

蟻群最佳化系統在台灣股票市場投資決策之應用

陳明琪

台北科技大學工商管理研究所

林逾先

台北科技大學商業自動化與管理研究所

郭人介

台北科技大學工業工程與管理研究所

摘要

本研究的主要目的是運用蟻群最佳化演算法，針對台灣股票市場建構一個理性的投資決策系統，探討ACO系統最適化參數及其在股市投資決策上之投資績效，並研究系統參數變動對投資績效之影響。模型中以股價、20日移動平均線、KD線與成交量等技術分析指標為判斷因子，根據蟻群最佳化之路徑選擇機率進行投資。設定成交量為費洛蒙濃度訊息、KD值為能見度資訊。研究結果發現ACO系統最適化參數為股票個數 $n=10$ 、費洛蒙殘留係數 $\rho=0.9$ 、費洛蒙刺激係數 $\alpha=1$ 、能見度刺激係數 $\beta=2$ 。另外，ACO系統之投資績效優於標準系統及大盤系統的投資績效，且ACO系統在研究期間之投資報酬率高達108.64%，遠超過銀行定存之獲利。

ACO系統的參數測定顯示費洛蒙殘留係數 ρ 值的改變，會影響ACO系統之投資績效， ρ 值越高，ACO系統搜尋最佳投資組合之能力越好。且費洛蒙刺激係數 α 值與能見度刺激係數 β 值的變動，會影響ACO系統之投資績效，當 $\alpha=1$ 、 $\beta=2$ 時，ACO系統之投資績效最高；當 $\alpha=1$ 、 $\beta=1$ 時，ACO系統之投資績效最差。

關鍵字：蟻群最佳化、KD指標、成交量、20日移動平均線



The Application of Ant Colony Optimization System on the Investment Strategies at Taiwan Stock Market

Ming-Chi Chen

Graduate Institute of Industrial and Business Management, National Taipei University of
Technology

Edward Yu-Hsien Lin

Graduate Institute of Commerce Automation and Management, National Taipei University
of Technology

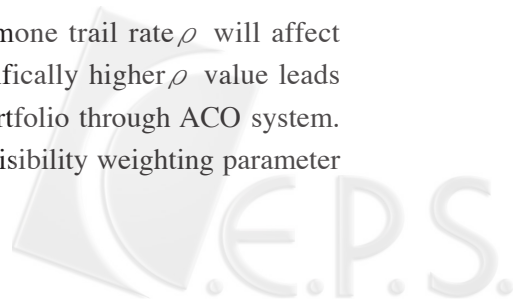
Ren-Jieh Kuo

Graduate Institute of Industrial Engineering and Management, National Taipei University of
Technology

Abstract

This paper studies the optimization of ACO (Ant Colony Optimization) system parameters aiming at constructing a rational investment decision-making system for Taiwan stock market. It studies the effect of changing system parameters on the performance of investment return. Our model takes into account the technical indicators that include stock price, 20-day moving average, KD line and trading volume as the determining factors. Specifically, the trading volume is the phenomenon, the data of stochastic line KD is the visibility. The results of our research reveals that optimal parameters of ACO system are 10 for stock kinds, 0.9 for pheromone trail rate ρ , 1 for pheromone trail weighting parameter α , and 2 for visibility weighting parameter β . Furthermore, the ACO system adopted in this research has better investment return performance than that from the standard system and stock market. The 108.64% investment return rate generated from this research is far better than the profit obtained from fixed term deposit.

Our research results indicate that the change of pheromone trail rate ρ will affect the optimal return of the portfolio under ACO system. Specifically higher ρ value leads to stronger capability of searching the optimal investment portfolio through ACO system. The variation of pheromone trail weighting parameter α and visibility weighting parameter



β will affect the portfolio performance through ACO. It is found that ACO yields the best investment performance when $\alpha=1$ and $\beta=2$. On the other hand, it generates the least performance when $\alpha=1$ and $\beta=1$.

Key words: Ant colony optimization, KD technical indicators, stocks trading volume, 20-day moving average



壹、緒論

近年來，隨著國內金融制度的自由化與國際化，國內金融市場與國際金融體系接觸日益頻繁，可以操作的投資工具日趨多元，衍生性金融商品不斷推陳出新。金融商品的多樣化，一方面使得市場上的投資者有更多分散風險的避險工具可供選擇，但同時也使得投資者在投資決策的過程中，面對更多的變數與不確定性。在如此多樣化的金融市場與投資工具環境下，欲尋求一個可以獲利的投資策略並不是一件容易的事。

在劇烈波動的金融市場上，股票市場一直是投資者眾且不可或缺的一環。投資人往往為了該不該進場、何時進場？該不該加碼、如何加碼？或者該不該減碼、如何減碼？該不該退場、何時退場？而猶豫不決，無法進行正確的投資決策。因此，如何預測股價的漲跌走勢以進行投資組合與決策，一直是學術界與實務界極感興趣並竭力探討研究的主題之一。傳統投資組合最佳化問題，大多建立在數學模型的求解上，但是所面對的是一個巨大的解空間。因此找尋一套具備效率與效能的分析工具，能夠快速搜尋解空間以找出最佳解，成為一個重要的議題。

螞蟻演算法是由Dorigo、Maniezzo與Colorni於1991年提出的一個新的啟發式演算法，最初的模型稱為螞蟻系統(Ant System)。經過長期的研究，1996年Dorigo、Maniezzo與Colorni提出了第一個最佳化模型。1997年Dorigo與Gambardella成功的應用在銷售員旅行問題(Traveling Salesman Problems; TSP)上。當時的模型稱為蟻群系統(Ant Colony System; ACS)，是模仿蟻群覓食行為所發展出來的啟發式演算法。2000年Dorigo、Bonabeau與Theraulaz針對銷售員旅行問題提出了一個新的模型，稱為蟻群最佳化(Ant Colony Optimization; ACO)。

經過近年來的研究與改良，螞蟻演算法被廣泛地運用在各種不同的領域，如多目標規劃、生產排程問題、運輸途徑、二次指派問題與知識管理等(Dorigo & Stutzle 2003)。本研究擬將蟻群最佳化應用在財金領域上，嘗試建立一套股票投資分析的決策系統，作為投資人決策之參考。

因此，本研究之主要目的是建立ACO的投資決策系統，找出此系統之最適化參數，並進行實證模擬。由台灣股票市場中，挑選出不同類股之股票，運用ACO系統進行股票投資分析。在本研究中將以股價、移動平均線(MA)、KD線與成交量等技術分析指標為判斷因子，建構一個理性的投資決策系統，以系統提供的資訊作為投資決策之依據。本研究之目的可歸納為下列三項：

1. 建構蟻群最佳化投資決策之模式，搜尋ACO系統之最適化參數。
2. 評估ACO系統投資決策之績效與穩定性。
3. 透過不同參數值及條件的改變，探討其對ACO系統之影響。



貳、文獻探討

一、螞蟻理論的概念與發展

螞蟻是一種群體生物，大部分的螞蟻終其一生都在蒐集和儲存食物。根據生物學家的觀察，當螞蟻從發現食物到開始搬運一段時間後，負責搬運食物回巢的蟻群絕大部份會沿著一條最佳路徑或數條「近乎最短」的路徑，將食物搬運回巢。因此，蟻群覓食及搬運路徑的選擇方式引起學者們的研究興趣。

生物學家研究後發現，當螞蟻移動時，選擇的移動路徑通常是隨機的，但螞蟻會在經過的路徑上留下一種分泌物-費洛蒙(Pheromone)。留下費洛蒙的目的是為了能夠留下記號，一方面方便自己返回巢穴，另一方面則能夠讓同伴追隨。路徑的長短會影響費洛蒙的濃度，當其他螞蟻經過時，就有較大的機會選擇費洛蒙濃度較高的路徑。隨著時間逐漸增長，愈來愈多的螞蟻會選擇走同一路徑(即最短路徑)往返蟻穴與食物之間。螞蟻演算法的原理就是源於自然界中，螞蟻建立覓食路徑的行為模式。在整個覓食及搬運路徑的建立過程中，並沒有任何一隻螞蟻知道哪一條路徑較短。但是，透過蟻群間的訊息分享，讓整個群體逐漸找出一條較佳路徑。蟻群演算法將相似的原理應用於搜尋高維度問題的最佳解上，而其應用時的原則有以下三點：(1)所解決的問題必須可以路徑方式表示、(2)必須先決定費洛蒙分泌與存留的方式、(3)必須決定選擇路徑的機率計算方式。

二、蟻群最佳化

蟻群最佳化主要是針對銷售員旅行問題而發展的演算法，銷售員旅行問題如下：在一個地區中有若干個城市，城市之間皆有道路可彼此相連，但其間之道路距離不全相等；銷售員由任一個城市出發，途中須經過所有城市，凡走過之城市不可重覆，最終回到起始的城市，求完成所有城市旅行之最短路徑。

銷售員旅行問題是屬於NP-complete problem (NP是指非決定多項式；nondeterministic polynomial)，隨著城市數目的增加將導致搜尋的解空間以更大幅度的方式成長。求解TSP問題的方法可分為確切解法(Exact Algorithm)與啟發式解法(Heuristic Algorithm)兩種，確切解法如：分枝界限法(Branch-and-Bound) (Volgenant 1982)、動態規劃法(Dynamic Programming) (Hansen & Karp 1962)、整數規劃法(Linear Programming) (Gomory 1963)等，雖能解決此一問題，但隨著城市數目的增加，求解的時間呈指數增加，無法在合理時間內完成求解。因此，當問題規模很大時，大多以啟發式演算法求解。Dorigo於2000年，提出蟻群最佳化(Ant Colony Optimization; ACO)方法解TSP問題，在城市數目為200個以下時，最佳解誤差小於2%。(Dorigo et al. 2000)

在Dorigo的研究中主要機制有二：一為路徑選擇機率函數，另一為費洛蒙訊息更新機制。(Dorigo & Stutzle 2004)

(一) 路徑選擇機率函數

若有 m 隻螞蟻隨機選取 n 個城市為起始點，在時間 t 時第 k 隻螞蟻由城市 i 選擇到城市 j 的

機率函數為：

$$P_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \times [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in N_i^k} ([\tau_{il}(t)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta)}, & \text{若 } j \in N_i^k \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

其中 N_i^k 表示第 k 隻螞蟻由城市 i 到下一城市的所有可能城市集合，而 α 與 β 為控制費洛蒙與啟發式函數值之重要關係的參數， $\tau_{ij}(t)$ 為城市 i 到城市 j 路徑存留之費洛蒙值， $\eta_{ij}(t)$ 則為局部啟發式函數(Locally Heuristic Function)，是以城市 i 到城市 j 距離的倒數求得，即 $\eta_{ij}(t) = \frac{1}{d_{ij}}$ 。費洛蒙 τ_{ij} 的求法為：

$$\tau_{ij}(t+n) = \rho \tau_{ij}(t) + \Delta \tau_{ij} \quad (2)$$

其中 ρ ($0 < \rho \leq 1$) 為費洛蒙殘留係數， $(1-\rho)$ 則為費洛蒙揮發係數， $\Delta \tau_{ij}$ 為費洛蒙變化量，亦即所有由城市 i 到城市 j 的螞蟻留下之費洛蒙的總量。因此費洛蒙變化量的公式為：

$$\Delta \tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k \quad (3)$$

其中第 k 隻螞蟻由城市 i 到城市 j 留下之費洛蒙量 $\Delta \tau_{ij}^k$ 為：

$$\Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L_k}, & \text{若第 } k \text{ 隻螞蟻在時間 } t \text{ 到 } t+n \text{ 時經過路徑}(i,j) \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

Q 為常數，一般為整數值，例如：1、10、100...等。 L_k 為第 k 隻螞蟻所走過城市路徑長之總和(Dorigo & Blum 2005)。

(二) 費洛蒙訊息更新機制

考慮費洛蒙揮發(Pheromone Evaporation)的目的在避免某些路徑上之費洛蒙濃度無限制累積，而讓蟻群有機會探索其他路徑。但費洛蒙揮發值 $(1-\rho)$ 的設定應避免過高，造成經驗無法累積。而費洛蒙訊息的更新機制有下列兩種：

1. 局部更新(Local update)

費洛蒙局部更新是指螞蟻在進行費洛蒙訊息更新時，乃依據前一次螞蟻所給的費洛蒙訊息來進行修改，局部更新法有兩種：一為螞蟻密度模式(Ant Density Model)，另一為螞蟻質量模式(Ant Quality Model)。分別敘述如下：

(1) 螞蟻密度模式：

$$\Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} Q, & \text{若第 } k \text{ 隻螞蟻在時間 } t \text{ 到 } t+1 \text{ 時經過路徑}(i,j) \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$



上式的意義為第k隻螞蟻分泌費洛蒙時，會以某一固定量分泌。因此費洛蒙濃度與經過的螞蟻數量成正比，第k隻螞蟻選擇下一個城市時會以之前有多少螞蟻走過為依據。

(2) 螞蟻質量模式：

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{d_{ij}}, & \text{若第 } k \text{ 隻螞蟻在時間 } t \text{ 到 } t+1 \text{ 時經過路徑}(i,j) \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

上式的意義為第k隻螞蟻分泌費洛蒙時，會以城市i到城市j距離的倒數為依據。

2. 全域更新(Global update)

費洛蒙全域更新指的是對第k隻螞蟻而言，螞蟻會經由上一次所走過的路徑總和來作為費洛蒙的依據。

$$\Delta\tau_{ij} = \begin{cases} \frac{Q}{L_k}, & \text{若第 } k \text{ 隻螞蟻在時間 } t \text{ 到 } t+n \text{ 時經過路徑}(i,j) \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

全域更新和局部更新不同的是：全域更新考量到螞蟻的整體經驗，而不是上一隻螞蟻的個別經驗。而在系統實作上，全域更新法是在執行完一個步驟後，全部的螞蟻再一起更改費洛蒙值。

三、螞蟻演算法相關文獻

Maniezzo(1999)採用不同之機率選擇規則，將螞蟻演算法應用於二次指派問題(Quadratic Assignment Problem; QAP)，結果顯示螞蟻演算法在求解QAP上具有優良之表現。文獻中提出一結語：螞蟻演算法並非全收斂至同一個解，而是收斂至一群好的解上，進而找到最佳解。

McMullen(2001)以螞蟻最佳化方法模擬多目標及時生產排程問題，提出兩個重要模擬目標：最小化設施成本及原物料最佳使用效率。將資料轉換為TSP資料型式後以螞蟻最佳化方法求解，並與其他啟發式演算法，如：SA、TS、GA及類神經演算法比較，結果發現螞蟻最佳化能在短時間內獲得較佳的解。

Tsai et al.(2002)應用不同喜好策略的蟻族最佳化(Ant Colony Optimization with Different Favor; ACODF)方法於資料叢集。ACODF演算法擁有三個重要的機制：(1)在求解叢集問題上使用不同偏好的人工蟻，(2)加入模擬退火法(Simulated Annealing)的概念逐漸減少人工蟻所需搜尋的節點以得到區域的最佳解，(3)應用競爭式選擇策略(Tournament Selection Strategy)選擇路徑。人工蟻只需要搜尋少數節點，而不是全部的節點，然後人工蟻每次反覆逐漸減少搜尋的節點，在幾個反覆後，距離較近的節點間累積的費洛蒙強度增加，因此人工蟻會較喜愛到近的節點，也進一步提高了較短路徑上的費洛蒙累積量，最後叢集因而產生。

Bell與McMullen(2004)使用ACO演算法研究車輛途程問題(Vehicle Routing Problems; VRP)，分別以單蟻群與多蟻群兩種方式進行探討，結果發現ACO演算法能夠成功應用在VRP問題上，並且最佳解誤差小於1%。另外，多蟻群方法在較大尺度問題上是一個比單蟻群方法更具有競爭力的技巧。

Doerner et al.(2004)研究多目標專案組合選擇(Multiobjective Project Portfolio Selection)，利用二相位做法改良螞蟻演算法，首先以Pareto最佳化確定解空間中所有高效率的投資，接著允許人工螞蟻交互式地探索解空間。這種方法被稱為Pareto蟻群最佳化。他們考慮經典的蟻群系統ACS，雖然使用蟻群最佳化演算法，但在費洛蒙全域更新時，分別以最佳與次佳兩隻不同的人工螞蟻來更新，讓兩隻不同的人工螞蟻交互探索，研究發現這種Pareto蟻群最佳化方法在多目標專案組合選擇上優於Pareto模擬退火法(Pareto Simulated Annealing)與非支配基因演算法(Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm)。

Holden與Freitas(2005)以ACO演算法來解決樹狀的階層式分類(Hierarchical Classification)問題，他們以結合ACO演算法及粒子群最佳化(Particle Swarm Optimization; PSO)演算法之混合技術順利完成此工作，ACO演算法主要用於處理離散型屬性之分類，PSO演算法則用來處理連續型屬性之分類。

Doerner et al.(2006)提出具有整數線性規劃(Integer Linear Programming; ILP)的Pareto蟻群最佳化，改良先前提出的方法。要求在執行Pareto蟻群最佳化之前，先辨認幾種高效率的解，並將費洛蒙做初始化的預處理。這種方法同樣應用在多目標專案組合選擇上，能更快速的完成Pareto蟻群最佳化的工作，並優於Pareto模擬退火法、多目標塔布搜尋法(Multiobjective Tabu Search; MOTS)與非支配基因演算法。

裴文(2006)應用螞蟻系統且以月線為判斷因子，研究股票之投資決策，發現螞蟻系統在投資結果的表現較標準系統為佳。當股市表現不佳時，量先價而行採增加成交量變化之投資權重；當股市後續看多時，股價漲跌幅度表現對投資收益結果具有相當之影響力。

四、投資決策相關文獻

投資組合(Portfolio)是指由一種以上的證券或資產構成的集合，投資人藉著持有某些投資組合來分散風險並獲取最大報酬。Markowitz 於1952年提出均異準則(Mean-Variance Criterion)來選擇最佳投資組合，所謂均異準則即是在固定風險下使報酬率最大，或在固定報酬率下要求風險最低(Markowitz 1952)。

Maringer和Kellerer(2003)利用一個結合模擬退火法(Simulated Annealing)與遺傳基因演算法(Genetic Algorithms)的混合式局部搜尋法HA(hybrid local search algorithm)研究限制個數之投資組合最佳化問題，以綜合三十支德國藍籌股的加權指數DAX30與倫敦期貨交易所FTSE100指數為研究對象，針對1998年1月至2000年12月的指數資料進行模擬，結果發現混合式局部搜尋法HA在搜尋投資組合最佳解的能力上優於模擬退火法。

林萍珍、陳稼興、林文修(2000)應用遺傳演算法在使用者導向的投資組合選擇上，利用使用者對產業及公司財務比率之偏好，發展出一套穩健、理性的投資組合選擇模

型。實證結果顯示遺傳演算法搜尋績效與穩定性均能滿足使用者需求；且最佳投資組合年報酬率不遜於國內較佳共同基金績效。

五、技術分析方法

投資人在進行股票投資時，會希望能夠尋找到進場購買股票的最佳時機，並於最佳時點中賣出股票。因此，會先預測股價的未來走勢，以期望能從短期的股票價差或長期握有股票的股利與價差中間，賺取超常報酬。

技術分析者認為，股價是由市場供需狀況所決定的，所以技術分析的一個基本概念就是分析供需雙方力道的強弱與消長，藉此研判股價未來的走向，而線圖和價格走勢圖即為其常用的分析工具。技術指標可分為趨勢指標與非趨勢指標兩種，趨勢指標是用來判斷市場趨勢的指標；非趨勢指標則判斷市場為買超或賣超。

本研究列舉股市較為常用之三項指標做一基本介紹：

1. 移動平均線(Moving Average; MA)：依據統計的移動平均原理，利用每日收盤價資料，計算出某期間的平均值，藉由每日收盤價的更新並剔除較早的收盤價資料，得出更新的平均值，將股價不規則的變化平滑化，然後找出股價的變動趨勢，做為買賣股票的依據。一般計算移動平均的方式有三種(Cootner 1964)，即：(1)簡單算數移動平均 (Simple Mathematic Moving)、(2)加權移動平均 (Weighted Moving Average)、(3)指數平滑移動平均 (Exponential Smoothing Moving Average)。移動平均線在技術分析上的意義是代表著不同期間投資人的平均成本，例如6日移動平均線即代表最近6日投資人買進的平均成本，除此之外，移動平均線對於股價走勢還有助漲助跌的特性：一般而言，當股價由下往上穿越MA，且MA往上揚，此時形成一多頭走勢，一旦獲利回吐賣壓湧現，致使股價拉回到MA附近時，MA即形成支撐的力量，而由於在多頭走勢中買方力道大於賣方，此時容易吸引買方再度投入，因而形成助漲功能。相反地，當股價由上往下跌破MA，且MA往下，此時形成一空頭走勢，一旦跌幅過深而吸引一些回補力道時，股價會呈反彈走勢，當反彈至MA 附近時，由於買氣薄弱，持有者以損失較小的心態急於賣出，因而形成股價上昇之阻力，並吸引更多賣方，形成助跌的功能。(Smirlock & Starks 1985)
2. 隨機指標(KD)：KD 線之全名為Stochastic Line，係融合了動量觀念、相對強弱指標以及移動平均線之優點所發展出來的，適用於短期、敏感度高的投資標的。原先使用於期貨投資中，後來則為股市中短期操作所應用。KD在應用上屬於短期的指標，運用到開盤價、收盤價、最高價及最低價資訊，因此對盤勢的反應會較敏銳。KD值之計算是先利用短期內股價波幅的衡量，算出未成熟隨機值RSV (Row Stochastic Value)，以RSV 的三日指數平滑移動平均線為K線，而K值的三日指數平滑移動平均線即為D線。K值與D值介於0 與100 之間。一般而言KD線較能反映短期行情的變動，理論上D值在80以上時，股市是呈現超買現象，而D值在20以下時股市呈現超賣現象。一般運用原則為：當K線由上往下跌破D線，且D值在80 以

上時賣出；而當K線由下往上突破D線，且D值在20以下時買進。(Elder 1987)

3. 平均成交量：股市交易中，成交量與價格的關係一向是密不可分的，觀察股市的平均成交量，有助於研判股票市場未來的走勢。一般而言，有以下三項特性：(1)量比價先行、(2)量價背離為反轉訊號、(3)量能持續擴大，股價才有上漲的動力。

參、研究方法

本研究運用蟻群最佳化方法，建立股票投資決策系統，並搜尋ACO系統最適化參數，進行台灣股票市場之實證研究。從台灣股票市場中挑選出不同類股之股票，以股價、移動平均線(MA)、KD線與成交量等技術指標為判斷因子，判斷股票買進與賣出之時機及投資之比例，建構一個理性的投資決策系統。

一、研究模型與設計

(一) KD技術指標模型

KD技術指標同時考慮最高價與最低價，融合了動量，相對強弱指標及移動平均等觀念。本研究使用9日KD指標，KD值計算公式如下：

$$RSV_i(t) = \frac{(C_i(t) - L_{i9}) \times 100}{H_{i9} - L_{i9}} \quad (8)$$

$$K_i(t) = RSV_i(t) \times \frac{1}{3} + K_{i-1}(t-1) \times \frac{2}{3} \quad (9)$$

$$D_i(t) = K_i(t) \times \frac{1}{3} + D_i(t-1) \times \frac{2}{3} \quad (10)$$

其中 $C_i(t)$ 、 H_{i9} 與 L_{i9} 分別表示第9日的收盤價、最高價與最低價。

KD技術指標的買賣研判方式如下：

1. 超買區與超賣區的研判：根據D值來研判股價的波動，基本上當D值大於80為超買區，宜將股票賣出；當D值小於20時為超賣區，此時宜將股票買進。
2. 買賣點研判：以KD線交叉作為買賣點研判的依據，根據快速、慢速移動平均線的概念，當D值在80以上，而K線向下突破D線時為賣出訊號(死亡交叉)；反之，當D值在20以下，而K線向上突破D線時，為買進訊號(黃金交叉)。
3. 行情出現反轉的研判：當K線傾斜角度趨於平緩時，表示股價行情可能回軟或止跌產生反轉。
4. KD線與股價走勢背離現象：當股價走勢創新高或創新低，而KD線未能創新高或創新低時，則股價走勢可能將產生反轉，此時宜做買進或賣出的調節。

由於KD技術指標的買賣研判方式3及方式4中，如何定義平緩及如何界定股價走勢創新高或創新低屬於主觀判斷，在實務上並不容易執行。因此本研究在執行KD技術指標之交易系統時，只考慮方式1、2。

(二) 蟻群最佳化(ACO)模型

本研究ACO系統於台灣股市投資決策，由各類股中依據KD技術指標選出宜買進或賣出的股票，按照路徑機率來分配資金並進行買進或賣出的操作，同時以銀行作為避險標的。

將第*i*支股票於時間*t*的成交量 $V_i(t)$ 視為費洛蒙訊息(以 $\tau_i(t)$ 表示)，以KD值建立能見度函數(以 $\eta_i(t)$ 表示)；本研究有關費洛蒙訊息、能見度及路徑選擇機率的設定方式與計算公式如下：

1. 費洛蒙 τ_i ：

$$(1) \text{ 螞蟻費洛蒙量： } \tau_i(t+1) = \rho\tau_i(t) + \Delta\tau_i(t+1), \quad i=1, \dots, n \quad (11)$$

$$(2) \text{ 各股成交量變動： } \Delta V_i(t) = \frac{V_i(t)}{V_i(t-1)} \quad (12)$$

$$(3) \text{ 各股費洛蒙變化量： } \Delta\tau_i(t) = \frac{\Delta V_i(t)}{\frac{1}{6} \sum_{j=1}^6 \Delta V_i(t-j)} \quad (13)$$

研究設計將成交量視為費洛蒙濃度訊息，因此各股費洛蒙變化量與各股成交量變動相關，並與前幾日殘留之費洛蒙濃度相關。本研究以各股當日之成交量與過去6天之平均成交量比值為費洛蒙變化量。

$$(4) \text{ 銀行費洛蒙變化量： } \Delta\tau_{n+1}(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta\tau_i^{-1}(t) \times 0.1 \quad (14)$$

為了鼓勵積極投資，減少資金存在銀行的機率，因此採取降低銀行費洛蒙濃度的作法，將銀行費洛蒙變化量乘上係數0.1。

2. 能見度 $\eta_i(t)$ ：

本研究以各股票之KD值來建構能見度，由於 $D < 20$ 時買訊出現，此時若 $K > D$ 出現黃金交叉則買訊增強。因此， $D < 20$ 時 $K > D$ 的能見度必須高於 $K < D$ 的能見度。而 $D > 80$ 時賣訊出現，此時若 $K < D$ 出現死亡交叉則賣訊增強。因此， $D > 80$ 時 $K < D$ 的能見度必須高於 $K > D$ 的能見度。依據這些資訊，本研究特別建構以下之能見度公式：

(1) 各股票能見度：

$$\eta_i(t) = \frac{[D_i(t-1)-80][D_i(t-1)-20]}{20000} + \frac{[D_i(t-1)-50][D_i(t-1)-K_i(t-1)]}{250000} + 0.2 \quad (15)$$

其中 $K_i(t)$ 與 $D_i(t)$ 表示第 i 支股票於時間 t 的KD值，0.2為一常數。係數 $\frac{1}{20000}$ 及 $\frac{1}{250000}$ 是考慮到能見度必須為小於1之正值，因此(15)式中前兩項之和，必須大於-0.2，且小於0.8。由於 $[D_i - 80][D_i - 20]$ 介於-900到1600之間，因此乘上係數 $\frac{1}{20000}$ ，使其值介於-0.045到0.08之間；而 $[D_i - 50][D_i - K_i]$ 介於-5000到5000之間，因此乘上係數 $\frac{1}{250000}$ ，使其值介於-0.02到0.02之間。

$$(2) \text{ 銀行能見度: } \eta_{n+1}(t) = 0.0001 + 0.2 \quad (16)$$

雖然各股票能見度受KD值影響，但KD值並不影響銀行之利率變動，且不影響當市場不景氣時資金轉入銀行之決策，因此不論KD值為何，銀行之能見度均應為定值。為了鼓勵積極投資，減少資金存在銀行的機率，因此降低銀行能見度，設定為0.0001+0.2。與(15)式比較可發現，銀行能見度一般來說遠低於各股票能見度。

3. 路徑選擇機率比 $P_i(t)$ ：時間在 t 時，投資第 i 支標的之機率

$$P_i(t) = \frac{[\tau_i(t-1)]^\alpha [\eta_i(t-1)]^\beta}{\sum_{i=1}^{n+1} \{[\tau_i(t)]^\alpha [\eta_i(t)]^\beta\}} \quad , i = 1, \dots, n+1 \quad (17)$$

α 、 β 為常數， α 值為費洛蒙刺激係數， β 值為能見度刺激係數。

(三) 系統模擬交易方式

1. 先期假設：

本研究在進行模擬交易時，假設如下：

- (1) 股票交易最小單位為一張，即1000股。
- (2) 初期資金設定為一千萬，每日依收盤價結算一次。
- (3) 考慮融資及融券的投資方式
- (4) 股票交易需繳納交易稅及手續費等交易成本，設定為0.585%，但不考慮股利之發放。

2. 蟻群最佳化投資決策方式：

- (1) 以20日移動平均線為判斷因子，當股價等於20日移動平均線時暫停操作，資金轉入銀行；當股價不等於20日移動平均線時開始操作，此時以成交量與KD技術指標為操作依據。
- (2) $D < 20$ 時買訊出現，當 $K > D$ 時依據路徑選擇機率將手中資金投入市場，當 $K < D$ 時依據路徑選擇機率將資金減半投入市場，其餘轉入銀行。若手中缺乏資金，採融資方式買入股票，總融資金額定為一千萬。

- (3) $D > 80$ 時賣訊出現，當 $K < D$ 時依據路徑選擇機率將手中股票悉數賣出，當 $K > D$ 時依據路徑選擇機率將手中股票賣出一半。若手中無持股，可採融券方式賣出。
- (4) 每半年盤整一次，將手中股票全數賣出換為資金並清償融資融券，再將手中資金重新依據路徑選擇機率進行投資。在模擬交易時，以前一營業日之收盤價買進，以當日收盤價賣出。每日以收盤價來記錄目前之投資收益。

二、資料來源與說明

本研究使用之台灣股票相關資料，包括各股之每日開盤價、收盤價、最高價、最低價、成交量等皆取樣自AREMOS經濟統計資料庫。以2004年1月1日至2006年4月30日為研究期間，共計28個月。自台灣股票市場電子、汽車、鋼鐵、運輸、化工、水泥等類股中，選出個股營運狀況良好且每日成交量較大之上市公司股票，共計45支，進行ACO參數最佳化實驗，找出最佳化參數，並依此最佳化參數，進行蟻群最佳化投資模擬。

三、ACO系統最適化參數

為了找出ACO系統最適化參數，首先固定費洛蒙殘留係數 ρ 、費洛蒙刺激係數 α 值，能見度刺激係數 β 值，由抽樣的45支股票中，以隨機方式任選1支、2支、 $\dots$ 、45支股票，並以銀行為避險標的，進行ACO系統模擬投資。接著變動 ρ 、 α 及 β 值，以相同方式進行實驗，將最後結果列出，找出ACO系統最適化參數。

四、ACO系統模擬比較基準

為了研究蟻群最佳化投資模擬的效果，本研究依據ACO系統最適化參數之研究結果，採用最適化參數，在相同的先期假設下，提供以下兩種系統作為比較基準：

(一) 標準系統：

初期資金設定為一千萬，平均投資於各股票，餘額存入銀行。各股獨立操作，各股間金額不得相互流通。考慮KD技術指標之交易模式， $D > 80$ 時賣訊出現，當 $K < D$ 時將手中股票悉數賣出，當 $K > D$ 時將手中股票賣出一半。若手中無持股，可採融券方式賣出。 $D < 20$ 時買訊出現，當 $K > D$ 時將手中資金投入市場，當 $K < D$ 時將資金減半投入市場，其餘轉入銀行。若手中缺乏資金，採融資方式買入股票，總融資金額定為一千萬。以前一營業日之收盤價買進，當日收盤價賣出。每半年盤整一次，將手中股票全數賣出換為資金並清償融資融券，再將手中資金重新平均投資於各股票。

(二) 大盤系統：

初期資金設定為一千萬，以每日大盤之漲跌幅為依據，將初始金額隨每日大盤之漲跌幅調整。例如：若當日大盤之漲幅為3%，則投資收益增加3%；若當日大盤之跌幅為1%，則投資收益減少1%。因此，擊敗大盤系統即表示擊敗市場。

五、研究範圍與限制

股票投資一定具有風險，唯有利用投資組合才能有效分散風險。股價投資分析可以提供股票漲跌預測之參考，最佳化理論則能提供股票最佳組合之資訊，有效結合兩種方法將有助於股票之投資決策。本研究以每日成交量、股價、報酬率、移動平均線及KD技術指標來分析股票；找出ACO系統之最適化參數，並依據最適化參數進行蟻群最佳化系統之投資決策實驗，當股票市場投資之獲利不佳時，可將資金存放於銀行，等待時機再進入股票市場投資，也就是說投資者可將銀行視為避險標的。因此本研究除投資股票外，另加入銀行作為本研究之避險標的。研究限制如下：

- (一) 股市分析可以分為基本面與技術面，但基本面之資訊隨著產業的不同會有所差異，在ACO系統股票投資組合的模擬實驗上，較難以量化為有用資訊。因此本研究著重於技術面之資訊，而忽略基本面資訊。
- (二) 股市分析之技術指標有很多種，本研究考慮股價、成交量、移動平均線與KD線指標，忽略其他技術指標。

肆、系統模擬結果與討論

本研究以所選定股票之股價、20日移動平均線(20MA)、KD線與成交量等技術指標為判斷因子，做為判斷股市投資策略之依據。當所選定股票之股價大於20日平均線時，採融券方式賣出股票；當股價小於20日平均線時，系統根據蟻群最佳化之路徑選擇機率進行投資。設定成交量為費洛蒙濃度訊息、KD值為能見度資訊。首先找出ACO系統之最適化參數，接著依據最適化參數評估蟻群最佳化投資決策之績效，最後總結不同參數值對蟻群最佳化投資績效之影響。

一、ACO系統最適化參數

由於當 $D < 20$ 時， $K > D$ 之能見度大於 $K < D$ 之能見度，依據能見度公式可知：能見度與投資機率成正比，能見度刺激係數 β 應為正值。選定股票之KD指標若出現之 $D < 20$ 之買訊，系統投資金額將與成交量成正比，因此費洛蒙刺激係數 α 值亦為正值。為了找出ACO系統最適化參數，變動費洛蒙殘留係數 $\rho = 0.1, \dots, 0.9$ 、費洛蒙刺激係數 $\alpha = 1, 2, 3$ 、能見度刺激係數 $\beta = 1, 2, 3$ 及股票個數 $n = 0.1, \dots, 45$ ，以銀行為避險標的，進行ACO系統模擬投資。以到期日之投資結果進行排名，共計3645名。模擬結果之前二十名與後二十名，如表4-1、表4-2。

由表4-1、表4-2可以發現：股票個數 $n = 10$ 、費洛蒙殘留係數 $\rho = 0.9$ 、費洛蒙刺激係數 $\alpha = 1$ 、能見度刺激係數 $\beta = 2$ 時，ACO系統具有最佳投資結果20864000元；其次為 $n = 9$ 、 $\rho = 0.9$ 、 $\alpha = 1$ 、 $\beta = 2$ 時之投資結果20842136元。 $n = 45$ 、 $\rho = 0.1$ 、 $\alpha = 1$ 、 $\beta = 1$ 時，ACO系統之投資結果最差，只有9104124元。另外，費洛蒙殘留係數 ρ 越高，則ACO系統投資績效越好；股票個數 n 過多，則投資績效不彰；費洛蒙刺激係數 $\alpha = 1$ 、能見度刺激係數 $\beta = 2$

時，ACO系統投資績效最佳； $\alpha=1$ 、 $\beta=1$ 時，ACO系統投資績效最差。因此，ACO系統最適化參數應選擇 $n=10$ 、 $\rho=0.9$ 、 $\alpha=1$ 、 $\beta=2$ 。

表4-1、ACO系統最適化參數模擬結果前二十名

排名	股票數	殘留係數	費洛蒙刺激係數	能見度刺激係數	投資結果
1	10	0.9	1	2	20864000
2	9	0.9	1	2	20842136
3	8	0.9	1	2	20742542
4	10	0.9	1	3	20727132
5	11	0.9	1	2	20704500
6	10	0.8	1	2	20684164
7	9	0.8	1	2	20647136
8	7	0.9	1	2	20586800
9	8	0.8	1	2	20563224
10	10	0.9	2	2	20549033
11	10	0.8	1	3	20487020
12	11	0.8	1	2	20326436
13	10	0.9	2	1	20281254
14	12	0.9	1	2	20247230
15	10	0.8	2	2	20184367
16	10	0.7	1	2	20142853
17	7	0.8	1	2	20017203
18	9	0.7	1	2	19998642
19	8	0.7	1	2	19947633
20	10	0.7	1	3	19929923

表4-2、ACO系統最適化參數模擬結果後二十名

排名	股票數	殘留係數	費洛蒙刺激係數	能見度刺激係數	投資結果
3626	39	0.2	1	1	10120030
3627	45	0.3	1	1	10114013
3628	40	0.2	1	1	10026363
3629	41	0.2	1	1	10024112
3630	35	0.1	1	1	10020360
3631	42	0.2	1	1	10016117
3632	1	0.1	1	1	10004213
3633	43	0.2	1	1	9976024
3634	44	0.2	1	1	9943060
3635	36	0.1	1	1	9887632
3636	37	0.1	1	1	9764508
3637	38	0.1	1	1	9688723
3638	39	0.1	1	1	9598676
3639	40	0.1	1	1	9569421
3640	45	0.2	1	1	9496376
3641	41	0.1	1	1	9387112
3642	42	0.1	1	1	9298326
3643	43	0.1	1	1	9267107
3644	44	0.1	1	1	9188340
3645	45	0.1	1	1	9104124

二、蟻群最佳化投資績效

依據ACO系統最適化參數模擬結果，選擇股票個數 $n=10$ ，費洛蒙殘留係數 $\rho=0.9$ ，費洛蒙刺激係數 $\alpha=1$ 、能見度刺激係數 $\beta=2$ 。自台灣股票市場電子、汽車、鋼鐵、運輸、化工、水泥等類股中，選出個股營運狀況良好且每日成交量較大之上市公司股票，隨機挑選其中之10支股票，分別為：台泥(1101)、鴻海(2317)、中鋼(2002)、陽明(2609)、華航(2610)、長榮(2618)、裕隆(2201)、台鹽(1737)、台肥(1722)、中化(1701)為研究樣本。以2004年1月1日至2006年4月30日為研究期間，進行ACO系統投資模擬。將ACO系統投資模擬結果與標準系統及大盤系統比較，可以得到圖4-1。

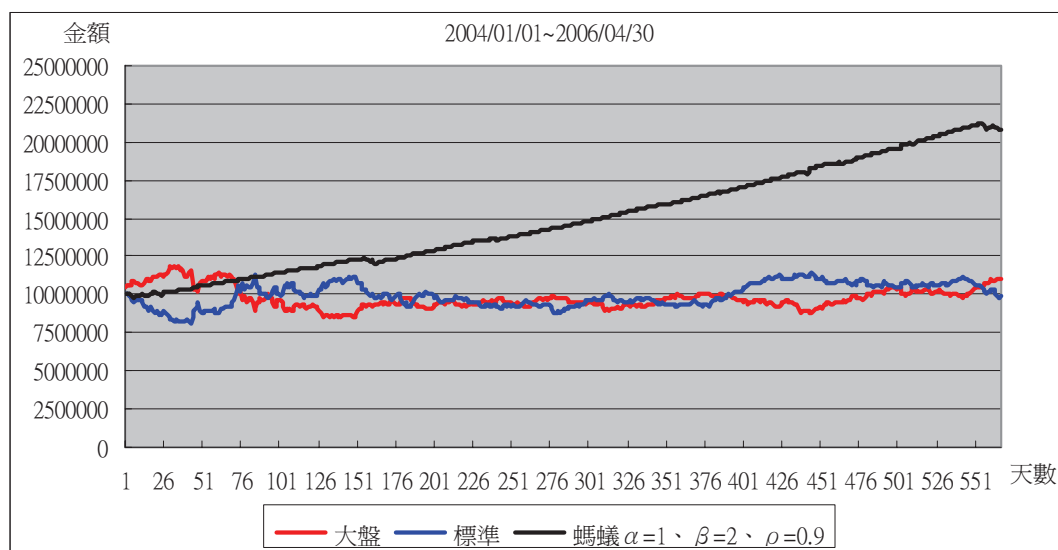


圖4-1、蟻群最佳化系統投資績效

由圖4-1可以看出，研究初期ACO系統與標準及大盤系統之投資組合績效互有領先。但在約73天之後，ACO系統之投資績效開始領先標準系統及大盤系統。至研究結束，總計25個月，ACO系統之投資績效呈現穩定成長之趨勢，且全面領先標準系統及大盤系統的投資績效。因此，本研究之ACO系統具有良好的投資績效，可以找出獲利能力較佳之投資組合。

表4-3、蟻群最佳化、標準系統及大盤系統投資績效之比較

日 期	大盤系統	標準系統	蟻群最佳化	績效比較
2004.01.01	10000000	10000000	10000000	起始金額為1千萬
2004.03.01	11691814	8517200	10176000	大盤系統優於ACO系統 ACO系統優於標準系統
2004.03.23	10314539	8961400	10509000	ACO系統優於大盤系統 大盤系統優於標準系統
2004.03.29	10816640	8966500	10572000	大盤系統優於ACO系統 ACO系統優於標準系統
2004.04.29	10660003	9989700	10942000	ACO系統開始領先大盤 系統與標準系統
2005.01.03	9778606	9036400	13660000	ACO系統全面領先
2006.01.02	10043709	10838000	19414000	ACO系統全面領先
2006.04.28	11078895	9971400	20864000	ACO系統投資績效優於 大盤系統與標準系統

將研究期間各系統投資績效金額與重要轉折日期列出，如表4-3。自2004年1月1日開始投資，期初投資金額為一千萬元。在2004年3月1日，ACO系統之投資績效為10176000元，排名第二，低於大盤系統之投資績效11691814元。在2004年3月23日，ACO系統之投資績效為10509000元，排名第一，高於標準系統與大盤系統。但2004年3月29日，ACO系統之投資績效為10572000元，再次低於大盤系統之投資績效10816640元。至2004年4月29日ACO系統之投資績效為10942000元，開始領先標準系統及大盤系統之投資績效。之後，ACO系統之投資績效持續領先至模擬結束。2006年4月28日，ACO系統之投資回收金額為20864000元，遠高於標準系統之9971400元及大盤系統之11078895元。證明本研究設計之ACO系統投資績效優於標準系統及大盤系統之投資績效，且蟻群最佳化系統在研究期間之投資報酬率高達108.64%，遠超過銀行定存之獲利。

三、ACO系統參數對投資績效之影響

依據ACO系統參數最適化的研究結果可以發現：股票個數 n 、費洛蒙殘留係數 ρ 、費洛蒙刺激係數 α 、能見度刺激係數 β ，均會影響投資績效，且費洛蒙殘留係數 ρ 越高，則ACO系統投資績效越好。為了進一步分析費洛蒙殘留係數 ρ 、費洛蒙刺激係數 α 及能見度刺激係數 β 值對投資績效之影響，自台灣股票市場中，隨機挑選10支股票：台泥(1101)、鴻海(2317)、中鋼(2002)、陽明(2609)、華航(2610)、長榮(2618)、裕隆(2201)、台鹽(1737)、台肥(1722)、中化(1701)為研究樣本，進行ACO系統投資模擬。

(一) 費洛蒙殘留係數 ρ 值對投資績效之影響

由於 ρ 值為一常數，且 $0 < \rho < 1$ ，為了驗證費洛蒙殘留係數 ρ 越高，則ACO系統投資績效越好的結果，分別將 ρ 值設定為0.1, 0.2, ..., 0.9，並設定費洛蒙刺激係數 $\alpha=1$ 、能見度刺激係數 $\beta=1$ ，進行ACO系統之運算，再與標準系統及大盤系統比較，可以得到趨勢圖

如附錄。將研究初期、ACO系統開始領先日期及研究末期之投資績效列出，可以得到表4.4。

由表4.4可以發現，無論 ρ 值如何變化，自2004年1月1日開始投資，最遲在2005年3月24日，大約15個月之後，蟻群最佳化系統之投資績效便會開始全面領先標準系統及大盤系統。因此，本研究所設計之ACO系統在搜尋最佳化投資組合之能力上，優於標準系統及大盤系統。另外，隨著 ρ 值的增加，ACO系統之投資績效遞增，且超越其他系統之日期逐漸提前，表示當費洛蒙殘留係數 ρ 值越高時，ACO系統投資組合之能力越佳。

(二) 費洛蒙刺激係數 α 值與能見度刺激係數 β 值對ACO系統投資績效之影響

α 值為各股費洛蒙之刺激係數， β 值為各股能見度之刺激係數，分別代表費洛蒙及能見度的相對重要性比率。為了瞭解 α 值與 β 值變動時，對ACO系統之投資績效有何影響，將 ρ 值設定為0.7，刺激係數 α 值與 β 值均稍為變動，可以得到ACO系統投資結果如表4.5。

表4-4、 ρ 值變動對蟻群最佳化系統投資績效影響之比較

	日 期	大盤系統	標準系統	蟻群最佳化
$\rho = 0.1$	2004.01.01	10000000	10000000	10000000
	2005.03.24	9442783	9388900	10948275
	2006.04.28	11078895	9971400	12473993
$\rho = 0.2$	2004.01.01	10000000	10000000	10000000
	2005.03.17	9493269	9274500	11034680
	2006.04.28	11078895	9971400	12651438
$\rho = 0.3$	2004.01.01	10000000	10000000	10000000
	2005.03.15	9542989	9248900	11120597
	2006.04.28	11078895	9971400	12832477
$\rho = 0.4$	2004.01.01	10000000	10000000	10000000
	2005.03.14	9692249	9128600	11207154
	2006.04.28	11078895	9971400	13011614
$\rho = 0.5$	2004.01.01	10000000	10000000	10000000
	2005.03.11	9770413	9059400	11284967
	2006.04.28	11078895	9971400	13185936
$\rho = 0.6$	2004.01.01	10000000	10000000	10000000
	2005.03.10	9751884	9056300	11352801
	2006.04.28	11078895	9971400	13353609
$\rho = 0.7$	2004.01.01	10000000	10000000	10000000
	2005.03.09	9785154	8961200	11409106
	2006.04.28	11078895	9971400	13511956
$\rho = 0.8$	2004.01.01	10000000	10000000	10000000
	2005.03.08	9721961	8975500	11449778
	2006.04.28	11078895	9971400	13656933
$\rho = 0.9$	2004.01.01	10000000	10000000	10000000
	2005.03.08	9721961	8975500	11472932
	2006.04.28	11078895	9971400	13776795

表4-5 α 值與 β 值變動對ACO系統投資績效影響之比較

	$\beta = 1$		$\beta = 2$		$\beta = 3$	
	日 期	回收金額	日 期	回收金額	日 期	回收金額
$\alpha = 1$	2004.01.01	10000000	2004.01.01	10000000	2004.01.01	10000000
	2005.03.09	11409106	2004.05.19	11066104	2004.05.19	11040084
	2006.04.28	13511956	2006.04.28	20142853	2006.04.28	19929923
$\alpha = 2$	2004.01.01	10000000	2004.01.01	10000000	2004.01.01	10000000
	2004.05.19	10957865	2004.05.19	10905621	2004.05.19	10857379
	2006.04.28	19376112	2006.04.28	19086389	2006.04.28	18812266
$\alpha = 3$	2004.01.01	10000000	2004.01.01	10000000	2004.01.01	10000000
	2004.05.19	10839265	2004.05.19	10771642	2004.05.19	10709693
	2006.04.28	18494637	2006.04.28	18176287	2006.04.28	17874995

由表4-5可以發現 $\alpha=1$ 且 $\beta=1$ 時，ACO系統在2005年3月9日，約14個月後，才開始全面領先標準系統及大盤系統。當設定其他 α 值與 β 值時，ACO系統在2004年5月19日，約6個月後，便開始領先其他系統。當 $\alpha=1$ 、 $\beta=2$ 時，ACO系統的投資績效最高，可以得到回收金額20142853元，其次為 $\alpha=1$ 、 $\beta=3$ 的投資績效19929923元。

伍、結論與建議

(一) 結論

本研究是從台灣股票市場挑選出不同類股之股票，運用蟻群最佳化演算法進行股票投資分析。首先找出ACO系統最適化參數，接著依據最適化參數進行投資模擬，探討ACO系統在股市投資決策上之投資績效，並研究系統參數變動對投資績效之影響。模型中以股價、20日移動平均線、KD線與成交量等技術分析指標為判斷因子，根據蟻群最佳化之路徑選擇機率進行投資。設定成交量為費洛蒙濃度訊息、KD值為能見度資訊。研究結果發現ACO系統最適化參數為股票個數 $n=1$ 、費洛蒙殘留係數 $\rho=0.9$ 、費洛蒙刺激係數 $\alpha=1$ 、能見度刺激係數 $\beta=2$ 。此時，ACO系統具有最佳投資績效20864000元。另外，ACO系統之投資績效優於標準系統及大盤系統的投資績效，且ACO系統在研究期間之投資報酬率高達108.64%，遠超過銀行定存之獲利。

費洛蒙殘留係數 ρ 值的改變，會影響ACO系統投資績效之表現。不論 ρ 值設定為0.1,0.2,...,0.9之任一值，本研究之ACO系統投資績效均比標準系統及大盤系統表現更佳，且 ρ 值越高，ACO系統搜尋最佳化投資組合之能力越佳。

此外，費洛蒙刺激係數 α 值與能見度刺激係數 β 值的變動，對系統投資績效均會產生影響。在測試的參數中，設定費洛蒙殘留係數 $\rho=0.7$ ，當 $\alpha=1$ 、 $\beta=2$ 時，ACO系統之投資績效最高，回收金額為20142853元，其次為 $\alpha=1$ 、 $\beta=3$ 的19929923元。當 $\alpha=1$ 、 $\beta=1$ 時，ACO系統之投資績效最差，且遲至14個月後，才開始領先標準系統及大盤系統，其餘 α 值與 β 值約在6個月後，便開始領先標準系統及大盤系統。

(二) 建議

本研究主要探討ACO系統之最適化參數及其投資績效，以股價、20日移動平均線、KD線與成交量等技術指標為判斷因子。後續研究方向有二：首先可以考慮以其他技術指標，如相對強弱指標(Relative Strength Index)RSI、乖離率BIAS、能量潮(On Balance Volume)OBV等，取代本系統之判斷因子或擴充本研究提出之ACO系統，加入這些技術指標，進行最適化參數研究及投資績效模擬。另外，可以考慮蟻群最佳化系統與其他演算法，如基因演算法(Genetic Algorithms)、模擬退火法(Simulated Annealing)、類神經網路(Artificial Neural Network)、模糊邏輯(Fuzzy Logic)系統等之投資績效比較。

參考文獻

1. 林萍珍、陳稼興、林文修，2000，『遺傳演算法在使用者導向的投資組合選擇之應用』，資管學報，第七卷·第一期，155~171頁。
2. 陳安斌、陳明琪、姜林杰祐、李曜旭、黃建年，2005，新金融實驗教學之財務金融資訊系統與投資管理，新陸書局。
3. 裴文，民95，『應用螞蟻系統且以月線為判斷因子研究對台灣上市股票之投資決策分析』，2006電子商務與數位生活研討會，台北大學主辦。
4. 駱至中、方志成，2002，向政治學與社會科學借法取經的新世代人工智慧，財團法人國家政策研究基金會國政研究報告。
5. Banz, Rolf W., "The Return between Return and Market Value of Common Stocks", Journal of Financial Economics (9) 1981, pp: 3-18.
6. Basu, S., "Investment Performance of Common Stocks in Relation to their Price - Earnings Ratio: A Text of the Efficient Market Hypothesis", Journal of Finance (32) 1977, pp: 663-682.
7. Bell, J. E. and McMullen, P. R., "Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem", Advanced Engineering Informatics (18) 2004, pp: 41-48.
8. Cootner, P.H., "Stock Market Price: Random vs. System Change", Industrial Manage Review (3) 1964, pp: 24-45.
9. Doerner, K., Gutjahr, W.J., Hartl, R.F., Strauss, C., and Stummer, C., "Pareto Ant Colony Optimization: A metaheuristic approach to multiobjective portfolios selection", Annals of Operations Research (131:1) 2004, pp: 79-99.
10. Doerner, K., Gutjahr, W.J., Hartl, R.F., Strauss, C., and Stummer, C., "Pareto Ant Colony Optimization with IP preprocessing in multiobjective project portfolio selection", European Journal of Operational Research (171) 2006, pp: 830-841.
11. Dorigo, M. and Blum, C., "Ant Colony Optimization Theory: A Survey", Theoretical Computer Science (344) 2005, pp: 243-278.
12. Dorigo, M.; Bonabeau, E.; and Theraulaz, G., "Ant Algorithms and Stigmergy", Future

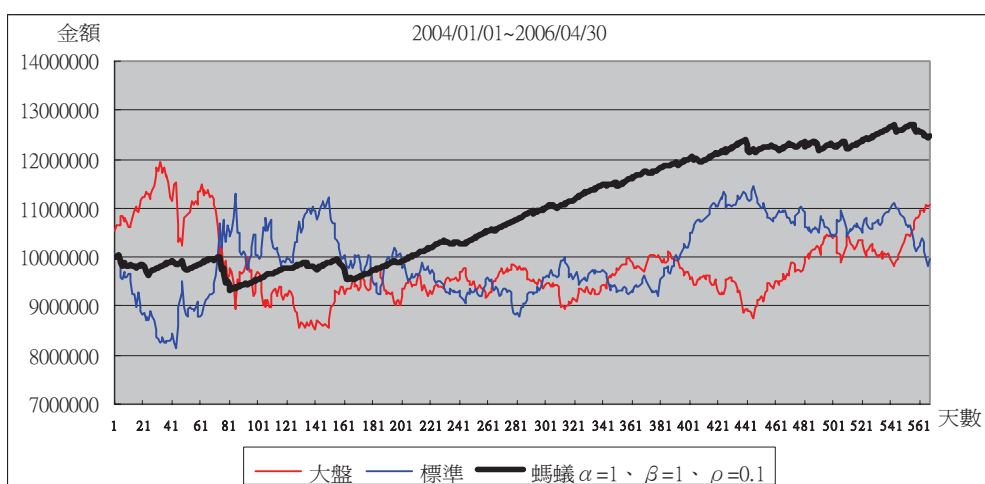
- Generation Computer Systems (16) 2000, pp: 851-871.
13. Dorigo M., Di Caro, G. and Gambardella, L. M., "Ant algorithms for discrete optimization", *Artificial Life* (5:2), pp: 137-172.
14. Dorigo, M. and Gambardella, L.M., "Ant colony system: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* (1:1) 1997, pp: 53-66.
15. Dorigo, M. and Gambardella, L.M., "Ant colonies for the traveling salesman problem", *BioSystems* (43) 1997, pp: 73-81.
16. Dorigo, M., Maniezzo, V. and Colorni, A., "Positive feedback as a search strategy", Technical Report, (No. 91-016) 1991, Politecnico di Milano, Italy.
17. Dorigo, M., Maniezzo, V. and Colorni, A., "The ant system: Optimization by a colony of cooperating agents", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B* (26:1) 1996, pp: 29-41.
18. Dorigo, M. and Stutzle, T., "The Ant Colony Optimization Metaheuristic: Algorithms, Applications, and Advances", In: F. Glover, G.A. Kochenberger (Eds.), *Handbook of Metaheuristics*, Kluwer, 2003.
19. Dorigo, M. and Stutzle, T., "Ant Colony Optimization", MIT Press, 2004.
20. Elder, A., "Using Stochastics to Catch Early Trend and Reversals", *The Magazine of Commodities & Options* (16) 1987, pp: 68-72.
21. Gomory, R. E., "Solving linear programming problems in integers", *Proceedings of Symposia in Applied Mathematics* (10) 1963, pp: 211-215.
22. Hansen, M., and Karp, R., "A dynamic programming approach to sequencing problem", *International Workshop*, Minsk, Belarus, 1962.
23. Holden, N. and Freitas, A. A., "A hybrid particle swarm/ant colony algorithm for the classification of hierarchical biological data", *Proceedings of the 2005 IEEE Swarm Intelligence Symposium*, pp: 100-107.
24. Maniezzo, V., Colorni, A., "The ant system applied to the quadratic assignment problem". *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* (11:5) 1999, pp: 769-778.
25. Maringer, D. and Kellerer, H., "Optimization of Cardinality Constrained Portfolios with a Hybrid Local Search Algorithm", *OR Spectrum* (25:4) 2003, pp: 481-495.
26. Markowitz, H., "Portfolio Selection", *Journal of Finance* (7) 1952, pp: 77-91.
27. McMullen, P. R., "An ant colony optimization approach to addressing a JIT sequencing problem with multiple objectives", *Artificial Intelligence in Engineering* (15) 2001, pp: 309-317.
28. Simrlock, M., and Starks, L., "A Further Examination of Stock Price Changes and Transaction Volume", *Journal of Finance Research*, 1985, pp: 217-226.
29. Tsai, C. F., Wu, H. C. and Tsai, C. W. "A New Clustering Approach for Data Mining in Large Databases," *Proceedings of the international Symposium on Parallel Architectures*,

Algorithms and Networks (ISPAN'02), IEEE Computer Society, 2002, pp: 1087-4089.

30. Volgenant, T., and Jonker, R., "A branch and bound algorithm for the symmetric traveling salesman problem based on the 1-tree relaxation", Journal of Operational Research (9) 1982, pp: 83-89.

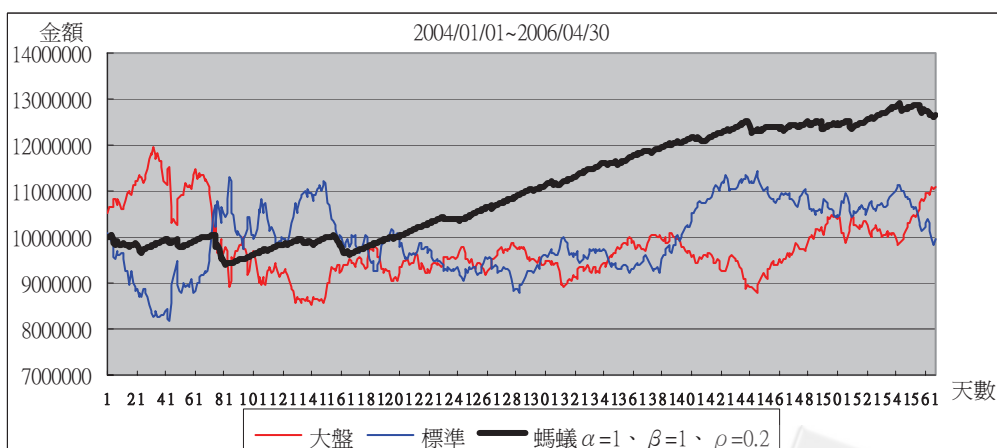
附錄： ρ 值對投資績效之影響

(一) $\rho = 0.1$



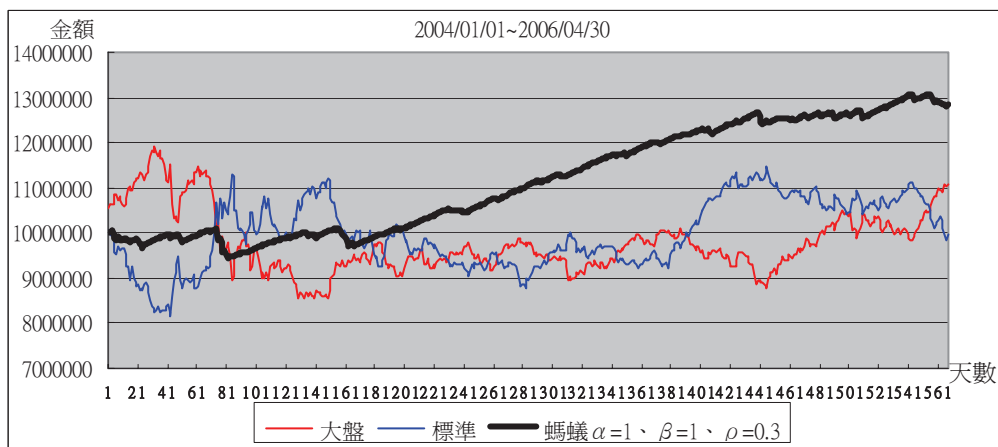
圖A-1： $\rho = 0.1$ 之螞蟻最佳化系統投資績效

(二) $\rho = 0.2$



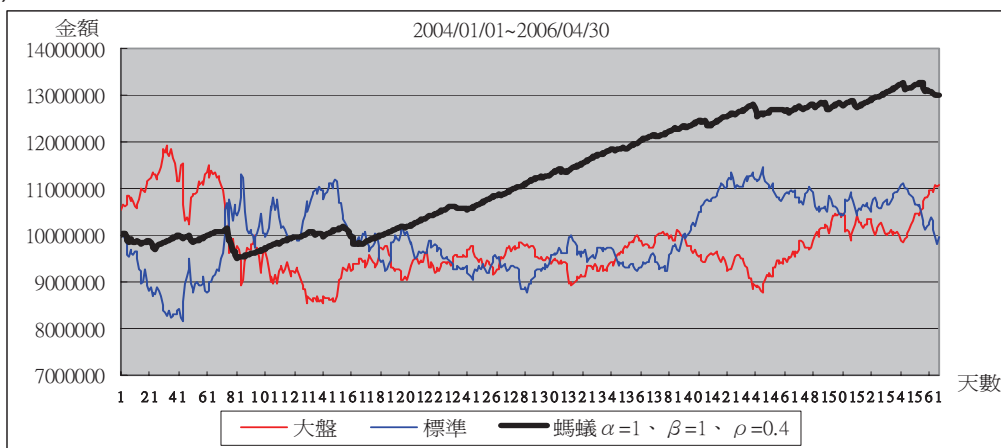
圖A-2 $\rho = 0.2$ 之螞蟻最佳化系統投資績效

(三) $\rho = 0.3$



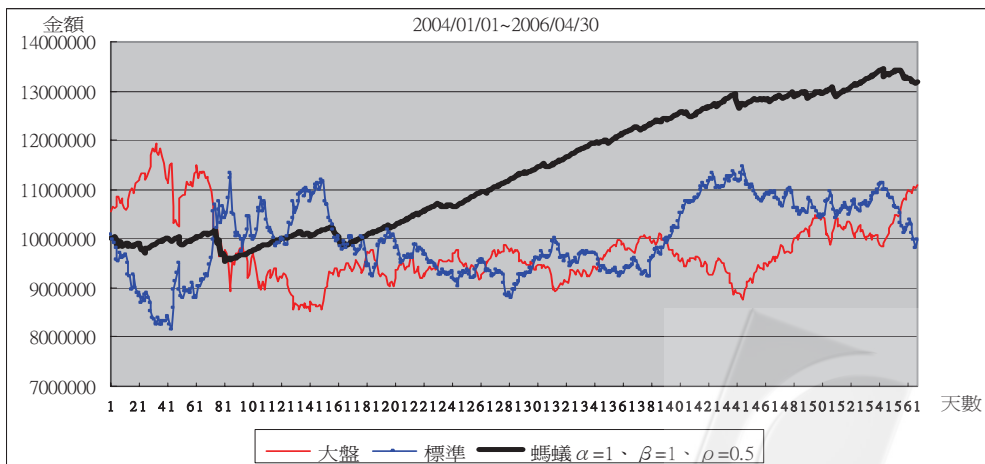
圖A-3 $\rho = 0.3$ 之蟻群最佳化系統投資績效

(四) $\rho = 0.4$

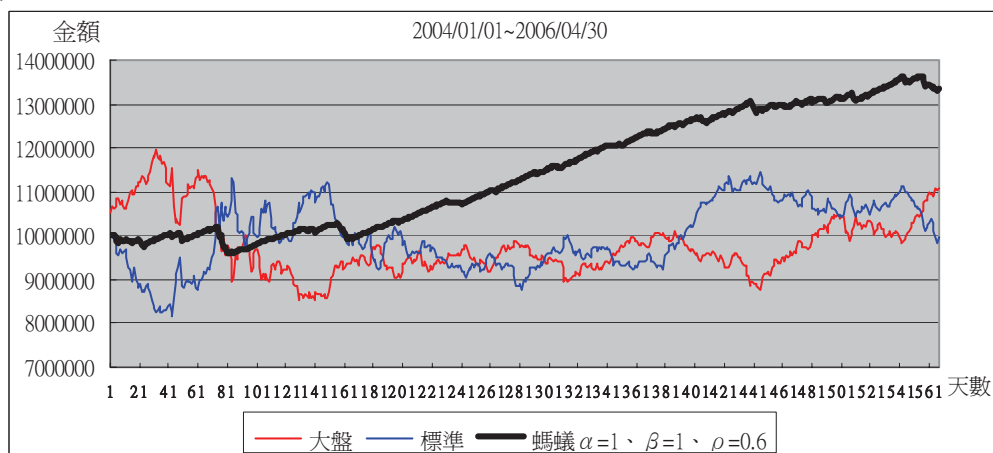
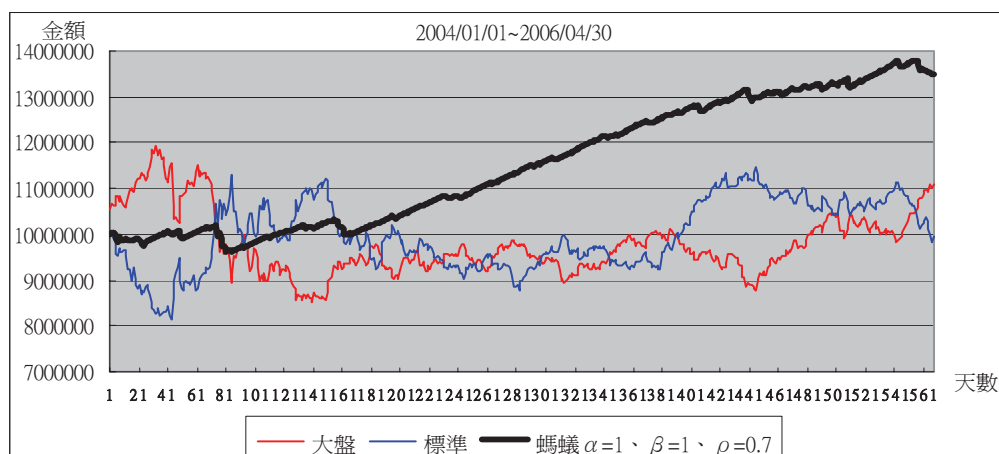
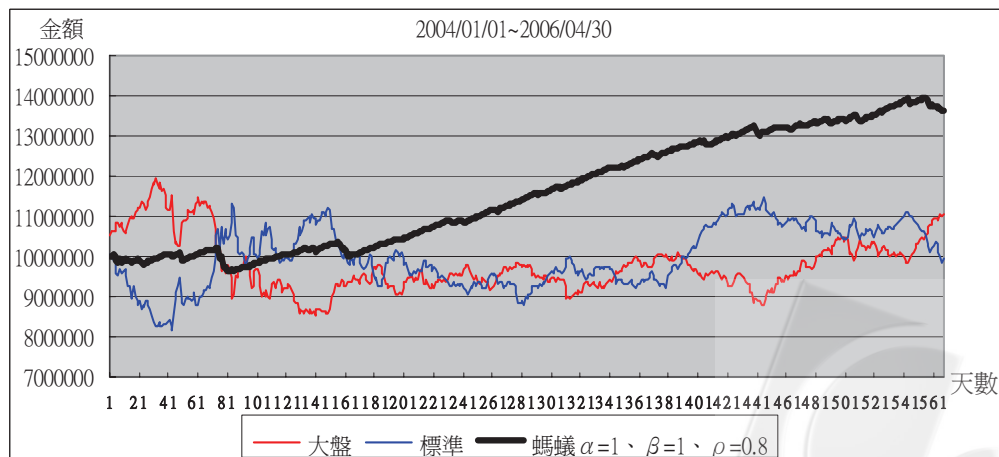


圖A-4 $\rho = 0.4$ 之蟻群最佳化系統投資績效

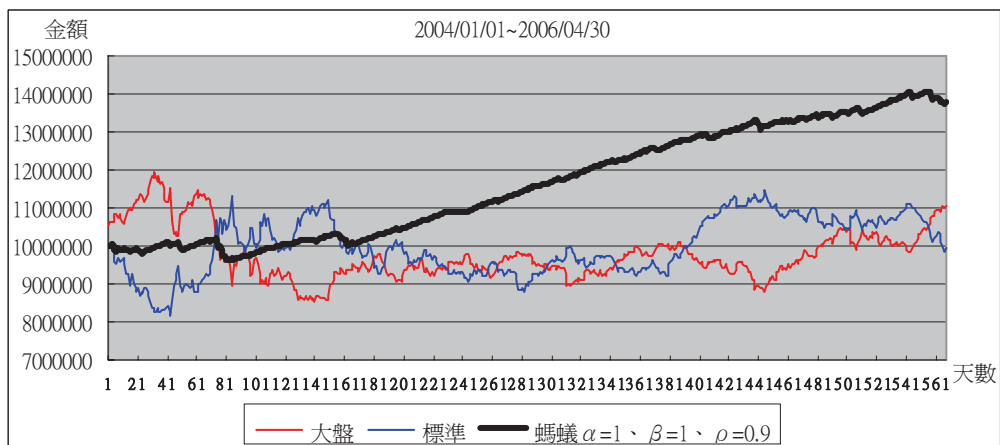
(五) $\rho = 0.5$



圖A-5 $\rho = 0.5$ 之蟻群最佳化系統投資績效

(六) $\rho = 0.6$ 圖A-6 $\rho = 0.6$ 之螞蟻最佳化系統投資績效(七) $\rho = 0.7$ 圖A-7 $\rho = 0.7$ 之螞蟻最佳化系統投資績效(八) $\rho = 0.8$ 圖A-8 $\rho = 0.8$ 之螞蟻最佳化系統投資績效

(九) $\rho = 0.9$



圖A-9 $\rho = 0.9$ 之蟻群最佳化系統投資績效