

Design of Optimal Video-on-Demand Systems Using an Intelligent Multi-objective Evolutionary Algorithm

使用多目標演化式演算法設計最佳化隨選視訊系統

Shinn-Ying Ho^{a*}, Jian-Hung Chen^a, Che-Sheng Lin^a, Cheng-Chung Chu^b
(何信瑩) (陳建宏) (林哲生) (朱正忠)

^a Department of Information Engineering,
Feng Chia University, Taichung, Taiwan 407, R.O.C.

^b Department of Computer Science and Information Engineering,
Tung Hai University, Taichung, Taiwan 407, R.O.C.

*Corresponding Author: syho@fcu.edu.tw

摘要

本論文提出一套採用智慧型多目標演化式演算法 (Intelligent Multi-objective Evolutionary Algorithm, IMOEA) 來設計分散式的最佳化隨選視訊 (Video-on-Demand, VOD) 系統。本系統的設計可以處理具有大量的多媒體檔案的系統，並最佳化其下列三個目標：最小的儲存成本、最小的視訊傳輸負載和最佳的整體伺服器之儲存成本負載平衡。本研究問題在本質上轉換成一個大型的多目標最佳化問題。現有文獻大都只考慮個別或其中二項最佳化目標，並且無法有效地處理大量多媒體檔案。本文使用 IMOEA 可有效處理大型的多目標參數最佳化問題以得到一組高品質的不被支配解集合。同時最佳化儲存成本、傳輸負載和儲存成本的負載平衡，使得決策者擁有多組方案建置低成本、高效能的隨選視訊系統，可依喜好整合最佳的 VOD 系統。對於運行中的 VOD 系統也能依此解集合進行更新配置和提供擴充設備的建議。實驗分析的結果顯示 IMOEA 比現有方法 SPEA 能更有效解決此多目標最佳化問題，得到滿足三目標且高品質的一組不被支配解集合。

關鍵詞—隨選視訊系統、系統最佳化、基因演算法、視訊檔案配置、多目標最佳化。

Abstract

This paper proposes an efficient method to design optimal Video-on-Demand (VOD) systems using an Intelligent Multi-objective Evolutionary Algorithm (IMOEA). The VOD system can deal with a large number of multimedia files and has three objectives: to minimize the storage cost, to minimize the transmission load, and to balance the storage cost of the distributed servers. The investigated problem is formulated as a large multi-objective parameter optimization problem in essence. The

existing methods often consider one or two of the three objectives and cannot effectively cope with the large optimization problems. We use IMOEA which can efficiently solve large multi-objective parameter optimization problems to obtain a set of high-quality non-dominated solutions. The non-dominated solutions can provide the decision maker valuable information to design optimal VOD systems according to preference and suggestions to extend the existing devices. The experimental results show that IMOEA performs better than SPEA for solving the optimization problem and the obtained set of high-quality non-dominated solutions can achieve three objectives of the optimal VOD systems.

Keywords— Adaptive video-on-demand system, system optimization, genetic algorithms, video placement, multi-objective optimization.

一、導論

隨著高速網路和多媒體的發展，隨選視訊 (Video on Demand, VOD) 服務被認為是目前潮流的趨勢，如家庭娛樂，教育，家庭購物，互動遊戲等。為了提供大量且多變化的節目內容，數以千部的多媒體檔案會以 MPEG 的檔案格式儲存在伺服器裡面。一旦客戶發出需求，伺服器便會從磁碟選出指定的檔案，然後透過寬頻的網路傳送多媒體檔案給客戶以滿足其需求。

在分散式架構的系統之下，不一樣的多媒體檔案有著不一樣的被需求機率，於是檔案的複製與配置對於系統是個很重要的議題。因為它可能使得伺服器產生了不平衡的需求，於是提高了需求被阻隔的機率。Serpanos 等人 [9] 考慮了伺服器下列兩個要點：I/O 頻寬和儲存成本，並提出了 MMPacking 的演算法來達到傳輸負載平衡和儲存成本負載平衡。因為他們假設所有的多媒體檔案擁有一致的檔案大小 [7]，於是 Ma 等人 [7] 提出了一個

LSB_Placement 的階層式演算法來改良 MMPacking。它能針對不一致的檔案大小的多媒體檔案進行複製與配置。Tang 等人[11][12]提出一個基因演算法進行檔案配置的最佳化以達到最小化儲存成本和最小化傳輸負載。Hwang 等人[5][6]考慮階層式隨選視訊系統環境下的傳輸負載和儲存成本，提出一個能在低的需求阻隔率之下最小化傳輸和儲存成本的檔案配置方法。但是上述這些研究並沒有同時最佳化儲存成本、視訊傳輸負載和儲存成本負載平衡這三個目標。

為了能夠同時解決上述的多目標最佳化問題，以設計出一個最佳化的分散式隨選視訊系統。本論文同時考量了每台伺服器的儲存成本、伺服器的視訊傳輸負載和整體伺服器儲存成本的負載平衡，將這些問題整合成多目標最佳化數學問題。然後以智慧型多目標演化式演算法 (Intelligent Multi-objective Evolutionary Algorithm, IMOEA) 來同時解決最佳化視訊檔案的配置，以建置低成本、高效能的隨選視訊系統。並且對於運行中的 VOD 系統也能使用此方法進行更新配置或擴充建置。藉由實驗分析利用 IMOEA 建置隨選視訊系統帶來的效益，並且實驗結果顯示 IMOEA 比現有方法 SPEA 能更有效解決此多目標最佳化問題，得

到高品質的不被支配解集合。

本論文的組織如下所示：第二章敘述隨選視訊系統要最佳化的目標與其數學模型，並且回顧現有多目標演化式演算法；第三章說明 IMOEA；第四章為實驗的結果與分析；第五章為本論文結論。

二、隨選視訊系統之最佳化設計

2.1 最佳化目標與系統架構

為了建置低成本、高效能的隨選視訊系統，本文同時最佳化下列三個目標：(a)最小的伺服器視訊儲存成本；(b)最小的伺服器視訊傳輸負載；(c)最佳的整體伺服器視訊儲存成本的負載平衡。而本論文考量的分散式隨選視訊系統架構如圖 1 所示[1]。整個系統的架構是採用階層式分散式隨選視訊系統，其中中心視訊伺服器 (Central Video Server, CVS) 儲存所有的視訊資料；而使用者需求部分由一群低價伺服器提供服務，這些伺服器稱為主要視訊伺服器 (Master Video Server, MVS)，MVS 內只儲存部分的視訊資料。在本論文中所指的伺服器除非特別說明，否則即為 MVS。

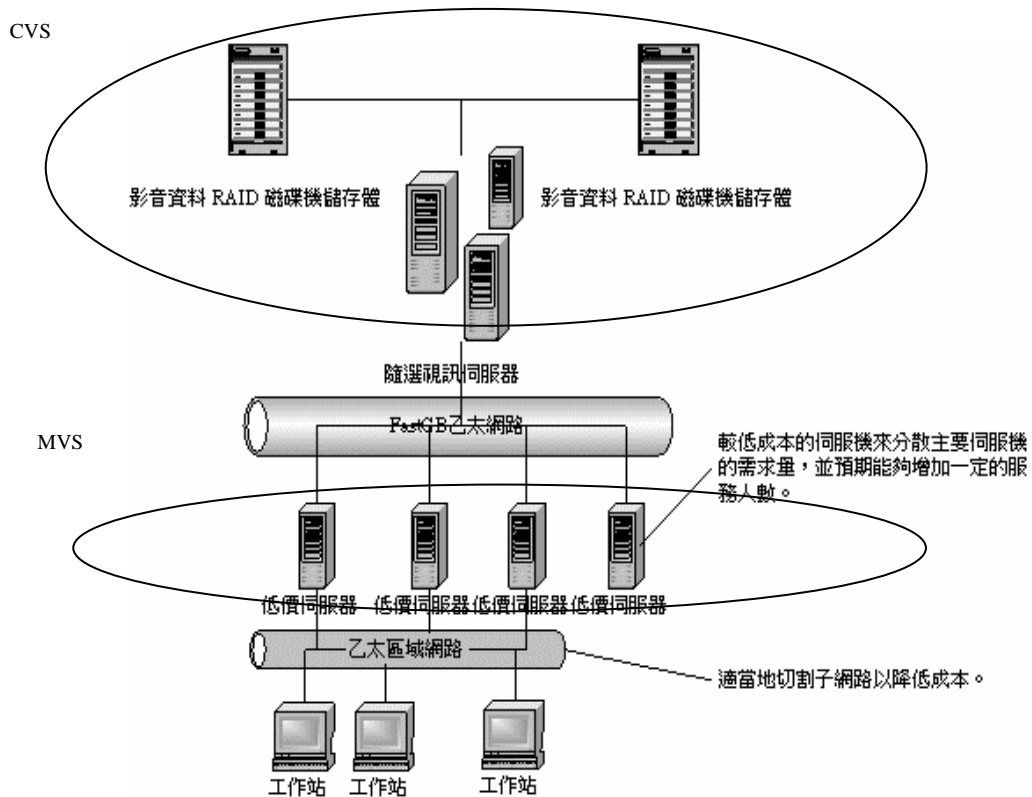


圖 1. 系統架構示意圖

本文考量的分散式隨選視訊系統為 M 台 MVS，總共有 T 部視訊，每部視訊的檔案大小為 m_k ，每部視訊的編碼位元率(bit rate)為 b_k ，每部視訊在過去某段時間內被需求的數量為 α_k ， $k=0,1,\dots,T-1$ 。為了同時最佳化每台伺服器的視訊配置成本、伺服器的視訊傳輸負載和整體伺服器的視訊儲存負載平衡，本文將這些問題整合成多目標最佳化問題，並且數學模式化如下，其符號定義可見表 1。

(a) 最小化擁有最大儲存成本之伺服器的使用量。

$$f_1 = \text{Minimize } \max(SC_j) \quad (1)$$

(b) 最小化擁有最大傳輸負載之伺服器的傳輸成本。

$$f_2 = \text{Minimize } \max(TC_j) \quad (2)$$

(c) 最佳化整體伺服器儲存成本的負載平衡，也就是最小化伺服器儲存成本的標準差。

$$f_3 = \text{Minimize deviation } (SC_j) \quad (3)$$

並且考慮以下 2 項限制條件：

(a) 每部視訊至少儲存一份複本在 MVS，並且每份視訊的總複本數不得超過 M 。

$$1 \leq CP_k \leq M \quad (4)$$

(b) 儲存容量的限制。儲存空間使用量不超過磁碟所能提供的容量限制。

$$SC_j < C_j \quad (5)$$

表 1. 主要符號定義

T	視訊檔案的總數量。
m_k	視訊 k 的檔案大小， $k = 0, 1, \dots, T-1$ 。
M	伺服器的數量。
C_j	伺服器 j 的容量限制， $j=0,1, \dots, M-1$ 。
I	視訊置放的向量， $I \in B^{T \times M}$ ， $B = \{0, 1\}$ ，假如視訊 k 被置放於伺服器 j 則 $I_{(k+j \cdot T)} = 1$ ，否則 $I_{(k+j \cdot T)} = 0$ 。
SC_j	伺服器 j 儲存空間的使用量， $SC_j = \sum_{k=0}^{T-1} m_k \cdot I_{(k+j \cdot T)}$ 。
CP_k	視訊 k 的複本總份數， $CP_k = \sum_{j=0}^{M-1} I_{(k+j \cdot T)}$ 。
α_k	以前某段時間(能一天或一星期)對視訊 k 的需求數量。
b_k	視訊 k 的編碼位元率。
TC_j	伺服器 j 傳輸成本的預估值， $TC_j = \sum_{k=0}^{T-1} \frac{\alpha_k b_k}{CP_k} \cdot I_{(k+j \cdot T)}$ 。

2.2 多目標演化式演算法的回顧

當我們在搜尋現實問題中的最佳解時，會發現有很多的最佳化問題並沒有辦法以一個目標函數(Objective Function)來決定解的好壞，而是需要同時考量多個目標函數來判斷解的優劣，因為這些目標之間彼此往往是互相競爭的。對於這些問題，我們稱為多目標最佳化問題(Multi-objective Optimization Problems)。以一項工業產品的製造為例，我們通常希望產品的品質高並且成本低，然而此雙目標彼此卻互相競爭。在多目標最佳化問題中，通常不會只存在單一個最佳解，而是一組可供選擇的解集合。並且在這組解集合中，沒有任何一個解

可以在對所有的目標函數上皆優於其他的解，我們稱這一組解集合為 Pareto 最佳解集合(Set of Pareto-optimal Solutions)，其中的每一個解又稱為不被支配解(Non-dominated Solution)。

Schaffer 曾經提出一種多目標演化式演算法 VEGA (Vector Evaluated Genetic Algorithm) [8]，其做法是分別對每個目標函數作評估，此方法簡單且容易理解，但是很容易產生對某個目標特別好的解答。Hajela 和 Lin 提出 HLGA (Hajela's and Lin's Genetic Algorithm)[3]，將所有的目標函數值以權重加總(Weighted-Sum)整合成一個單目標來進行最佳化，但是缺點是權重的抉擇容易受到人為主觀或問題本身的影響。NPGA (Niche Pareto Genetic Algorithm) [4] 是由 Horn, Nafpliotis 和 Goldberg 所提出的，其中結合了競賽式選擇法(Tournament Selection)和 Pareto 支配(Pareto Dominance)的概念，但是競賽集合的數量容易影響其效能。Srinivas 及 Deb 以[2]所提出的 Pareto 排名法(Pareto-ranking)為基礎，結合了適應值分享(Fitness Sharing)的方法提出 NSGA (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm) [10]，但是很多解的適應值卻可能是一致的，因而影響收斂速度。在 1999 年，Zitzler 提出了一個極佳的 SPEA (Strength Pareto Evolutionary Algorithm) [14]，並在多目標背包問題和六個測試函式的比較中贏過 VEGA、HLGA、NPGA、NSGA 等六個多目標基因演算法。但是 SPEA 的評估函數卻很容易給予被支配解(Dominated Solution)相同的適應值，因而影響收斂。為了避免上述演算法的缺點，本論文提出了以智慧型多目標演化式演算法(IMOEA)來同時解決分散式隨選視訊系統的多目標最佳化問題。

三、智慧型多目標演化式演算法

為了同時最佳化每台伺服器的視訊配置成本、伺服器的視訊傳輸負載和整體伺服器的

儲存成本負載平衡。本文提出了智慧型多目標演化式演算法以便能有效地尋找出 Pareto 最佳解集合。IMOEa 具有下列與其他多目標演算法不同的優點：

- 基於 Pareto 理論，使用通適化且不受尺度因素影響的評估函數 (Generalized Pareto-based Scale-Independent Fitness Function, GPSIFF) 計算個體適應函數值，能夠提供選擇機制正確的個體適應函數值以引導演算法的搜尋。
- 採用智慧型基因蒐集運算子 (Intelligent Gene Collector, IGC)，以系統化推理的方式正確有效地搜尋解空間。
- 使用優生學策略 (Elitism Strategy) 來引導運算，即合併目前族群與優生族群，有效地增強搜尋能力。

3.1 GPSIFF

為了分辨出各解答之間的優劣，本文採用了以 Pareto 理論為基礎的積分方式來避免受到尺度因素的影響，並且對於被支配解和不被支配解給於具有區分能力的適應函數值，以取代傳統有失準確性的排名方式和距離方式，稱之為 GPSIFF。

GPSIFF 使用類競爭式 (Tournament-Like) 的積分方式來評估處於欲評估的 Pareto 解集中個體 x 的適應值。GPSIFF 的數學式如下：

$$\text{score}(x) = p - q + C, \quad (6)$$

其中 p 表示在目前欲評估的解集中 x 所支配的個體數目， q 表示在目前欲評估的解集中能夠把 x 支配的個體數目， C 是一個較大的正整數，以保證求出的適應值為一正整數。通常以目前參與評估運算的所有個體的數目作為正整數 C 的值。

GPSIFF 的優點如下：

- 不需調整權重值：基於 Pareto 理論來評估解的好壞，沒有權重加總法需決定權重值的困難，也不會受到人為主觀判斷的影響。
- 不需考量尺度因素：由於各目標函數值的尺度適應值不盡相同，在權重加總法中需考慮到尺度因素，以免使得權重設定失之準確。
- 以積分方式有效辨識不同解的優劣程度：取代傳統排名法可能將不同的解給予相同的排名，以及距離法有尺度因素影響的缺點，以精確的積分評估解的優劣程度。

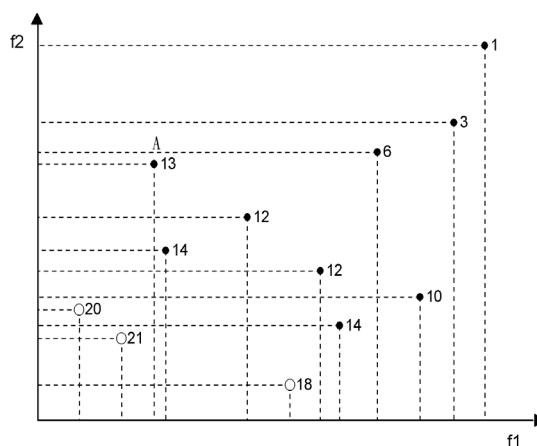


圖 2. 積分排名方式示意圖

圖 2. 展示出在兩個目標的最小化問題中，在 Pareto 解集中，所有個體使用 GPSIFF 所計算出的適應值。其中 $C=12$ ， \circ 為不被支配解。以解 A 為例， $p=3$ ， $q=2$ ，所以適應值為 13。

3.2 智慧型基因蒐集運算子 IGC

以直交表 (Orthogonal Array, OA) 與因素分析 (Factor Analysis, FA) 為基礎的直交實驗設計 (Orthogonal Experimental Design, OED) [13] 是一種品質控管方法。其分析結果可以獨立且均勻的求出每一個因素的主效果 (Main Effect)，並由主效果推論每一個因素對於該實驗結果的影響好壞。藉由直交表系統推理化的特性，只需進行部份因素實驗 (Fractional-Factorial Experiment) 就可以推測出近似最佳解。並且由於部份因素實驗即可推論全實驗的結果，因此較完全因素實驗 (Full-Factorial Experiment) 節省大量的執行時間。

而主效果的算式如下，令 y_t 表示為直交表實驗中第 t 次實驗的評估函數之適應值，則第 j 個因素水準值 k 的主效果 S_{jk} 定義為

$$S_{jk} = \frac{\beta}{\sum_{t=1}^{\beta} y_t} \cdot F_k, \quad (7)$$

若第 t 次實驗中第 j 個因素選用水準為 k ，則 F_k 為 1；若否，則 F_k 為 0。若適應函數為望大，則較大的主效果值表示對適應函數具有較佳的貢獻度；反之若適應函數望小，則主效果值小者貢獻度較佳。

如何使用 OED 達成 IGC，其詳細步驟如下所示：

步驟一：將染色體切割成 N 個基因區段 (gene segment)，以直交表中的一個因素表示為一個基因區段，則直交表的大小即有 N 個因素。直交表的大小即 $L_n(2^{n-1})$ ， $n = 2^{\lceil \log(N+1) \rceil}$ ，如此便有 n 次的評估實驗運算。

- 步驟二：直交表中因素 j 的水準為 1 或 2，表示第 j^{th} 的基因區段，由第一個父代或第二個父代遺傳得來。
- 步驟三：計算每個染色體對於所有目標函數的值。然後以 GPSIFF 評估函數計算所有實驗的適應值 y_t ，其中 $t = 1, 2, \dots, n$ 。
- 步驟四：以望大 GPSIFF 評估函數來計算所有因素的主效果， S_{jk} ，其中 $j = 1, 2, \dots, N$ ， $k = 1, 2$ 。
- 步驟五：根據主效果，來決定基因參數水準的選擇，以決定子代染色體的基因組合。若第 j^{th} 的參數中，主效果 $S_{j1} > S_{j2}$ ，則選擇水準 1，即第一個父代的第 j^{th} 的基因區段；若主效果 $S_{j1} < S_{j2}$ ，則選擇水準 2，即第二個父代的第 j^{th} 的基因區段。
- 步驟六：由不同染色體中較佳的部分組合產生最佳基因區段組合的子代染色體。
- 步驟七：計算不同染色體相同因子間的主效果差(Main Effect Difference, MED)，並依主效果差來將參數作排名。其中最小的最大主效果差擁有最高的排名
- 步驟八：產生次佳子代染色體的基因區段組合，將步驟六所產生的最佳子代染色體中 MED 記錄排名最高的基因區段位置，改變成由另一個水準所對應的基因區段來組合，即可產生次佳基因區段組合的子代染色體。

3.3 編碼方式

本文根據第三章提及的數學模型設計基因演算法中的染色體編碼方式。由於每部伺服器最多具有 T 部視訊，而總共有 M 部伺服器，因此染色體的總長度為 $T \times M$ 。本文採用二進位的編碼方式，其中每個基因代表每部視訊，若視訊存在伺服器當中則為 1，否則為 0。在表 1 定義的視訊置放的向量 I 即為染色體表示法。

3.4 IMOEA 流程

IMOEA 的流程如下：

- 步驟一：初始化(Initialization)。亂數隨機產生群族中所有染色體的基因，並初始化優生集 E 和暫時優生集 E' 為空的狀態。優生集的容量限制為 E_{max} 。
- 步驟二：評估運算(Fitness Evaluation)。使用 GPSIFF 計算所有染色體的適應值。
- 步驟三：更新優生集和暫時優生集(Update Elite Sets)。把群族和 E' 的不被支配解集合加入 E ，並且把 E' 清空。接著考慮在 E 裡面所有的解集，移除被支配的解。假若在 E 裡面所有不被支配的解

集數目大於 E_{max} ，則隨機移除超過的解。

- 步驟四：選擇運算(Selection)。從目前的族群中選取 $N_{pop} - N_{ps}$ 個染色體，其中 $N_{ps} = N_{pop} \times P_s$ 為，並從 E 中隨機選取 N_{ps} 個不被支配的染色體，組成新的族群。
- 步驟五：重組運算(Recombination)。首先依據交配率(P_c)，選出 $N_{pop} \times P_c$ 父代染色體進行 IGC。對於每次 IGC 運算，會把不被支配的副產品加入 E' 。
- 步驟六：突變運算(Mutation)。依突變率(P_m)，選擇出欲進行突變運算的染色體。並配合題型選擇一種突變運算，對染色體進行突變。本論文使用單點突變(Bit Mutation)。
- 步驟七：終止測試(Termination Test)。判斷是否到達終止條件，否則回到步驟二。

四、實驗結果與分析

本文利用 IMOEA 最佳化每台伺服器的視訊配置成本、伺服器的視訊傳輸負載和伺服器的視訊儲存負載平衡，提供決策者多組方案建置低成本、高效能的隨選視訊系統。本文為突顯 IMOEA 在解決多目標問題的能力，實作傳統解決多目標問題的演算法 SPEA 以茲比較。

4.1 實驗設定

本文考慮具有 MPEG1 和 MPEG2 視訊檔案的 VOD 系統進行模擬分析。為了便於分析演算法的效能，假設伺服器皆有相同的網路及磁碟架構。本文模擬的三組測試問題見表 2。而關於視訊的實驗參數設定，視訊的編碼位元率是根據 MPEG 標準決定，視訊的檔案大小是根據常見的視訊大小亂數產生，而視訊的需求量是亂數產生，其範圍如表 3 所示。關於 IMOEA 與 SPEA 的參數設定部分，請參考表 4，其中最大評估次數會根據不一樣的測試問題而不一樣。而 SPEA 在測試問題三的群族數會隨著伺服器與視訊數量的增加而增加，以期能廣域地搜尋到最佳解。

表 2. 三組測試問題

	測試問題一	測試問題二	測試問題三
伺服器數量	5	10	15
視訊數量	100	300	500

表 3. 視訊詳細資料

符號	範圍
m_k	MPEG1 : 300 ~ 800 MB MPEG2 : 3000 ~ 4700 MB
α_k	5 ~ 500 次
b_k	MPEG1 : 1,411 Kb MPEG2 : 3,448 ~ 8,448 Kb

表 4. IMOEA 的參數設定

	IMOEA	SPEA
最大評估次數	測試問題一： 5500 測試問題二： 31,000 測試問題三： 80,000	測試問題一： 5,500 測試問題二： 31,000 測試問題三： 80,000
群族數	30	測試問題一： 75 測試問題二： 75 測試問題三： 150
優生集 E_{max}	30	測試問題一： 25 測試問題二： 25 測試問題三： 50
選擇率 P_s	0.3	無
交配率 P_c	0.6	0.6
突變率 P_m	0.01	0.01
直交區塊 N	15	無

4.2 以 IMOEA 最佳化隨選視訊系統

本文藉由測試問題一進行實驗。100 部視訊 (114GB) 配置到 5 台伺服器，利用 IMOEA 求得的 Pareto 最佳解集合如圖 3 所示。

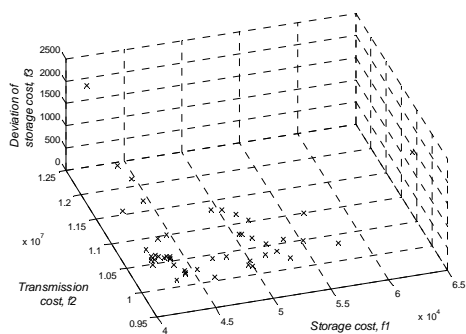


圖 3. IMOEA 求得的 Pareto 最佳解集合

為了更清楚 IMOEA 最佳化視訊檔案配置後所帶來的效益，本文搭配此實驗舉例說明。

倘若某甲公司(擁有在運作的隨選視訊系統)為了幫分公司建構隨選視訊系統，而且該分公司可能受限於場地空間的限制，於是只想買 5 台伺服器來建構置有 100 部視訊檔案的小型分散式隨選視訊系統，傳統上是購買到足以容納這 100 部視訊(114GB)的磁碟。然而利用這 100 部視訊的資訊，如視訊的檔案大小或視訊被需求的數量等等，以 IMOEA 幫分公司進行檔案最佳化的配置。由表 6 得知甲公司只需要為每台伺服器安裝 45GB 的磁碟便足夠建置小型的分散式隨選視訊系統。表 5 列出部分經由 IMOEA 所求得的最佳化視訊配置的分配情形。透過實驗發現利用 IMOEA 進行檔案最佳化的配置可以大幅降低系統的儲存成本和視訊傳輸負載，並且達到整體伺服器之儲存成本的負載平衡。

表 5. IMOEA 求得的配置最佳解之視訊副本數及其分配情形，平均副本數 = 1.98。

視訊代號	視訊副本數 CP_k	視訊檔案的大小 m_k	視訊需求數量 α_k	Bit rate b_k	視訊所在的伺服器代號為
82	2	438	273	1376	0, 3
83	3	358	435	1376	0, 1, 3
84	1	4155	319	3672	4
85	2	3937	121	5509	0, 3
86	2	3877	117	4416	2, 4
87	1	4046	252	4487	0
88	1	4123	72	6378	4
89	2	3449	104	4559	0, 2
90	1	3994	279	4518	0
91	1	3408	461	4242	2

表 6. IMOEA 求得的配置最佳解之伺服器狀況，整體伺服器之儲存成本的標準差 = 11418 MB。

伺服器代號	儲存成本 (MB)	傳輸成本 (Kb)
0	42537	9801729
1	41220	9704655
2	42546	10130216
3	41948	9535711
4	41573	10161095

4.3 IMOEA 與 SPEA 的比較

考量隨選視訊系統因服務的人數增加，或者客戶對於視訊需求量的增多，系統為了滿足客戶的需求與服務的品質，必須擴充系統提供服務的伺服器數量與視訊數量。本文模擬三組測試問題，然後以 IMOEA 和 SPEA 各執行了 30 次實驗以進行比較分析。圖 4 至圖 6 為 30 次實驗的 Pareto 最佳解集合。經由此實驗發現

三組測試問題中，IMOE A 所求得的 Pareto 最佳解集合都勝過 SPEA 所求得的 Pareto 最佳解集合。

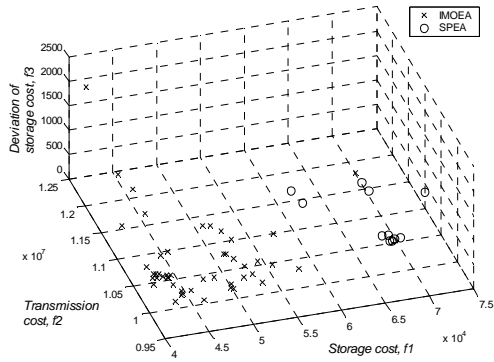


圖 4. IMOE A 與 SPEA 在測試問題一的 Pareto 最佳解集合

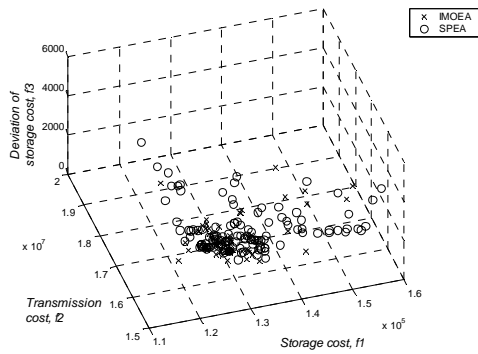


圖 5. IMOE A 與 SPEA 在測試問題二的 Pareto 最佳解集合

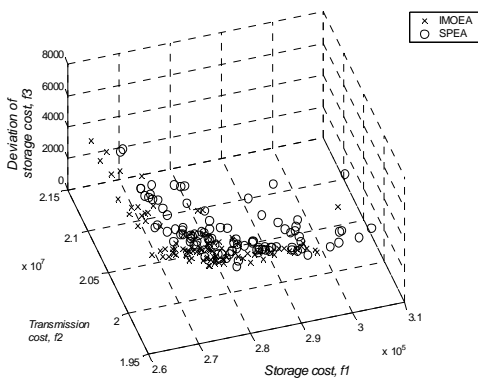


圖 6. IMOE A 與 SPEA 在測試問題三的 Pareto 最佳解集合

為了更清楚演算法效能的差異，本文利用以兩個 Pareto 最佳解集合 A 和 B 的覆蓋測量 (Coverage Metric) [14] 對每次實驗的最佳解集合進行比較分析，計算方式如下：

$$C(A, B) =$$

$$\frac{B \text{ 的不被支配解集被 } A \text{ 弱支配的數目}}{\text{在 } B \text{ 中不被支配解集}} \quad (8)$$

$C(A, B) = 1$ 表示所有在 B 的不被支配解集都被 A 弱支配， $C(A, B) = 0$ 則表示所有在 B 的不被支配解集皆沒有被 A 弱支配。接著把三十次實驗結果的 $C(\text{IMOE A}, \text{SPEA})$ 和 $C(\text{SPEA}, \text{IMOE A})$ 繪製成統計上常用的箱型圖 (Box Plot) 以表示其分佈方式、平均值、中位數、四分位數、10% 位數和 90% 位數等，如圖 7 所示。

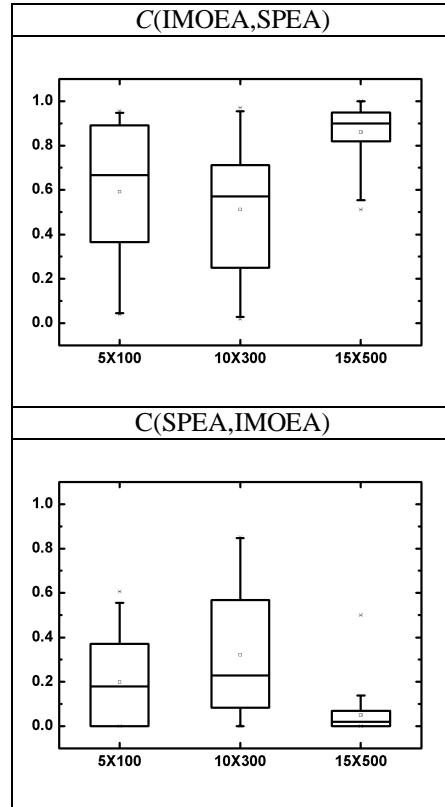


圖 7. 比較 IMOE A 與 SPEA 在三組測試問題之箱型圖

藉由圖 4 至圖 7 發現 IMOE A 在解決 VOD 系統建置多目標最佳化問題，無論是在儲存成本，傳輸負載或整體伺服器之儲存成本的負載平衡皆比 SPEA 有著較優異的表現。

五、結論

本論文考量數位媒體提供業者為了建置低成本、高效能的隨選視訊系統，使用 IMOE A 同時最佳化三個目標：最小的儲存成本、最小的視訊傳輸負載和最佳的整體伺服器之儲存成本負載平衡。並且能夠求得多組最佳化視訊檔案的配置方案，使得決策者可依喜好整合最佳的 VOD 系統。對於運行中的隨選視訊系統也能使用 IMOE A 進行更新配置或擴充建置。由三個實驗的結果顯示，IMOE A 所求得的 Pareto 最佳解集合勝過於 SPEA 所得的 Pareto 最佳解集合。

參考文獻

- [1] 陳義雄, “以智慧型多目標演化式演算法做可調適隨選視訊系統的檔案配置最佳化”, 逢甲大學碩士論文, 2002.
- [2] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1989.
- [3] P. Hajela and C.-Y. Lin, “Genetic search strategies in multicriterion optimal design,” in *Structural Optimization*, vol. 4. New York: Springer, pp. 99–107, 1992.
- [4] J. Horn, N. Nafpliotis, and D. E. Goldberg, “A niched pareto genetic algorithm for multiobjective optimization,” in *Proceeding of 1st IEEE Conference Evolutionary Computation*, vol. 1, pp. 82–87, 1994.
- [5] R. H. Hwang and P. H. Chi, “Fast Optimal Video Placement Algorithms for Hierarchical Video-on-Demand Systems,” *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 47, no. 4, pp. 357–366, 2001.
- [6] R.-H. Hwang and Y.-C. Sun, “Optimal video placement for hierarchical video-on-demand systems,” *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 44, no. 4, pp. 392–401, 1998.
- [7] Y. C. Ma, J. C. Chiu, T. F. Chen, and C. P. Chung, “Variable-size data item placement for load and storage balancing,” *The Journal of Systems and Software*, vol. 66, pp. 157–166, 2003.
- [8] J. D. Schaffer, “Multi-objective optimization with vector evaluated genetic algorithms,” in *Proceeding of 1st Int. Conf. Genetic Algorithms*, pp. 93–100, 1985.
- [9] D. N. Serpanos, L. Georgiadis, and T. Bouloutas, “MMPacking: a load and storage balancing algorithm for distributed multimedia servers,” *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 8, no. 1, pp. 13–17, 1998.
- [10] N. Srinivas and K. Deb, “Multiobjective optimization using nondominated sorting in genetic algorithms,” *Evolutionary Computaton*, vol. 2, no. 3, pp. 221–248, 1994.
- [11] K. S. Tang, K. T. Ko, S. Chan, and Eric W. M. Wong, “Optimal File Placement in VOD System Using Genetic Algorithm,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 48, no. 5, 2001.
- [12] K. S. Tang, K. T. Ko, S. Chan, and E. Wong, “Video placement in video-on-demand system using genetic algorithm,” in *Proceeding of International Conference on Industrial Technology*, pp. 672–676, 2000.
- [13] G. Taguchi and S. Konishi, *Orthogonal Arrays and Linear Graphs*. Dearbon, MI: American Supplier Institute, 1987.
- [14] E. Zitzler and L. Thiele, “Multiobjective evolutionary algorithms: a comparative case study and strengthen Pareto approach,” *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 3, no. 4, pp. 257–271, 1999.