新競爭性的循環一直持續下去，表現不佳的將被淘汰而不留下後代，表現優良的產生更好的後代，繼續一代繁衍一代，在經過數代之後，存活的群集便是非常適於環境的 (Patterson, 1990)。

對於一個問題的解答，要使用遺傳演算法，必須具備以下五個項目 (Davis, 1987; 陳莉, 1995)：

1. 開始以隨機方式產生具 n 個 L 位元的染色體之群集(問題的候選解)。
2. 計算問題中每一個染色體 x 的適合度 f(x)。
3. 重複以下的步驟直到 n 個後代全部產生：
 - a. 在現有的群集中選擇一對親代染色體，選擇的機率是根據適合度的遞增函數，採用取代式選擇方式，相同的染色體可能被選擇當親代超過一次。

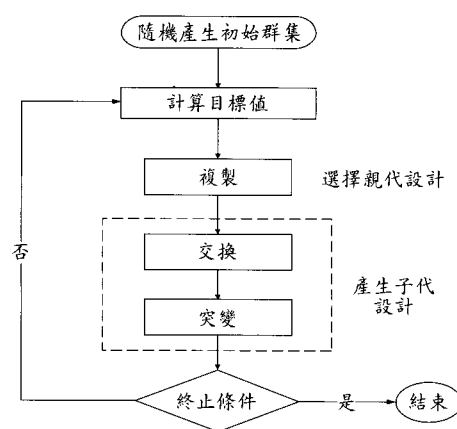


圖 8 遺傳演算流程圖

- b. 以 P_c (交換率)使一對親代隨機的選擇位置來交換，以形成兩個子代；若無交換的話，所形成的兩個子代則完全由其親代複製而來。
- c. 突變是以 P_m (突變率)使兩個子代在任一位置改變其值。

4. 以新的群集取代現有的群集

5. 重複進行步驟 2。

經過多代的演算後可望得到較佳的解，直到收斂至逼近整體最佳解且不再跳動，始可終止。整個遺傳演算法的演算流程如圖 8 所示。

五、模式之建立與驗證

5.1 模式之概述

一般而言，當洪水來臨時水庫的防洪操作最常見之情形爲在一端得到入流量的資料，由水庫資深操作人員以水庫所訂定運轉規則，而在另一端控制閘門洩水或流出溢洪道。本研究基於水庫在緊急即時操作決定放水量時存在許多模糊因素，所以以模糊推理方式來處理上述所遭遇的問題，並結合遺傳演算法以優選模糊規則中之最佳參數與最佳的從屬函數組合，進而建立一水庫防洪操作之系統。本研究利用一假設的簡化水庫爲一應用實例，其主要內容如下：(Kojiri and Ikebuchi, 1988)

水庫最大容量爲 10 (百萬立方公尺)

設計最大洪水量 2800 (每秒立方公尺)

在氣象局預測颱風或暴雨即將來臨時開始進行防洪操作措施：首先以逐時(每一小時)的觀測入流洪水量配合水庫本身蓄水量，由這兩項數據做運算求得水庫每一小時應要的放水量與每一小時水庫的蓄水量，最後再推求出水庫最終的蓄水量，以驗證是否有符合水庫防洪操作的兩大主要目的：在將洪峰流量降低與使蓄水量的變化不要太過劇烈的變化的原則。

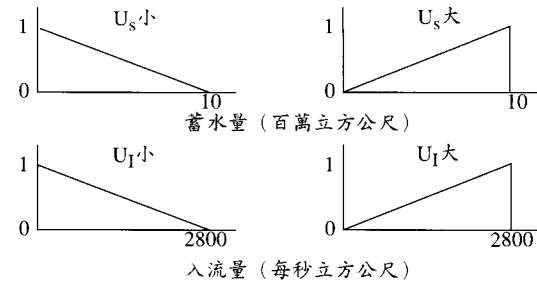


圖 9 模糊集合從屬函數圖

5.2 防洪操作規則之建立

本研究為解決水庫在即時防洪操作決定放水量時，所存在許多不確定的因素，乃繼續鑽研如何以模糊理論來制定水庫操作防洪系統知識庫的規則，為使知識庫的規則中的一些參數能快速達到最佳化，進而使整個系統更有時效性，故以遺傳演算法搜尋使防洪操作之目標函數值為最佳時的一組參數解。

首先我們以水庫的入流量、蓄水量、與放水量制定四條防洪操作規則，其中所包括未知的參數 a,b,c 及 d：

- (1) If 入流量(I_i)大 and 蓄水量(S_i)大, then 放水量 R_{1i}=a*(I_i)
- (2) If 入流量(I_i)小 and 蓄水量(S_i)大, then 放水量 R_{2i}=b*(I_i)
- (3) If 入流量(I_i)大 and 蓄水量(S_i)小, then 放水量 R_{3i}=c*(I_i)
- (4) If 入流量(I_i)小 and 蓄水量(S_i)小, then 放水量 R_{4i}=d*(I_i)

於實際水庫之運轉，上式規則之制定可根據專家的建議或大量之模擬方式求得，在水庫操作防洪系統的規則方面，模糊集合理論乃以一從屬函數(membership function)來描述一事件出現之關連程度，提供了對上列規則中「大」或「小」這類不明確的語意一個較適切的描述方式，在一 U 全集(universe)中之模糊集合 A，其特性以從屬函數 UA 來描述，其從屬函數值介於[0, 1]之間，即 UA：→[0, 1]，茲將洪水入流量與水庫蓄水量分別與"大"，"小"的相關程度以線性的模糊集合從屬函數，如圖 9 所示。最後再以遺傳演算法

來達到從屬函數的自動調整 W_i，並盡量尋找出使得模糊系統性能最佳的從屬函數組合。(Chang and Chen, 1998)

5-3 模糊推理程序

水庫操作防洪系統的模糊推理程序只需將當時觀測的洪水入流量與水庫蓄水量的數值經由從屬函數獲知分別與 "大" 或 "小" 的從屬度，再與四條操作規則的 If 條件敘述部分一一的比對，即可得到 4 個不同的權重係數 W_i(i=1,2,3,4)，方法為：

$$\text{Match Rule } i = \min(U_{S_i}, U_{I_i}) = W_i \quad (i=1,2,3,4) \dots (1)$$

式中，U_{S_i} 代表水庫蓄水量之從屬度

U_{I_i} 代表水庫入流量之從屬度

W_i 為權重係數

- (1) 由圖 9 計算從屬度(蓄水量 S = 5,000,000 立方公尺；入流量 I = 300 每秒立方公尺)

$$U_{S \text{ 大}} = 5000000 \times \left(\frac{1}{1000000} \right) = \frac{1}{2} = 0.5$$

$$U_{S \text{ 小}} = 1 - 5000000 \times \left(\frac{1}{1000000} \right) = \frac{1}{2} = 0.5$$

$$U_{I \text{ 大}} = 300 \times \left(\frac{1}{2800} \right) = \frac{3}{28} = 0.107$$

$$U_{I \text{ 小}} = 1 - 300 \times \left(\frac{1}{2800} \right) = \frac{25}{28} = 0.893$$

- (2) 其四條規則的權重係數決定如下：

$$\begin{aligned} \text{Match rule 1 : } & \min(U_s \text{ 大}, U_1 \text{ 大}) \\ & = \min(0.5, 0.107) = 0.107 = W_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Match rule 2 : } & \min(U_s \text{ 大}, U_1 \text{ 小}) \\ & = \min(0.5, 0.893) = 0.5 = W_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Match rule 3 : } & \min(U_s \text{ 小}, U_1 \text{ 大}) \\ & = \min(0.5, 0.107) = 0.107 = W_3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Match rule 4 : } & \min(U_s \text{ 小}, U_1 \text{ 小}) \\ & = \min(0.5, 0.893) = 0.5 = W_4 \end{aligned}$$

(3)最後再經不同權重的加權組成一真正的水庫放水量 R_t :

$$\begin{aligned} R_t &= \frac{\sum (W_i \times R_{it})}{\sum W_i} \\ &= \frac{W_1 R_{1t} + W_2 R_{2t} + W_3 R_{3t} + W_4 R_{4t}}{W_1 + W_2 + W_3 + W_4} \\ &= \frac{(a \times W_1 + b \times W_2 + c \times W_3 + d \times W_4) I_t}{W_1 + W_2 + W_3 + W_4} \\ &= \frac{(a \times 0.107 + b \times 0.5 + c \times 0.107 + d \times 0.5) \times 300}{0.107 + 0.5 + 0.107 + 0.5} \end{aligned}$$

由上式可推求水庫在 t 時的放水量 R_t ， $t+1$ 時的水庫蓄水量 S_{t+1} ，由平衡方程式得 $S_{t+1} = S_t + (I_t - R_t) \times 3600$ (立方公尺)，其中 t 的單位為小時。若假設水庫的初時蓄水量為 5 (百萬立方公尺) 且第一小時的洪水量為 300 (每秒立方公尺)，則放水後水庫蓄水量：

$$S_{t+1} = 5000000 + (300 - R_t) \times 3600$$

接下來每一小時水庫之放水量與蓄水量即可根據上述程序逐步的求得。

5.4 目標函數之確立

設定水庫防洪操作的目標函數包含兩大項目：第一項為使洪峰消減量達最多，訂為 $\text{Max}(I_p - R_p)$ ，第二項要使初始蓄水量儘量接近最終蓄水量，訂為 $\text{Min} | S_0 - S_n |$ 。在一般真實水庫大部分均有類似的考慮。合併上述兩項目使不同的單位正規化成為下式：

$$\text{Max } 3600(I_p - R_p) - | S_0 - S_n | \dots\dots\dots(2)$$

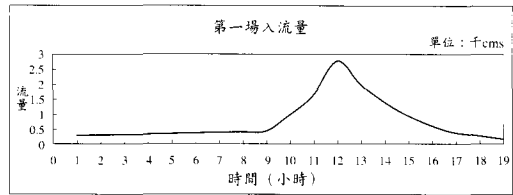


圖 10 第一場入流量

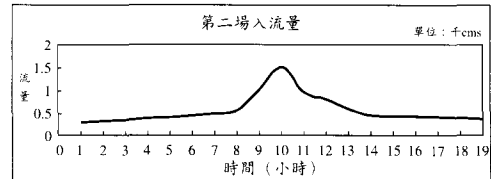


圖 11 第二場入流量

式中， I_p 為洪峰入流量

R_p 為放水量

S_n 為最終蓄水量

S_0 為初始蓄水量的尖峰

在其限制條件方面，所考慮的水庫容量限制式為每一時期的蓄水量皆不得超過水庫總容量亦不能低於空庫，即： $0 < S_t < 10$ (百萬立方公尺)。

5.5 模式之建立與測試

本研究利用遺傳演算法優選模糊規則參數及最佳之從屬圖形參數，並利用兩場大小不等的入流洪水量(如圖 10 及圖 11 所示)，配合三種初始蓄水情況 ($S_0=3$ 、5 及 7 百萬立方公尺)，共形成六種組合，其優選的結果在於使目標函數總和為最大，且當目標函不再隨著演化的代數跳動時，此時便已收斂至整體最佳解而可予以終止。

1. 單純以遺傳演算法優選模糊規則中之參數

在設定模糊規則之參數中，參數 a,b,c,d 之範圍均設定在 0 至 1.5 之間。研究中並依序將 a,b,c,d 四個參數編碼成一條字串，每個參數均佔有 4 個位元，故字串總長度為 $4 \times 4 = 16$ 。模糊規則中之參數值只需將四個解碼後的數值分別除以 10 即可。例如字串 1001010001101110 代表： $10 \times a = 1001 = 9$ ， $a = 0.9$ ； $10 \times b = 0100 = 4$ ， $b = 0.4$ ； $10 \times c = 0110 = 6$ ， $c = 0.6$ ； $10 \times d = 1110 = 14$ ， $d = 1.4$ 。優

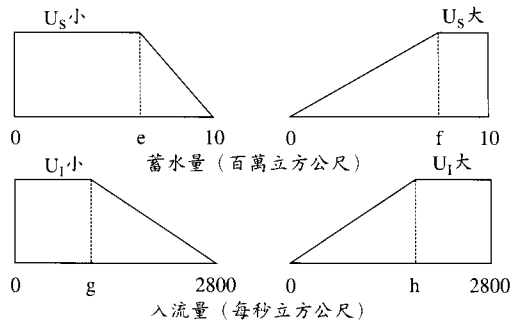


圖 12 從屬圖形參數設定圖

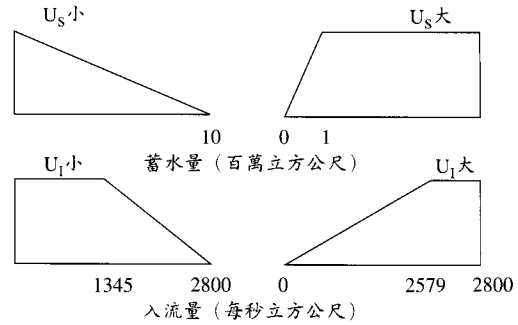


圖 13 最佳之從屬圖形參數圖

選的過程中並設定群集個數為 100、字串長度為 16，經複製、基因互換及突變的程序，演算至第 30 代後、目標函數值即不再跳動。所得之最佳目標函數值為 1,940.624，其對應之四個最佳模糊規則參數值分別為 0.7、1.5、0.6 和 1.0。研究中並與列舉式(全解)全搜尋法作比較，所得的結果亦為相同。

2. 以遺傳演算法同時優選模糊規則參數及最佳之從屬圖形參數

研究中並進一步探討從屬函數是否優良，故將從屬函數圖設定 e、f、g、h 四個參數並予以編碼，如圖 12 所示。參數 e、f 之範圍為 0 至 10(百萬立方公尺)；參數 g、h 之範圍為 0 至 2800 (每秒立方公尺)，其參數的編碼程序與方法均與前述相同。由於從屬函數的區間範圍較大，因此在參數位元數的設定上予以增加，使其能更快找到所有的最佳參數。所以將每一個參數增為 8 個位元，故此部份字串總長度為 $4 \times 8 = 32$ ，將來解碼轉的方法亦如前面所述。

研究中設定群集個數為 100，交換機率 $P_c = 0.9$ ，突變機率 $P_m = 0.01$ ，總字串長度為 48(模糊規則參數 16 位元及從屬圖形參數 32 位元)，經過複製、基因互換及突變的程序，演算至第 96 代後、目標函數值即保持不變，所得之目標函數值為 3,725.030，其對應之四個最佳模糊規則參數值分別為 0.9、1.5、0.18 及 0.72，而最佳之從屬圖形參數為 0、1、1345 及 2579，如圖 13 所示。其優選之演算結果整理如表 2 所示。

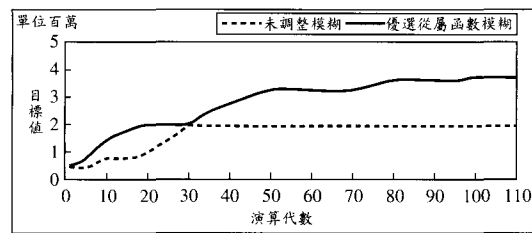


圖 14 單純以模糊規則參數及加入從屬圖形參數之優選比較圖

3. 結果之比較分析

在未加入從屬圖形參數之前，若只對模糊規則參數作優選，結果得到最大的目標函數值為 1,940,624，其優選出的最佳參數為 $a = 0.7$ 、 $b = 1.5$ 、 $c = 0.6$ 及 $d = 1$ 。本研究再加入從屬圖形參數一共八個參數、共 48 個位元(4 個模糊規則參數 16 位元加 4 個從屬圖形參數 32 位元)進行優選，結果所得的最大目標函數值為 37,250,030，其優選出的最佳參數為 $a = 0.9$ 、 $b = 1.5$ 、 $c = 0.18$ 、 $d = 0.7$ 、 $e = 0$ 、 $f = 1$ 、 $g = 1345$ 及 $h = 2579$ 。與原先藉由模糊規則求得之值 1,940,624 作一比較，其比較結果如圖 14 所示。由此可知當加入從屬圖形參數進行優選時，將可使整個模式的性能更為進步。

5.6 模式之視窗化

本研究模式以 Visual Basic 6.0 程式語言撰寫，並開發成一套防洪操作系統。此模式可在視窗環境下直接執行，使用者只需輸入水庫的總庫

表 2 遺傳演算法優選參數的結果

演算代數	最佳參數		目標函數
	模糊規則 (a、b、c、d)	從數函數 (e、f、g、h)	
1	0.9、1.4、 0.5、0.7	588235、901960、 1910、2547	470238
10	0.9、1.4、 0.5、0.7	2941176、901960、 1998、2547	1400928
20	0.8、1.4、 0.5、0.8	1137254、1960784、 1690、1910	1975888
30	1.1、1.5、0、 0.6	588235、2862745、 450、2591	2006312
40	1.1、1.5、0、 0.8	1529411、352941、 132、2635	3243710
50	1.1、1.5、0、 0.8	1529411、352941、 132、2635	3243710
90	1、1.5、0、 0.7	0、2549019、373、 2635	3612590
96	0.9、1.5、 0.18、0.7	0、1000345、1345、 2579	3725030
110	0.9、1.5、 0.18、0.7	0、1000345、1345、 2579	3725030

容量、設計洪水量、目前的洪水入流量及水庫蓄水量，即可推求建議的放水量及放水後的水庫蓄水量，以後只要逐時輸入觀測的洪水入流量與水庫蓄水量，即可獲得系統輸出的結果，直到洪水消退恢復平常為止。系統之主視窗圖如圖 15 所示。

六、結論與建議

- (1) 本研究以遺傳演算法 (GAs) 同時優選水庫防洪操作之模糊規則參數及從屬圖形參數，經 GAs 96 代的繁衍所求得之最佳目標函數值為 3,725,030。在相同的目標函數下，相較於單純以 GAs 優選模糊規則參數所求得之目標函數值 1,940,624 為佳。由此證明藉由加入從屬圖形參數的優選，修正本研究中模糊部分，將有助於目標函數值的提升。
- (2) 目前所使用之模糊推理從屬函數為一般性

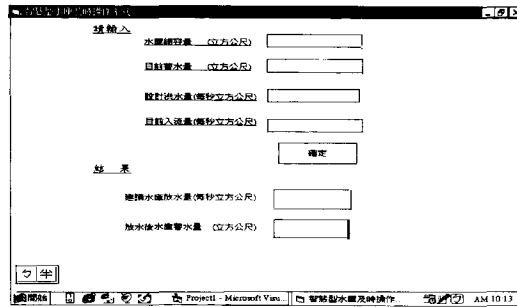


圖 15 水庫防洪操作系統主視窗圖

之線性型式，將來亦可探討複雜的非線性型式，如哥西分佈(Cauchy Distribution)或半哥西分佈(Semi-Cauchy Distribution)等，以期更一般化；更可將模糊規則加入除原來大、小兩種型式外再加入中型的型式，原本的模糊規則就變成 3*3=9 共九條規則，或利用階層式遺傳演算法 (Hierarchical GAs) 直接優選出最理想的規則個數。

- (3) 未來在編碼上除了二位元編碼外，也可進一步探討其他的編方式，如灰階、實數編碼等。複製除了按照目標函數值高低的比例外，也可採用排序或競爭的選取方法。交換方面也可嘗試選定兩點或均勻交換。而突變亦可假設任一發生機率，1/100 或 1/1000 是一般較常見的。以上三個主要運算的適當改進，將有助於 GAs 的收斂速度。
- (4) 本研究對於目標函數之設定，主要是為了使洪峰削減量 (水庫總入流量-水庫總放水量) 達到最大、而水庫的蓄水變化量達最小，研究中僅考慮二者同等重要，未來可應用多目標規劃方式求其柏拉圖最適曲線。
- (5) 傳統的防洪操作方法 (例如翡翠水庫)，是將入流量 (進水量) 分為幾個等級，洩洪時根據當時入流量的等級決定其放水量。而本研究模式是將防洪操作設定為四條規則，利用模糊推論及遺傳演算法的概念，找出足以代表蓄水量及入流量之大值與小值，並經由演算得到其放水量。

水庫的防洪運轉規則是經由水庫操作人

員、水利先進經由多年來的實務經驗及計算所制訂。而本模式目前只先考慮消滅洪峰量及蓄水量變化性兩個項目，未來再加入其他會影響水庫防洪操作的因子，模式將會更符合真實水庫現狀。

參考文獻

1. 王本德、張力「綜合利用水庫洪水模糊優化調度」，大陸水利學報第 1 期，1993。
2. 王寧本，「應用遺傳演算法建立推估洪水流出歷線模式之研究」，逢甲大學土木及水利工程研究所碩士論文，1996。
3. 向子菁，「智慧型控制理論於水庫操作決策之研究」，國立台灣大學農業工程研究所碩士論文，1999。
4. 陳守煜，「多階段多目標決策系統模糊優選理論及其運用」，大陸水利學報第 1 期，第 1~10 頁，1990。
5. 陳守煜、周惠成，「具模糊約束的多階段多目標系統之模糊優化理論與模型」，大陸水利學報第 2 期，第 29~36 頁，1992。
6. 陳莉，「以物件導向之遺傳演算法優選水庫運用規線之研究」，國立台灣大學農業工程研究所博士論文，1995。
7. 陳莉、蔡宗志、楊人傑、陳俊龍，「以遺傳演算法優選翡翠水庫運用規線之研究」，第九屆水利工程研討會，第 D93~102，1998。
8. 許榮哲，「灰色模糊動態規劃於水庫即時操作之應用」，國立台灣大學農業工程研究所碩士論文，1998。
9. 張斐章、陳莉，「模糊推論結合遺傳演算法於建立水庫及時操作專家系統之研究」，農業工程研討會，第 371~385 頁，1993。
10. 張斐章、陳莉，「遺傳演算法於專家系統中參數優選之研究」，農業工程學報，第 39 卷，第 2 期，第 1~12 頁，1993。
11. 張斐章、徐國麟，「利用模糊集理論推估河川流量」，農業工程學報，第 36 卷第 4 期，第 1~12 頁，1990。
12. 張斐章、黃源義、梁晉銘，「模糊推論模式之建立及其應用於水文系統之研究」，農業工程學報，第 39 卷第 1 期，第 71~83 頁，1993。
13. 張斐章、黃金鐸、王文清，「運用模糊序率動態規劃於水庫操作之研究」，台灣水利，第 43 卷第 4 期，1995 年。
14. 黃文政、吳健民、謝宏志，「以模糊聚類模式之應用」，第七屆水利工程研討會，1994。
15. 惠士奇，「灰色模糊序率動態規劃於水庫操作之應用」，國立台灣大學農業工程研究所碩士論文，1997。
16. 戴敏育，「應用遺傳演算法發展模糊預測之研究-以銷售預測為例」，淡江大學資訊管理研究所碩士論文，1995。
17. 陳國良、王煦法、庄鎮泉、王東昇，「遺傳演算法及其應用」，人民郵電出版社，1999。
18. Chang, F. J. and Chen, L., "Real-Coded Genetic Algorithm for Rule-Based Flood Control Reservoir management", *Water Resources Management* 12: pp.185-198, 1998.
19. Davis, L. (Ed.), "Genetic Algorithms and Simulated Annealing", 216, Pitman London, 1987.
20. DeJong, K.A., "Genetic Algorithms Are Not Function Optimizer", *Proceedings of the Fifth International Conference on Genetic Algorithms*, Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, 187-202, 1993.
21. Esat, v., and Hall, M. J., "Water resources system optimization using genetic algorithms", *Proc., 1st Int. Conf. On Hydroinformatics*, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, pp.225-231, 1994.
22. Goldberg, D. E., "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning", Addison-Wesley Publishing Company, INC., 1989.
23. Grefenstette, J. J., "optimization of control parameters for genetic algorithms", *IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics*, SMC-16(1), p.p. 122-128, 1986.

24. Holland, J. H., "Hierarchical Descriptions of Universal Spaces and Adaptive Systems", Technical Report ORA Projects 01252 and 08226, Ann Arbor: University of Michigan, Department of Computer and Communication Sciences, 1968.
25. Holland, J. H., "Adaptation in Natural and Artificial Systems", Ann Arbor: The University of Michigan Press, 1975.
26. Kojiri, T. and Ikebuchi, S., "Real-Time Operation of Dam Reservoir by Using Fuzzy Inference Theory", 6th Congress Asian and Pacific Regional Division International Association for Hydraulic Research, Kyoto, Japan, 20-22, July, pp.437-445, 1988.
27. Mercer, R. E., "Adaptive Search Using a Reproductive Meta-plan", Unpublished master's thesis, University of Alberta, Edmonton, 1977.
28. Oliveira, R., and Loucks, D.P., "Operating rules for multireservoir systems," Water Resource Research 33(4), pp.839-852, 1997.
29. Patterson, D. W., "Introduction to Artificial Intelligence and Expert Systems", PRENTECE-HALL.INC, 1990.
30. Sharif, M., and Wardlaw, R., "Multireservoir system optimization using genetic algorithms: case study", J. Comp. In Civ. Engrg., ASCE, 14(4), pp.255-263, 2000.
31. Thierens, D., "Analysis and Design of Genetic Algorithm", doctoral dissertation, Kathol. Univ. Leuven, Belgium, 1995.
32. Wang, Q. J., "The Genetic Algorithm and Its Application to Calibrating Conceptual Rainfall-Runoff Models", Water Resour. Res. 27(9), pp.2467-2471, 1991.
33. Wardlaw, R., and Sharif, M., "Evaluation of genetic algorithms for optimal reservoir system operation", J. Water Resour. Plng. And Mgmt., ASCE. 125(1), pp.25-33, 1999.

收稿日期：民國 90 年 8 月 1 日
 修正日期：民國 90 年 11 月 2 日
 接受日期：民國 90 年 11 月 20 日