

## 以基因演算法求解軍事專案投資組合最佳化問題

楊尚青<sup>1</sup> 張敦仁<sup>2</sup> 林頂立<sup>3</sup> 張廣榮<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup> 國防大學理工學院資訊科學系

<sup>2</sup> 實踐大學國際經營與貿易學系

<sup>3</sup> 銘傳大學企業管理學系

<sup>4</sup> 國防大學理工學院國防科學研究所

### 摘 要

本研究的目的是在發展一個軍事專案投資的配置方法。經由定義投資分類項目的戰力指數與分析我國國防投資的額度，並運用啟發式基因演算法計算求解，可以在不同的風險指標下，獲得最佳的軍事投資組合配置，以做為國防專案投資決策制定的量化參考依據。本研究導入了均異、半變異、具偏態的變異及絕對離差等四種風險模式於投資組合問題，並加入基數限制式以強化模式的適用性。計算結果顯示所發展的啟發式基因演算法適用在不同的風險模式下，且能提供一個更彈性地求解軍事專案投資組合的方法。

**關鍵詞：**軍事專案、投資組合最佳化、戰力指數、基因演算法、風險模式

## A Genetic Algorithm for Military Project Portfolio Optimization Problem

Sang-Chin Yang<sup>1</sup>, Tun-Jen Chang<sup>2</sup>, Ting-Li Lin<sup>3</sup>, and Kuang-Jung Chang<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Computer Science, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University

<sup>2</sup> Department of International Business, Shih Chien University

<sup>3</sup> Department of Business Administration, Ming Chuan University

<sup>4</sup> Graduate School of Defense Science, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University

### ABSTRACT

The purpose of this paper is to develop a method of military project portfolio. In this paper we obtain the optimal allocation of military project portfolio under different risk measures by defining the Measure of Effectiveness (MOE), analyzing national defense investment amount and using heuristic genetic algorithm. The results of the numerical computation show that weighted allocation is regarded as the quantitative basis of the decision-making in national defense project. In addition, we also conduct four risk models such as mean-variance, semi-variance, mean absolute deviation and variance with skewness which includes cardinality constrained. These constraints intensify the compatibility of risk models in a portfolio problem. Through computation results indicate that the proposed heuristic genetic algorithm suits to different risk measures and provides a more flexible performance for solving the optimization problems of military project portfolio.

**Keywords :** military project, portfolio optimization, MOE, genetic algorithm, risk model

## 一、前言

隨著科技的日益進步，武器系統也愈趨昂貴複雜，如何在有限的國防預算下，做出有效的投資來維持戰力的穩定成長，已是一個重要的軍事議題。故本研究旨在發展一種量化模式，藉由廣為金融市場使用的投資組合模式的擴展運用，以及發展合適的求解方法，來獲得最佳的投資配置，以為決策者預算分配與武器採購的參考依據。

傳統的投資組合選擇分析工具中最重要的一個理論是由 Markowitz [1] 所提出的「均異模式」(Mean-Variance Model)，即假設資產的投資報酬率是常態的隨機變數分佈；此模式在固定的風險下使報酬率達到最大，或在固定的報酬率下使風險降到最低，以投資組合的報酬率與變異數為主要參數，而這種投資組合的集合則稱為效率前緣(Efficient Frontier)。

Markowitz 的均異理論引進了風險與報酬的觀念並進而導出效率前緣：一個圓滑非遞減的曲線，它代表著風險對報酬的最適化的投資組合。此模式是一個非線性的二次式規劃問題，實際上計算任何特定最佳解的集合是不困難的[2]。然而其產生的最佳投資組合可能會對某些資產做出微量的配置，造成交易成本的提高，並不利於實際的投資。因此，若能加強對資產數量與分配比例的限制，使投資組合最佳化轉變成一個較符合需求的混整數非線性規劃問題，將會更有利於投資組合的實際市場運用。但到目前為止僅有少數的研究學者如 Bienstock [3] 及 Young [4] 研究限制性均異投資組合最佳化問題。

鑒於前述的限制性投資組合最佳化問題無法以傳統的規劃方法求解，本研究運用啟發式基因演算法(Heuristic Genetic Algorithm)來處理被選擇投資資產的基數限制(Cardinality Constraints)，所以投資組合的資產數量可依照個人的喜好做出適當決策。且所發展的演算法不受限於均異模式的風險目標函數，決策者可選擇半變異、具偏態的變異、及絕對離差等其他風險模式做為決策的依據，提供了一個相當彈性而有效的求解方法。

本研究也建構一個軍事專案投資的分析方法，以評估國防預算投資項目每年度的需求額度，並依據經驗法則計算出戰力指數，再轉換算成投資報酬率，成為建構軍事專案

投資資產之基礎數據。經由啟發式基因演算法計算特定風險目標函數下的最佳投資組合，得到含有基數限制的效益前緣曲線(風險與報酬的集合)，決策者可據以獲得不同的期望報酬下的資產配置權重，做為實際投資決策的取捨與參考。

本研究後續內容如下：第二節為軍事專案投資方法相關邏輯與架構；第三節為在不同風險指標下的投資組合最佳化及其相關理論分析；第四節簡介基因演算法的基本架構；第五節說明以基因演算法來求解軍事專案投資組合最佳化之方法及步驟；第六節為研究結果與討論；最後一節是結論與後續研究方向。

## 二、軍事專案投資方法相關邏輯與架構

國防預算為確保國家安全防衛的必要支出，每一個國家對其額度之匡計，主要是依據敵情威脅分析與鄰國結盟關係、所處地理環境、國家資源、國內經濟、政治環境與社會狀況等主、客觀環境等考量因素來訂定。在國防預算預判時可酌情考量評估以下指標：(1)國防預算與國防政策之一致性；(2)國防預算占財政支出之合理率；(3)軍事投資與經濟效益兼顧性；(4)兵力結構與預算分配之合理性。上述指標因牽涉範圍廣大且部分資料具機敏性，故相關模式的探討較難以見諸文獻。本研究為求發展一個投資分配的量化模式，將軍事投資方法建構單純化，對於國防軍事重大預算投資額度，僅依據相關資料正規化整理後，計算前十一個年度重要兵力整建軍事投資預算額度，並採用預測模式法[5]推算出後五個年度預算的投資額度，來建構驗證模式用的數據。在此須聲明此軍事預算投資額度僅是模擬的換算數據，與國軍真實的兵力整建項目預算額度應有實際上的不同。對於戰力指數(Measure of Effectiveness, MOE)方面，僅以隨機機率性來考慮所遭遇的打擊面，例如制空的戰力指數為單一載具每分鐘單位面積火點主要殺傷火力，乘以最大精準投射距離(公里)，再乘以籌購數量。此單一數量的計算暫不考慮可靠度(Reliability)、可用度(Availability)、維持度(Maintainability)及存活度(Survivability)等項目。對於投資報酬率(Return of Investment, ROI)計算則是以戰力指數除以年度投資預算

額度得到年度投資報酬率。以下分項說明相關邏輯與其架構：

## 2.1 軍事投資項目

國軍依據國家安全、國防安全、敵情威脅及相關建軍備戰需求，訂定軍事投資項目，以十大兵力整建分類為主，計分為制空、制海、地面作戰(反登陸)、防禦性反制武器、戰備支援、戰備設施、缺裝補充、教育訓練、生活設施和資訊戰與電子戰等十大類。按此十大兵力整建項目，可規劃出每年度對該項目投資的預算額度。

## 2.2 年度投資預算

十大軍事投資項目的預算分配額度以經過修飾後之數據，呈現出各當年度之兵力整建投資額度，以及採用預測模式法估測後五個年度之預算分配額度，表 1 為十六個年度概估之軍事投資預算統計表，表 2 則為十六個年度之軍事投資預算百分比統計表。

## 2.3 戰力指數(MOE)

兵力整建十大分類項目之戰力指數可以下列各別的數學計算式表達：

- (1)  $W1 = \sum$  單一載具每分鐘單位面積火點 \* 主要反制火力最大精準投射距離 \* 採購數量
- (2)  $W2 = \sum$  單一缺裝載具每分鐘單位面積火點 \* 主要殺傷火力最大精準投射距離 \* 採購數量
- (3)  $W3 = \sum$  單一載具每分鐘單位面積火點 \* 主要殺傷火力最大精準投射距離 \* 採購數量
- (4)  $W4 = \sum$  單一載具每分鐘單位面積火點 \* 主要殺傷火力最大精準投射距離 \* 採購數量
- (5)  $W5 = \sum$  單一載具每分鐘單位面積火點 \* 主要殺傷火力最大精準投射距離 \* 採購數量
- (6)  $W6 = \sum$  單位設施每分鐘單位面積承受攻擊火點 \* 主要結構最大保固期 \* 建購數量
- (7)  $W7 = \sum$  單位時間訓能 \* (戰鬥支援,勤務支援,決策支援屬性) \* 訓量

$$(8) W8 = \sum \text{單一載具每分鐘單位面積承受攻擊火點} * \text{主要支援火力最大精準投射距離} * \text{採購數量}$$

$$(9) W9 = \sum \text{單位設施每分鐘單位面積承受攻擊火點} * \text{主要結構最大保固期} * \text{建購數量}$$

$$(10) W10 = \sum \text{單一裝備每分鐘單位面積資電干擾火點} * \text{主要破壞火力最大精準投射距離} * \text{採購數量}$$

各項戰力指數所選取之載台子項，是依據蘭德智庫、實兵驗證及與專家學者、基層參與工作人員交換心得討論所產生，並無統一模式及選項。例如制空方面，本研究選擇三項載台(決策者可視資料項目獲得的多寡適當選取)，則每個載台子項選擇單一載具每分鐘單位面積火點 \* 主要殺傷火力最大精準投射距離 \* 採購數量的乘積，經加總後取其平均值，得到該年度制空的總戰力指數。依此類推，十六個年度共產生  $10*16$  數據矩陣的戰力指數，其結果如表 3 所示。

## 2.4 投資報酬率(ROI)

我們將該年度戰力指數除以當年度該兵力整建項目預算額度，得到每年度每項兵力整建項目的投資報酬率，以數學式表達為：

$$ROI = MOE / \text{預算}$$

式中之投資報酬率為無因次參數，計有十六個年度及十大兵力整建項目，數據為一個  $10*16$  的矩陣，其投資報酬率如表 4 所示。此矩陣的數據可經由本研究提出的啟發式基因演算法，在不同的風險目標函數下運算，得到投資組合最佳化效益前緣的集合(風險與報酬率的座標曲線)。

## 三、在不同風險指標下的投資組合最佳化及其相關理論分析

投資組合(Portfolio)理論係指投資人根據個人的喜好，選擇一組以上的有價證券或資產所構成的集合。故小至個人的投資，大至政府或國防部門的重大採購都可依據自己或決策部門的需求，規劃出他們所要求的風險與報酬。如何使其風險最低、報酬最高，或者風險與投資報酬績效達到最佳化，皆是投資者及政府各部門所努力追求的目標。

當投資大眾或政府各部門面臨全球市場的不確定變化時，為了使整體投資機會的風險降低，投資常會將金融資產或重大項目採購分散持有，其概念為的是不要將所有的雞蛋放置在

同一個藍子裡(Not putting all your eggs in one basket)，因此投資組合理論便應運而生。以下介紹本研究所用的四種風險模式。

表 1. 十六個年度軍事投資預算編列統計表

項目 年度	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	年度軍投預算(台幣:億元)
Y	15.42	130.54	172.68	282.56	2.30	14.50	44.43	131.00	60.68	63.89	918.00
Y+1	19.54	130.74	209.00	268.38	5.57	14.25	27.19	169.73	53.24	46.35	944.00
Y+2	23.76	225.88	124.24	179.87	3.83	16.20	41.21	178.36	46.55	50.11	890.00
Y+3	19.62	208.41	113.53	147.02	2.79	21.19	54.24	219.66	38.37	47.18	872.00
Y+4	11.49	128.61	78.69	132.70	0.63	16.08	21.92	144.63	28.64	64.62	628.00
Y+5	44.01	109.66	34.10	84.46	0.76	41.59	17.34	127.64	12.70	162.75	635.00
Y+6	45.33	53.64	65.92	58.03	12.28	21.49	42.62	83.02	18.06	201.61	602.00
Y+7	41.23	43.09	62.54	74.89	29.68	36.41	29.79	72.77	12.40	127.20	530.00
Y+8	25.23	35.56	73.91	112.07	5.08	26.12	15.66	67.20	15.35	153.80	529.99
Y+9	77.45	33.01	31.85	73.95	3.86	57.80	10.73	64.54	6.62	170.18	529.98
Y+10	77.57	32.41	50.32	68.76	27.63	39.17	17.85	59.19	8.65	148.39	529.96
Y+11	54.02	24.02	54.36	62.10	33.48	42.86	22.66	68.77	6.44	161.34	530.04
Y+12	32.49	17.87	61.02	86.54	7.09	36.51	10.67	63.46	5.51	208.88	530.02
Y+13	98.25	14.25	26.04	56.09	5.24	78.71	7.01	60.90	1.57	182.02	530.05
Y+14	97.08	10.94	40.70	51.08	36.74	52.16	11.08	55.80	0.49	173.88	529.97
Y+15	66.80	4.95	43.45	45.03	43.67	55.99	13.16	64.78	1.51	190.71	530.04
AVG	46.83	75.22	77.65	111.47	13.79	35.69	24.22	101.96	19.80	134.56	641.19

表 2. 十六個年度軍事投資預算百分比統計表

項目 年度	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	總軍投比例%
Y	1.68	14.22	18.81	30.78	0.25	1.58	4.84	14.27	6.61	6.96	100.00
Y+1	2.07	13.85	22.14	28.43	0.59	1.51	2.88	17.98	5.64	4.91	100.00
Y+2	2.67	25.38	13.96	20.21	0.43	1.82	4.63	20.04	5.23	5.63	100.00
Y+3	2.25	23.90	13.02	16.86	0.32	2.43	6.22	25.19	4.40	5.41	100.00
Y+4	1.83	20.48	12.53	21.13	0.10	2.56	3.49	23.03	4.56	10.29	100.00
Y+5	6.93	17.27	5.37	13.30	0.12	6.55	2.73	20.10	2.00	25.63	100.00
Y+6	7.53	8.91	10.95	9.64	2.04	3.57	7.08	13.79	3.00	33.49	100.00
Y+7	7.78	8.13	11.80	14.13	5.60	6.87	5.62	13.73	2.34	24.00	100.00
Y+8	4.76	6.71	13.95	21.15	0.96	4.93	2.96	12.68	2.90	29.02	100.00
Y+9	14.61	6.23	6.01	13.95	0.73	10.91	2.02	12.18	1.25	32.11	100.00
Y+10	14.64	6.11	9.49	12.97	5.21	7.39	3.37	11.17	1.63	28.00	100.00
Y+11	10.19	4.53	10.26	11.72	6.32	8.09	4.28	12.98	1.21	30.44	100.00
Y+12	6.13	3.37	11.51	16.33	1.34	6.89	2.01	11.97	1.04	39.41	100.00

Y+13	18.54	2.69	4.91	10.58	0.99	14.85	1.32	11.49	0.30	34.34	100.00
Y+14	18.32	2.06	7.68	9.64	6.93	9.84	2.09	10.53	0.09	32.81	100.00
Y+15	12.60	0.93	8.20	8.50	8.24	10.56	2.48	12.22	0.29	35.98	100.00
AVG	8.28	10.30	11.29	16.21	2.51	6.27	3.63	15.21	2.66	23.65	100.00

表 3. 十六個年度之戰力指數(MOE)

項目 年度	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	總 MOE
Y	840	10,400	1,070,000	870,000	6,720	100	72	6,300	1,350	10,800,000	12,765,782
Y+1	1,560	17,600	1,130,000	930,000	12,480	400	102	11,700	2,450	11,900,000	14,006,292
Y+2	4,100	47,400	1,368,000	868,000	32,380	600	82	24,800	5,600	12,500,000	14,850,962
Y+3	7,500	11,230	1,672,000	862,000	60,660	500	63	45,600	14,150	13,650,000	16,323,703
Y+4	8,000	10,150	1,676,000	976,000	68,080	1,800	62	57,800	18,650	14,670,000	17,486,542
Y+5	10,200	9,280	1,880,000	985,000	86,760	1,230	76	69,600	29,000	15,630,000	18,701,146
Y+6	3,000	5,000	2,216,000	1,017,000	33,000	1,200	172	30,000	28,100	17,610,000	20,943,472
Y+7	3,000	2,160	2,306,000	1,105,000	76,000	300	57	37,600	27,200	17,680,000	21,237,317
Y+8	6,800	8,340	2,376,000	1,396,000	52,000	420	66	47,100	450	19,450,000	23,337,176
Y+9	2,200	6,650	2,286,000	1,483,500	43,000	380	71	53,700	1,550	22,400,000	26,277,051
Y+10	3,400	2,500	2,115,000	1,495,800	47,700	430	83	23,600	1,100	24,300,000	27,989,613
Y+11	4,600	7,570	2,019,000	1,510,400	36,500	470	142	36,900	200	23,242,000	26,857,782
Y+12	5,360	2,470	2,351,600	1,351,300	38,600	1,030	69	41,900	250	27,343,200	31,135,779
Y+13	6,610	2,650	2,247,000	1,647,200	39,340	330	77	21,800	280	26,320,000	30,285,287
Y+14	5,960	6,430	2,151,600	1,651,320	40,100	530	68	31,900	1,200	33,200,000	37,089,108
Y+15	5,630	4,500	2,081,600	1,783,600	46,100	460	83	51,300	190	31,320,000	35,293,463
AVG	4,923	9,646	1,934,113	1,245,758	44,964	636	84	36,975	8,233	20,125,950	23,411,280

表 4. 十六個年度之投資報酬率(ROI)

項目 年度	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	總投資報酬 ROI
Y	54.47	79.67	6,196.58	3,078.99	2,928.10	6.89	1.62	48.09	22.25	169,033.13	181,449.80
Y+1	79.83	134.61	5,406.66	3,465.25	2,240.74	28.06	3.75	68.93	46.02	256,739.96	268,213.81
Y+2	172.54	209.84	11,010.59	4,825.73	8,460.94	37.04	1.99	139.05	120.31	249,466.14	274,444.17
Y+3	382.26	53.88	14,726.81	5,863.18	21,738.82	23.60	1.16	207.60	368.80	289,346.95	332,713.06
Y+4	696.11	78.92	21,299.20	7,355.14	108,407.64	111.96	2.83	399.64	651.26	227,015.28	366,017.99
Y+5	231.79	84.62	55,132.77	11,663.02	113,858.27	29.57	4.38	545.30	2,283.46	96,036.57	279,869.77
Y+6	66.18	93.22	33,617.01	17,524.57	2,687.12	55.84	4.04	361.38	1,555.92	87,346.94	143,312.22
Y+7	72.76	50.13	36,872.40	14,755.17	2,560.65	8.24	1.91	516.70	2,193.19	138,993.71	196,024.87

Y+8	269.48	234.55	32,148.09	12,456.81	10,236.69	16.08	4.21	700.86	29.32	126,460.72	182,556.82
Y+9	28.40	201.48	71,782.41	20,061.47	11,153.79	6.57	6.62	832.03	234.04	131,626.80	235,933.61
Y+10	43.83	77.15	42,034.78	21,753.42	1,726.43	10.98	4.65	398.72	127.15	163,759.59	229,936.68
Y+11	85.16	315.12	37,139.54	24,323.09	1,090.36	10.96	6.27	536.53	31.06	144,052.64	207,590.73
Y+12	164.96	138.25	38,538.06	15,614.61	5,447.67	28.21	6.47	660.24	45.39	130,903.20	191,547.06
Y+13	67.28	185.94	86,285.81	29,367.10	7,506.08	4.19	10.98	357.96	178.80	144,600.24	268,564.39
Y+14	61.39	587.66	52,862.97	32,326.11	1,091.47	10.16	6.14	571.71	2,465.27	190,933.23	280,916.09
Y+15	84.29	908.52	47,904.39	39,605.07	1,055.61	8.22	6.31	791.97	125.50	164,230.00	254,719.86
AVG	160.05	214.60	37,059.88	16,502.42	18,886.90	24.79	4.58	446.04	654.86	169,409.07	243,363.18

### 3.1 均異模式(Mean-Variance Model, MV)

現代投資組合理論肇始於 1952 年 Markowitz 所提出的「Portfolio Selection」一文，文中清晰的將風險的觀念量化，以資產報酬率之期望值、變異數以及各資產報酬率間的共變異數做為投資組合決策模式之參數，此種方法即為均異準則 (Mean-Variance Criterion)。Markowitz 的均異模式其基本假設如下：

- (1) 投資者希望效用期望值為最大，而此效用期望值乃是期望值報酬率與風險的函數；
- (2) 投資風險可以報酬率的變異數或標準差來表示，報酬率是一種常態分配的情況；
- (3) 在相同風險水準之下，投資者希望報酬率越大越好；而在相同期望報酬率之下，投資者希望風險越小越好。

在理想的市場上，投資組合的風險與報酬可以下列的數學模式表示：

$$\text{Risk} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_i w_j \sigma_{ij} \quad (1)$$

$$\text{Return} = \sum_{i=1}^N w_i \mu_i \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N w_i = 1 \quad (3)$$

$$0 \leq w_i \leq 1, \quad i = 1, \dots, N \quad (4)$$

其中  $N$  是可獲得的資產數；

$w_i$  是在資產  $i$  ( $i = 1, \dots, N$ ) 時，投資組合的比例 ( $0 \leq w_i \leq 1$ )，為決策變數；

$\mu_i$  是在資產  $i$  ( $i = 1, \dots, N$ ) 的期望報酬；

$\sigma_{ij}$  是在資產  $i$  和  $j$  之間

( $i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, N$ ) 的共變異數。

事實上，最佳投資組合選擇模式是報酬與風險在平面座標上不同點的效率集合。投資組合的選擇方式眾多，投資人不可能做完所有組合的評估，而是選擇在固定風險水準下，可使報酬率達到最高，或者在報酬率固定下，可使風險降到最低的組合。這種投資組合的集合稱為效率前緣 (Efficient Frontier, EF) 或效率集合 (Efficient Set)。為了要尋找最佳的投資組合配置，投資組合最佳化問題可以下列的公式表示：

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_i w_j \sigma_{ij} \quad (5)$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_{i=1}^N w_i \mu_i = R^* \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^N w_i = 1 \quad (7)$$

$$0 \leq w_i \leq 1, \quad i = 1, \dots, N \quad (8)$$

方程式(5)-(8)是一個簡單的非線性（二次）規劃問題，各資產比例  $w_i$  在 0 至 1 的限

制內，為特定的資產報酬率  $R^*$ ，求解最小風險的資產組合配置，並在報酬與風險座標平面上形成一點。依此類推，則可求出不同資產報酬率  $R^*$  下的各最小風險點，將這些點連線即為效率前緣。為了讓方程式(5)-(6)更符合限制性模式求解的需要，我們規劃一個抗風險權重參數  $\lambda$  ( $0 \leq \lambda \leq 1$ )，則方程式(5)-(6)可轉變為

Minimize

$$\lambda \left[ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_i w_j \sigma_{ij} \right] - (1-\lambda) \left[ \sum_{i=1}^N w_i \mu_i \right] \quad (9)$$

$$\text{Subject to } \sum_{i=1}^N w_i = 1 \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^N z_i = K \quad (11)$$

$$\varepsilon_i z_i \leq w_i \leq \delta_i z_i \quad (12)$$

$$z_i \in \{0,1\}, \quad i = 1, \dots, N \quad (13)$$

在方程式(9)中， $\lambda = 0$  代表求取最大的期望報酬（不涉及風險）， $\lambda = 1$  則代表求取最小的風險（不涉及報酬），其餘  $\lambda$  值滿足  $0 < \lambda < 1$ ，代表著是在風險與報酬兩極端值  $\lambda = 0$  和  $\lambda = 1$  之間的特定偏好。方程式(10)是確保權重比值加起來等於 1；方程式(11)是限制投資組合中的資產數為  $K$  (基數限制)；方程式(12)是若資產  $i$  納入組合 ( $z_i = 1$ ) 時，其權重  $w_i$  應位於比例下限  $\varepsilon_i$  與比例上限  $\delta_i$  之間；方程式(13)則是限制變數  $z_i$  為二元整數，代表著特定資產的投資與否。藉由抗風險權重參數  $\lambda$  的改變，求解資產投資組合最佳化的方程式(9)-(13)會形成一有基數限制的效率前緣 (cardinality constrained efficient frontier, CCEF)。運用啟發式演算法來解基數限制的投資組合最佳化問題曾由 Chang 等人 [6] 討論及驗證求解效能。

### 3.2 半變異模式 (Semi-Variance Model)

在前面章節對投資組合最佳化問題的討論，都是以 Markowitz 所提出「Portfolio Selection」文中的均異模式為參考基礎。雖然

Markowitz 模式已廣泛的為市場所接受，但均異模式僅適用於報酬率是一種常態分配的情況下，Jia 和 Dyer[7] 卻指出這種情況在實際上是很少發生的。所以對投資人而言，均異模式可能並不是最佳的選擇。配合啟發式演算法應用，投資組合最佳化問題可以使用其他更適宜的風險模式，來獲得投資人偏好的配置結果。Markowitz 也曾在「Portfolio Selection」一文中提及半變異模式或許是一個較好的選擇。

在推導半變異模式前，先定義相關的係數與變數。 $T$  是資產在經歷  $0, 1, 2, \dots, T$  時，所觀察到資產歷史價值的時間點， $v_{it}$  是單位資產  $i$  ( $i = 1, \dots, N$ ) 在時間  $t$  ( $t = 0, \dots, T$ ) 時的價值， $C_{cash}$  是投資在投資組合中的金額，而決策變數  $x_i$  則是所持有資產  $i$  ( $i = 1, \dots, N$ ) 的單位數量。在進一步的模式推導中， $z_i = 1$  代表對特定  $i$  資產做投資，若不投資則  $z_i = 0$ 。 $w_i$  則是資產  $i$  ( $i = 1, \dots, N$ ) 在時間  $T$  時  $C_{cash}$  投資的比例，而  $r_t$  是在單一連續時間  $t$  ( $t = 1, \dots, T$ ) 時所獲得的投資組合報酬。從以上定義可以數學式表示如下：

$$w_i = v_{iT} x_i / C_{cash}, \quad i = 1, \dots, N \quad (14)$$

$$r_t = \log_e \left\{ \frac{\left( \sum_{i=1}^N v_{it} x_i \right)}{\left( \sum_{i=1}^N v_{it-1} x_i \right)} \right\}, \quad (15)$$

$$t = 1, \dots, T$$

方程式(14)定義  $w_i$  是資產  $i$  在時間  $T$  時的投資組合比例，方程式(15)定義  $r_t$  是投資的報酬 (因為在時間  $t$  時的投資總值是  $\sum_{i=1}^N v_{it} x_i$ )，因此投資組合最佳化的限制式是

$$\sum_{i=1}^N z_i = K \quad (16)$$

$$\varepsilon_i z_i \leq v_{iT} x_i / C_{cash} \leq \delta_i z_i, \quad i = 1, \dots, N \quad (17)$$

$$\sum_{i=1}^N v_{iT} x_i = C_{cash} \quad (18)$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, N \quad (19)$$

$$z_i \in \{0,1\}, \quad i = 1, \dots, N \quad (20)$$

方程式(16)確保投資的資產數為  $K$  項，方程式(17)確保投資資產  $i$  的比例限制，方程式(18)確保所有的現金是投資在投資組合中，方程式(19)確保決策變數為非負值，方程式(20)則是二元整數的限制。運算上我們將以上的方程式轉換成決策變數  $w_i$  與  $z_i$  的限制式：

$$\sum_{i=1}^N z_i = K \quad (21)$$

$$\varepsilon_i z_i \leq w_i \leq \delta_i z_i, \quad i = 1, \dots, N \quad (22)$$

$$\sum_{i=1}^N w_i = 1 \quad (23)$$

$$r_t = \log_e \left\{ \left( \sum_{i=1}^N w_i v_{it} / v_{iT} \right) / \left( \sum_{i=1}^N w_i v_{i,t-1} / v_{i,T} \right) \right\},$$

$$t = 1, \dots, T \quad (24)$$

$$w_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, N \quad (25)$$

$$z_i \in \{0,1\}, \quad i = 1, \dots, N \quad (26)$$

並定義

$$\bar{r} = \sum_{t=1}^T r_t / T \quad (27)$$

$\bar{r}$  是在經過時間  $1, 2, \dots, T$  的平均投資組合報酬。因此，半變異模式僅考量低於平均報酬風險的效率集合，其投資組合的風險模式可以下列的數學式表示之：

$$\sum_{t=1; r_t < \bar{r}}^T (r_t - \bar{r})^2 / T \quad (28)$$

換句話說，風險不再是對稱分佈的（不像一般的二次規劃目標函數），而此模式的風險計算並不考慮在連續時間  $t$  內投資組合的報酬率大於或等於平均報酬率的部份（ $r_t \geq \bar{r}$ ）。綜合上述說明，基數限制效益前緣 (CCFEF) 的半變異模式可表示為：

Minimize

$$\lambda \left[ \sum_{t=1; r_t < \bar{r}}^T (r_t - \bar{r})^2 / T \right] - (1 - \lambda) \bar{r} \quad (29)$$

Subject to 方程式 (21)-(27)

有關半變異模式的討論在 Sortino and van der Meer [8] 和 Sortino and Forsey [9] 所發表的期刊中，均有更深入的探討分析。Rom and Ferguson [10] 提出統計上的證據來說明資產的報酬率並不是常態分配，同時計算下半部風險的投資組合可能會產生較高的報酬率。Rajan and Gnanendran [11] 也以經驗數據顯現常態分配並不總是有效的，半變異模式更適合投資人對於風險的評估，並且優於均異模式。有關於解決投資組合最佳化問題，Arnone, Loraschi and Tettamanzi [12] 曾經提出半變異模式，應用基因演算法求解 15 組資產的非限制性投資組合最佳化問題。Feiring, Wong, Poon and Chan [13] 使用下半部動差 (Lower partial moments) 作為目標函數，計算 60 組資產的最佳投資組合。Konno, Waki and Yuuki [14] 也證明了半變異模式可以用有效的數學規劃方法來求解大量的股票投資組合，發現半變異模式與均異模式分佈尾部的風險與報酬效益前緣分佈是並沒有差異的。但是到目前為止，在文獻中並沒有觀察到利用半變異模式求解基數限制性投資組合最佳化問題的發表。

### 3.3 平均絕對離差模式 (Mean Absolute Deviation Model, MAD)

Konno and Yamazaki [15] 於 1991 年首先將平均絕對離差的觀念使用於投資組合最佳化問題。平均絕對離差模式是利用投資組合報酬率的絕對離差替代風險計算中的變異量。從數學的觀點上，這兩個模式的涵義幾乎是相等的，但從計算的觀點來說，Markowitz 標準均異模式是二次規劃，而平均絕對離差模式是將投資組合選擇簡化為線性規劃模式。線性規劃較二次規劃能更容易計算投資組合的最佳配置。由 Konno and Wijayanayake [16]，Konno [17] 等所發表的文獻中證明 MAD 模式是快速、簡潔的經濟模式。其後 Konno and Koshizuka [18] 再度驗證 MAD 模式在理論與計算上是優於 MV 模式，也就是說 MAD 更容易處理非對稱的報酬分配。平均絕對離差模式可以下列的數學公式表示：



Minimize

$$\lambda \left[ \sum_{t=1}^T |r_t - \bar{r}| / T \right] - (1 - \lambda) \bar{r} \quad (30)$$

Subject to 方程式 (21)-(27)

在求解大數量的投資組合最佳化問題時，MAD 模式的替代使用，有利於簡化模式與降低求解的困難性。

### 3.4 具偏態的變異模式(Variance with Skewness Model)

三階次方動差投資組合最佳化的重要性觀念是在 1970 代初期由 Samuelson [19] 所提出。正如前述投資組合的報酬率並不是對稱的分配，投資組合的各別資產報酬傾向於具較高極端值的分配，而非一般的常態化分佈。較高次方動差的導入被認為會更完整地描述投資組合的實際狀態，而明顯右偏的報酬分配(正偏度)因有較少的風險，對投資人更具吸引力。

為了建立具偏態的變異模式，本研究將投資組合最佳化問題以下列數學公式表示：

Minimize

$$\lambda \left[ \sum_{t=1}^T (r_t - \bar{r})^2 / T \right] - (1 - \lambda) \bar{r} - \theta \left[ \sum_{t=1}^T (r_t - \bar{r})^3 / T \right] / \left( \sum_{t=1}^T (r_t - \bar{r})^2 / T \right)^{3/2} \quad (31)$$

Subject to 方程式 (21)-(27)

在這裡  $\theta$  是偏態的權重因子，表示對偏態採計的權重。方程式(31)是同時考量資產分配的變異量、期盼報酬和偏態，在特定  $\theta$  值的選擇下，經由條件限制產生一具有偏態變異量的效益前緣。雖然正偏度的投資組合分配隱含著某些低於平均報酬風險的減少，但卻是有利於投資者的，且投資組合分配的偏態係數受高於或低於平均值的各報酬影響，故投資組合雖具有類似的偏度卻可能有非常不同的低於平均報酬的形態。

至今僅有少數學者探討具偏態變異的投資組合最佳化問題，Lai [20] 提出多項式目標規劃演算法來求解非限制性具偏態變異的投資組合問題。Chunhachinda 等[21] 更進一步地應用上述模式到國際股票市場，說明實務上具偏態變異會造成投資組合最佳化配置的顯著改變。Konno and Suzuki [22] 也將均異目標函數擴充到包含具偏態變異的投資組合及應用

片段線性近似方法計算三組數據包含 225 支股票的投資組合。其後 Konno and Yamamoto [23] 也證明具偏態變異的投資組合最佳化模式能精確且快速的用整數規劃來求解。但據了解，至今並無文獻探討具偏態變異的基數限制性投資組合最佳化問題。在下節中我們將探討基因演算法的基本架構。

## 四、基因演算法的基本架構

基因演算法(Genetic Algorithm, GA)是由 Michigan 大學的 John Holland 教授於 1975 年所提出來的[24]，現已廣泛地被應用在許多不同的科學領域問題上。舉凡投資決策支援系統 (Investment DSS)、符號辨識 (Pattern Recognition) 及最佳化問題 (Optimization Problem) 等，基因演算法皆提供了一種不同於以往的思考模式。

GA 實際上是一種模擬「物競天擇」及「自然遺傳」的搜尋法則，達爾文的「進化論」則是基因演算法的理論基礎。在應用基因演算法來求解最佳化問題之前，必須將所遇到的問題轉換成所對應的函數，稱為適應函數(Fitness Function)，以機率方式引導搜尋最佳解的方向。由程式設計的觀點，所謂演化即是經由基因演算法中的三個運算機制：複製 (Reproduction)、交配 (Crossover) 與突變 (Mutation) 交互運作去產生新的個體，而篩選 (Selection) 則是以一個預先定義之適應函數 (Fitness Function) 去建構其生存環境，所有的物種皆以符合其要求為終極目標進行演化，並保留較符合適應函數的資料結構而淘汰較差者。依據 GA 運算的定義及規則，一個簡易的 GA 可以下列的 Pseudo Code 說明如下：

```

Generate an initial population P
Evaluate the population P
Repeat
    Randomly pick  $S_1$  and  $S_2 \in P$ 
    Select parent  $P_1 = S_1$  if  $f(S_1) \leq f(S_2)$  ,
    else  $P_1 = S_2$ 
    Select parent  $P_2$  by the same procedure as  $P_1$ 
    Breed child C by uniform crossover  $P_1$  and  $P_2$ 
    Mutate C by altering one gene
    Evaluate the child C
    
```

Find the worst solution  $S^* \in P$

$$P = P + C - S^*$$

Until the termination criterion is true

以下就將每一步驟加以解釋如下：

#### 4.1 定義適應函數(Fitness Function)

適應函數是用來判別個體的適應程度，也是基因演算法的績效指標，用以計算與評估各染色體的優劣。在最大化問題中，可使適應函數等於目標函數；而在最小化的問題中，可使適應函數為 Fitness Function =  $M - f(x)$ ，其中  $M$  為常數， $f(x)$  為目標函數，如此，越小的目標函數值，即擁有越高的適應函數值。所以在處理均異模式的問題上，適應函數值將以最小風險函數（變異量）為主要考量，來定義適應函數。而基因演算法主要目的就是要求使風險函數最小化的決策變數向量。

#### 4.2 決定編碼(Coding)與解碼(Decoding)方式與產生位元字串

為了有效的搜尋變數空間，首先確認每個變數的搜尋範圍，再將每個變數以固定長度加以編碼。最簡單而常被使用的編碼方式為二進位編碼(Binary coding)，如令搜尋範圍為(0,7)之間，以 3 個二進位元加以編碼，則  $0 \rightarrow (000)$ ， $7 \rightarrow (111)$ ，所有介於(0,7)之間的值都可編碼成二進位的三位元字串，以便進行複製、交配等運算，之後再解碼並計算適應函數值。其中一個位元字串相當於生物學中的染色體(Chromosome)，每一位元則代表每一個基因(Gene)。由以上說明可知，參數的搜尋精度取決於編碼的長度，雖然愈長的編碼位元可得到較高的解析度，相對的需付出耗用記憶體及犧牲運算速度的代價。

#### 4.3 產生起始母體(Initial population)

在開始基因演算法之前，必須先由母體中隨機抽取產生第一代的族群，此原始解的性能指標（適應函數的值）可能很低，基因演算法的目的便是透過複製、交配等運算，經過幾代演化之後，能一代比一代更好，使整個性能指標提高，求得最佳的適應函數解。

#### 4.4 基本運算因子：複製、交配與突變

這些運算因子的主要目的是用來做為舊一代族群，以產生新一代族群，其過程簡述如下：

##### 4.4.1 複製(Reproduction)

依據適應函數值的大小，將染色體予以複製。較好的染色體將會複製多個，而較差的染色體會被自然淘汰，經由再生程序，所選擇出來的染色體將成為此次演進的主要母體。以「輪盤法」(Roulette wheel selection)為例，決定第  $i$  個染色體在再生過程中被選取的機率可以下列函數表示：

$$P(S_i) = f(S_i) / \sum_{i=1}^N f(S_i), \quad i = 1, \dots, N$$

由機率函數可知，適應函數值愈大的染色體，愈容易在再生的過程中被選取。

##### 4.4.2 交配(Crossover)

交配是 GA 主要的運算因子，主要步驟有二：計算母代要進行交換的個數，其值為群體個數乘以交換率；隨機選擇成對的染色體進行交換，經常使用的交換方式有單點交配、兩點交配和均勻交配等。

##### 4.4.3 突變(Mutation)

突變是 GA 跳脫區域極值的關鍵，以防止求解在一連串的複製與交配過程中，因被圍限在一個區域最佳解中無法跳出，而不能找到全域的最佳解。最單純的突變方法是依系統突變率(Mutation rate)來控制，若設定系統突變率為 0.001，則當隨機值大於 0.001 時不發生突變，反之則引導突變的產生。

#### 4.5 演化與最佳解的產生

自然演化的過程是根據性能指標為依據，理論上子代的性能指標高於母代，經由較佳的子代部分或全部取代較差的母代，如此一代一代的演化下去，再配合演算停止條件的設立，終能找到適應函數的最佳解或近似最佳解。

## 五、以GA求解軍事專案投資組合最佳化之研究方法及步驟

本研究所建構之 GA 求解軍事專案投資組合最佳化運算程序共分為五個階段，說明如下：

### 階段一：建構初始母體

本研究我們使用母體的大小為 100，而母體中的每一個解是隨機產生的。由於基數與比例限制，故初始解必須經下階段的處理以確保其可行性。

### 階段二：染色體的表達與適應函數的計算

我們使用均異目標函數  $f = \lambda \left[ \sum_{i \in Q} \sum_{j \in Q} w_i w_j \sigma_{ij} \right] - (1 - \lambda) \left[ \sum_{i \in Q} w_i \mu_i \right]$  作為一個範本來說明如何在限制性投資組合最佳化問題裡獲致可行解。基因演算法的染色體是一個解，因應基數與比例限制的要求，解可分成兩個不同部份。已配置部份是含有  $K$  個資產的集合  $Q$  ( $K$  指基數限制) 及  $K$  個實數值  $s_i$  ( $0 \leq s_i \leq 1$ )，其中  $i \in Q$ 。對於每一個已配置的資產  $s_i$  都有一個比例下限  $\varepsilon_i$ ，計算這  $K$  個資產的下限總合為  $\sum_{j \in Q} \varepsilon_j$ ，剩餘部份則為  $1 - \sum_{j \in Q} \varepsilon_j$ 。所以我們配置於  $K$  個資產的權重可以式子  $w_i = \varepsilon_i + \left( s_i / \sum_{j \in Q} s_j \right) \left( 1 - \sum_{j \in Q} \varepsilon_j \right)$  表達之，即比例下限加上適當的待配置部份。

由於方程式(12)資產比例的限制，並不是所有可能的染色體都是可行解。但上式能保證比例下限  $\varepsilon_i$  可以在單一的演算步驟中獲得滿足，而比例上限  $\delta_i$  的存在則需要另一個迭代程序來確保。

### 階段三：複製、交配與突變

雙親的選取是用二元競賽法 (Binary tournament)，由母代中隨機選取兩組成對的染色體，每組中適應函數值較高者被選為雙親之一，再配對以產生子解。因此適合度越高者，其被選取到的機率也越高。基因交配的目的是希望能夠製造出同時兼具父母優點的新子代，本研究的交配方法為均勻交配，並由雙親

交配產生一個子解。故其雙親任一方所持有的某項資產  $i$  將會有 0.5 的機率傳遞至子解。突變則取交配後的任一存在資產值乘 0.9 或 1.1 (具均等的選取機率)，換句話說，突變後的值可能增加或減少 10%。

### 階段四：替代

本研究用穩態的母體替代策略，當一個新的子解產生後，即刻取代母體中具有最差適應函數值的成員。

### 階段五：演算停止條件

本演算法經 1000  $N$  個演算迭代後停止運算。最終母體內具佳適應函數值的解即為演算的最佳解。

## 六、研究結果與討論

本研究所使用的程式是以 Microsoft Visual C++ 6.0 編寫，測試環境為 Pentium 4, 2.8GHz CPU 的個人電腦，輸入資料則為上述十大軍事投資項目及十六個年度的投資報酬率所構成的  $10 \times 16$  的數據矩陣。求解中設  $K = 10$  來考慮所有的投資項目，並計算 500 個不同的抗風險權重參數  $\lambda$  以獲得效益前緣與資產配置。

以本研究所建構之 GA 求解軍事專案投資資產投資組合最佳化問題，在不同風險下所得到的基數限制效率前緣(CCEF)如圖 1 至圖 4。不同風險指數下投資資產的權重分配如圖 5 至圖 8。比較均異模式在 S&P 100 Index 股票市場運算所得到的 CCEF 如圖 9。具偏態的變異模式在不同的  $\theta$  值下的 CCEF 變化如圖 10。而四種不同風險模式投資組合最佳化演算所使用的時間如表 5，表 6 則為具偏態的變異模式在不同的  $\theta$  值下的計算時間。茲將本研究結果分項說明如下：

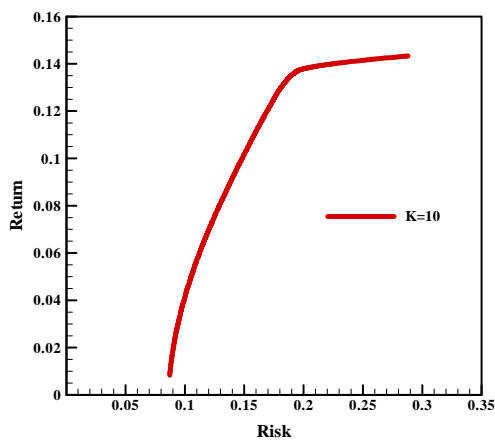


圖 1. 軍事專案投資數據在均異模式下的 CCEF。

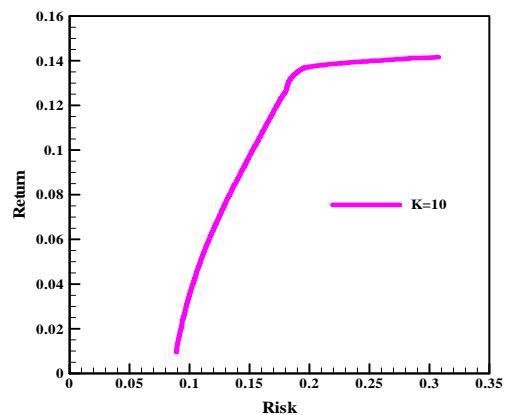


圖 4. 軍事專案投資數據在具偏態的變異模式下的 CCEF。

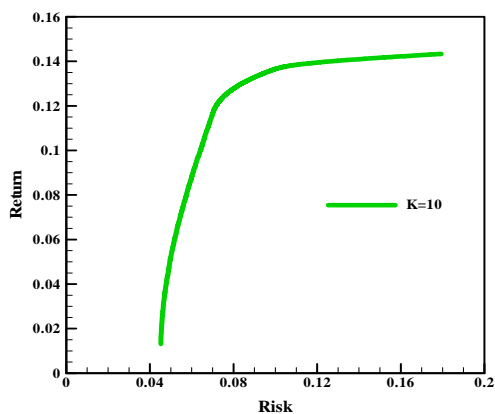


圖 2. 軍事專案投資數據在半變異模式下的 CCEF。

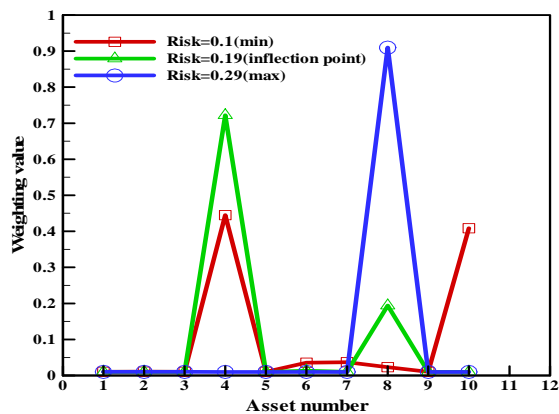


圖 5. 均異模式在不同風險指數下的資產配置。

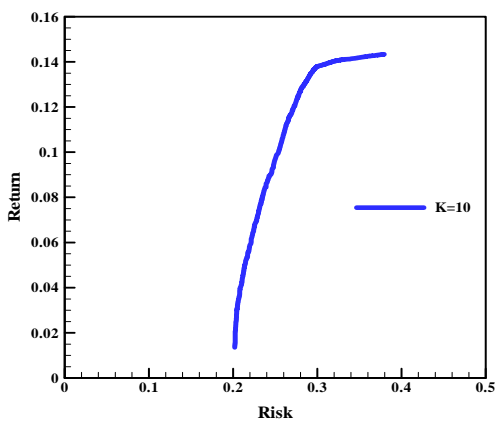


圖 3. 軍事專案投資數據在平均絕對離差模式下的 CCEF。

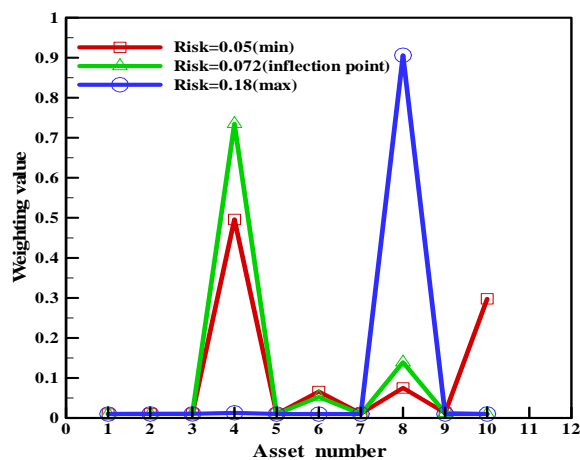


圖 6. 半變異模式在不同風險指數下的資產配置。

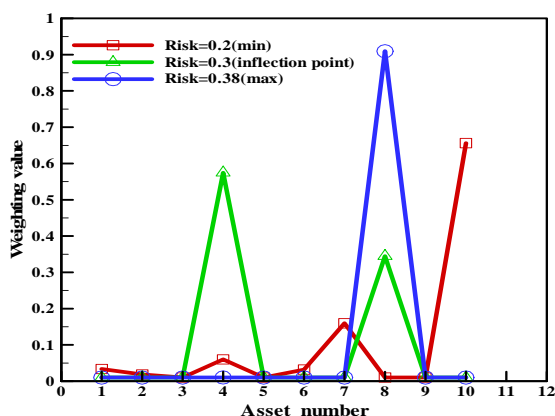


圖 7. 平均絕對離差模式在不同風險指數下的資產配置。

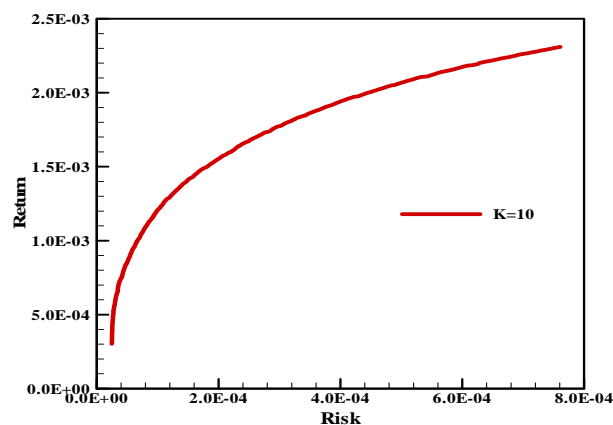


圖 9. S&P 100 指數在均異模式下的 CCEF。

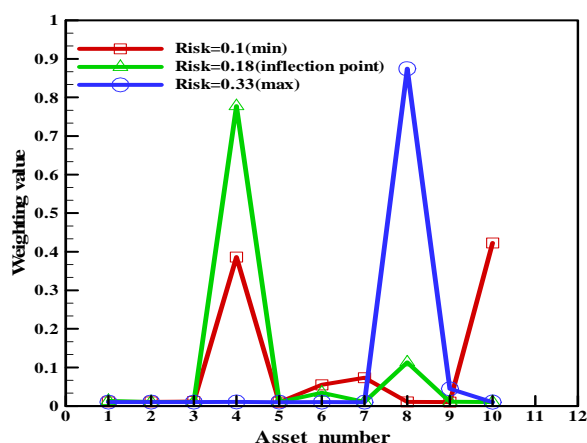


圖 8. 具偏態的變異模式在不同風險指數下的資產配置。

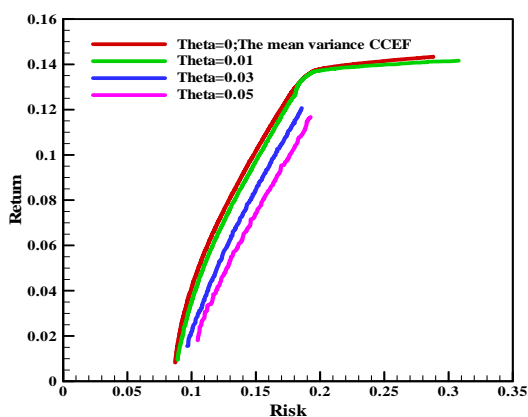


圖 10. 具偏態的變異模式在不同的  $\theta$  值下的 CCEF。

表 5：GA 不同風險模式下的求解計算時間

均異模式	半變異模式	平均絕對離差模式	具偏態的變異模式
47 秒	48 秒	54 秒	50 秒

表 6：GA 對於具偏態的變異模式在不同的  $\theta$  值下的求解計算時間

$\theta=0.00$ 時為均異模式	具偏態的變異模式 $\theta=0.01$	具偏態的變異模式 $\theta=0.03$	具偏態的變異模式 $\theta=0.05$
47 秒	50 秒	52 秒	54 秒

(1) 因為風險指標量測方式的不同，在不同的風險模式下的 CCEF 不能直接的相互比較，且本研究所探討的重點是 GA 在不同風

險模式下的投資組合最佳化求解，對於前文所述各別風險指標的優劣，並不是研究的目的。

(2) 圖 1 至圖 4 在均異、半變異、平均絕對離差和具偏態的變異四種不同的風險模式下，所求解到的基數限制效益前緣(CCEF)均有相似的結果。因此，本研究所提出的 GA 方法適用於求解軍事投資組合最佳化問題，且能彈性與一致地處理不同風險指標的選擇。

(3) 觀察圖 1 至圖 4 有一個共通的特點，就是在起始階段於較小風險值時，其報酬值會隨著風險的擴大而迅速增加。相對的，當風險超過某一特定值時，其報酬值的增益明顯變小，但對應的風險值卻迅速增加。本研究稱此風險與報酬座標平面上的特殊點為轉折

點，依其風險目標函數的不同，其轉折點的值亦有所不同。對決策者而言，若僅單純地考慮報酬與風險因素時，則轉折點對應的資產配置是可以優先考慮的標的。由圖 5 均異模式的資產配置結果來看，若考量低風險水準 0.1，則可選擇 W4 及 W10 的資產項目為其首要選項，資產 W6、W7 及 W8 為其次的投資選擇。隨著風險增加到 0.19 的轉折點位置時，其投資組合的資產配置逐漸集中於 W4 及 W8 兩項資產。當風險趨近極大值 0.29 時，資產配置將集中在最大報酬的一組資產 W8 上。依此概念圖 6 半變異模式在低風險值 0.05 時，投資組合的資產配置集中於 W4、W6、W8 及 W10 等項目；在轉折點風險值為 0.072 時，其資產配置較偏重於 W4、W6 及 W8 三項資產；高風險值時則集中於資產 W8。在圖 7 平均絕對離差模式和圖 8 具偏態的變異模式中，亦有類似的結果產生。於低風險值分別為 0.2 和 0.1 時，投資組合的資產主要配置在 W4、W6、W7 及 W10 等四項資產。風險模式的選擇是由決策者的偏好所決定，各風險模式所獲得的結果雖不能直接比較，但配置項目若是相似，則或可增加決策者採納的信心。

(4)圖 9 計算 S&P 100 指數(99 支股票於 2004 至 2006 的價格數據)在均異模式下的投資組合，此近似圓弧平滑曲線的效益前緣與圖 1 有所差異。若隨著資產項目的增加及數據可靠度的提高，理應會有近似的計算結果產生。

(5)圖 10 具偏態的變異模式裡，當偏態權重係數  $\theta = 0$  時即為均異模式。若  $\theta$  值逐漸增加為 1%、3% 及 5% 時，效益前緣曲線漸漸向內緣延伸集中且成近似直線性的增長，與我們原有的連續凸函數曲線有相當的不同，所以決策者採用此模式時，應更慎重地選擇適當的偏態權重係數  $\theta$  值。

(6)表 5 及表 6 顯示基因演算法對各種風險模式的個人電腦求解時間均不超過 1 分鐘，說明此法是一個迅速有效的工具。由表 5 得知雖然平均絕對離差模式為線性目標函數，但耗用時間卻最長，故本演算法在此種模式並不具計算優勢。在表 6 中，具偏態的變異模式所需計算時間會隨著  $\theta$  值上升而增加，故由二次式目標函數轉變成高階次方動差的

目標函數時，其搜尋最佳解的時間可能會增長。

(7)綜合以上陳述，本研究的基因演算法適合求解不同風險模式的效益前緣，並對不同的風險指標提供軍事專案投資各項資產的最佳配置，決策者可依不同的風險偏好及需求，於低風險時分散投資在多項資產，而選擇高報酬時將預算集中投資某些特定資產，以量化模式做為決策的依據。

## 七、結論與後續研究方向

本研究的主要目的在探討基因演算法求解不同風險模式下的投資組合最佳化問題，並與軍事專案投資的配置相結合。在研究中藉由國軍歷年來的重要發展，整理出十大兵力整建項目與投資預算額度，並估算戰力指數及投資報酬率，做為模式與演算法驗證的數據。演算法經測試可以迅速且有效地處理一系列的風險目標函數，並得到最佳投資組合的資產配置，來做為決策的依據。本文運用計量方法來分析軍事專案投資的組合配置，冀望能拋磚引玉，吸引更多的學者專家在此領域做深入的探究，以協助國軍提升軍事投資決策量化的能力及增加投資的效益。

對於後續研究的建議，在數據方面可考慮擴大處理範圍，增加每個兵力整建項目的子項數目，以求資料的完整性；在戰力指標方面也可逐次考慮可靠度(Reliability)、可用度(Availability)、維護度(Maintainability)及存活度(Survivability)等，如此更能增加戰力計算的精確性；在模型發展方面，可以增加分類限制條件，則最佳組合的配置可以進一步分配到每一個子項目；最後，在演算法運用方面，亦可以嘗試其他演算法如限制搜尋法(Tabu Search)、模擬退火法(Simulated Annealing)及類神經網路(Neural Network)等，如此或許可以比較求解能力的異同。

## 參考文獻

- [1] Markowitz, H., "Portfolio selection," *Journal of Finance*, Vol. 7, No. 1, pp. 77-91, 1952.
- [2] Markowitz, H. M., *Portfolio selection:*

- Efficient Diversification of Investments, Yale University Press, John Wiley, New York, 1991.
- [3] Bienstock D., "Computational study of a family of mixed-integer quadratic programming problems," *Mathematical Programming.*, Vol. 74, pp. 121-140, 1996.
- [4] Young, M. R., "A minimax portfolio selection rule with linear programming solution," *Management Science.*, Vol. 44, pp. 673-683, 1998.
- [5] Chatfield, C., and Yar, M., "Prediction Intervals for the Holt-Winters forecasting Procedure," *International Journal of Forecasting.*, Vol. 6, pp.127-138, 1990.
- [6] Chang, T. J., Meade, N., Beasley J. E, and Sharaiha, Y. M., "Heuristics for cardinality constrained portfolio optimization," *Computers and Operations Research.*, Vol. 27, No. 13, pp. 1271-1302, 2000.
- [7] Jia J., and Dyer, J. S., "A standard measure of risk and risk-value models," *Management Science.*, Vol. 42, pp. 1691-1705, 1996.
- [8] Sortino F. A., and R. van der Meer., "Downside risk," *Journal of Portfolio Management.*, Summer; Vol. 17, No. 4, pp. 27-31, 1991.
- [9] Sortino, F. A., and Forsey, H. J., "On the Use and Misuse of Downside Risk," *Journal of Portfolio Management.*, Vol. 22, No. 2, pp. 35-42, 1996.
- [10] Rom, B. M., and Ferguson, K.W., "portfolio theory is alive and well: A response," *The Journal of Investing.*, Fall, pp. 24-44, 1994.
- [11] Rajan, M., and Cnanendran, K., "Alternative risk measures in portfolio selection: Variance vs semivariance," In *Proceeding of the 1997 28th Annual Meeting of the Decision Science Institute*, Decision Science Institute, Atlanta, pp. 259-261, 1997.
- [12] Arnone, S., Loraschi, A, and Tettamanzi, A., "A genetic approach to portfolio selection," *Neural Network World.*, Vol. 6, pp. 597-604, 1993.
- [13] Feiring, B. R., Wong, W. L., Poon, M, and Chan, Y. C., "Portfolio selection in downside risk optimization approach-application to the Hong Kong stock market," *International Journal of System Science.*, Vol. 25, pp. 1921-1929, 1994.
- [14] Konno, H., Waki, H, and Yuuki, A., "Portfolio Optimization under Lower Partial Risk Measures," *Asia-pacific Financial Markets.*, Vol. 9, pp.127-140, 2002.
- [15] Konno, H., and Yamazaki, H., "Mean-absolute deviation portfolio optimization model and its application to the Tokyo Stock Market," *Management Science.*, Vol. 37, pp. 519-531, 1991.
- [16] Konno, H., and Wijayanayake, A., "Portfolio optimization under D.C. transaction costs and minimal transaction unit constraints," *Journal of the Global Optimization.*, Vol. 22, pp. 137-154, 2002.
- [17] Konno, H., "Portfolio optimization of small fund using mean-absolute deviation model," *International Journal of Theoretical and Applied Finance.*, Vol. 6, No. 4, pp. 403-418, 2003.
- [18] Konno, H., and Koshizuka, T., "Mean-absolute deviation model," *IIE Transactions.*, Vol. 37, pp. 893-900, 2005.
- [19] Samuelson, P., "The fundamental approximation theorem of portfolio analysis in terms of means variances and higher moments," *Review of Economic Studies.*, Vol. 37, pp. 537-542, 1970.
- [20] Lai, T.Y., "Portfolio selection with skewness: A multi-objective approach," *Review of Quantitative Finance and Accounting.*, Vol. 1, pp. 293-305, 1991.
- [21] Chunhachinda P., Dandapani S. H, and Prakash A. J., "Portfolio selection and skewness: Evidence from international stock markets," *Journal of Banking & Finance.*, Vol. 21, pp. 143-167, 1997.
- [22] Konno, H., and Suzuki, K., "A Mean-Variance-Skewness portfolio optimization model," *Journal of the Operations Research Society of Japan.*, Vol. 38, No. 2, pp.173-187, 1995.
- [23] Konno, H., and Yamamoto, R., "A Mean-Variance-Skewness model: algorithm and applications," *International Journal of Theoretical and Applied Finance.*, Vol. 8, No. 4, pp. 409-423, 2005.
- [24] Holland, H. J., Adaptation in Natural and

楊尚青等  
以基因演算法求解軍事專案投資組合最佳化問題

Artificial Systems, University of Michigan  
Press, Ann Arbor, 1975.