

應用馬可夫決策過程與遺傳演算法於台灣股市投資策略制訂

張應華

淡江大學

yhchang@mail.tku.edu.tw

李明昇

淡江大學

kevin.lee@mail.im.tku.edu.tw

隨著低利率時代來臨，投資者為了追求較高的報酬率，開始把資金投入股票投資市場，然而股市行情變換迅速，真正獲利的投資者不多，只有在適當時機點進場交易的投資者才能從中獲利。本研究結合馬可夫決策過程與遺傳演算法，提出新的分析架構，建立一個股市投資策略制訂的決策支援系統。本研究利用馬可夫決策過程具有的預測特性和近期資料即時分析能力，達到擇時效果。在資金與手中持股不足時，可透過此模型具有的融資融券方式來完成交易。經實驗證實本模型可以得到較高的報酬。

關鍵字：馬可夫決策過程、遺傳演算法、股市投資、擇時、最佳化。

With the low interest rate coming, investors start to buy stocks to get more rewards. However, the stock market varied rapidly, seldom investors can get excess returns when trade in the proper time. This research combines Markov decision process and genetic algorithms to propose a new analytical framework and to develop the decision support system for making the stock trading strategies. This paper uses the prediction characteristics and real-time analysis capabilities of the Markov decision process to do timing decision. Besides, when investors have no sufficient money and stocks, the architecture of this research can complete the transaction by credit transactions. By the experiments, it can confirm that the model of this research can get higher reward.

Keywords: Markov decision process, genetic algorithms, the stock investment, timing, optimization.

壹、緒論

近年來，隨著全球化的程度增加，政府陸續開放諸多投資管道，商機的確提升了不少，但風險也相對的增加，如何掌握機會、規避風險已成了產學界的一大課題。

股票投資是個人理財中大多都會選擇的方式，電視上也越來越多股市分析節目，儘管台灣股市近期受到國外經濟影響表現不佳，不管景氣好壞，只要投資人做出正確的決策依然能夠獲利，只是台灣股市投資人普遍有投機心態，再加上坊間總是流傳諸多內線消息，使得一般的投資人大多賺少賠多，如何做出最佳的投資決策成為當下投資者關注的議題。

把握商機、規避風險一向是投資學上一個重要的議題，過去的研究大都從基本面或技術面做分析，然而不管何者，都試圖從過去交易記錄中找出可供參考的依據。股票市場是一個公開投資的市場，可造成影響股票價格的外在因素太多，不管是企業內部消息、政府產業政策、公司財務操作等都會對公司股價造成波動起伏，所以建構一個正確可獲利的投資模型甚為重要。

過去股票經營理念建立在 Markowitz 所提出的現代投資組合理論上，Markowitz 所提出的概念有助於投資者選擇投資標的，建構出較佳的投資組合。然而，為了定義問題，面臨現實上所遇到的各種問題，需要做出一些假設才能把問題用數學模式定義解釋，導致問題的扭曲化。

隨著近年來科技的蓬勃發展，人工智慧領域有了顯著性的進步，學界開始把人工智慧運用在財務管理領域相關研究上，人工智慧理論被證實可被有效運用在投資學領域，成為一種可提供人類決策的工具，例如類神經網路(Kara et al. 2011)、遺傳演算法(Kim et al. 2007)、遺傳規劃(Esfahanipour et al. 2011)、模糊系統(Fasanghari et al. 2010)、決策樹(Li et al. 1999)等。

研究中常用的股票分析方法有兩種，一種是以數學理論為基礎的方法，藉由建立模型來對股市做分析，試圖歸納過去的交易行為，找出一個可解釋獲利的數學公式。然而傳統的數學理論要解釋問題的非線性、複雜性、多目標性多有所不足，此外一般投資大眾缺乏相關的專業領域知識，無法實際運用數學理論來判斷進場的時機點，把握機會從股市中獲取利益。另一種方法是以人工智慧為研究基礎，預測股票價值，藉由機器學習的方式，建構出一模型與機制，協助投資者做出投資決策，例如類神經網路(Wang et al. 2011)，但是類神經網路的輸入因子難以被定義和挑選。

由於遺傳演算法(Genetic Algorithm, GA)隱含平行處理、搜尋解答空間速度快、可靠性高、具彈性成為近年來流行的演化計算方法 (Huang 2012)，藉由遺傳演算法強大的空間搜尋能力與具備組合求解能力，有利於解決複雜性問題，面對股市投資問題時，更是可以求出投資組合的最佳選擇與資金配置。

馬可夫決策過程則是利用數學理論，藉由循序推導的方式達到預測的功能，在馬可夫鏈中，這一個狀態只跟上一個狀態有關連，藉由計算機率的方式，可以預測出下一個狀態，於是有人利用馬可夫鏈具有預測的特性，應用在股票投資上(Gelman 2009)。因此，本研究結合馬可夫決策過程與遺傳演算法，建立一個輔助投資策略制訂的決策支援

系統，提供投資人面對股票價格不確定時，所應採取的最佳決策如：賣出多少、繼續持有、買入多少等等。本論文的重點在於馬可夫決策過程與遺傳演算法，藉由兩者有效的結合幫助投資者進行選股、擇時與資金配置以獲取超額報酬。研究對象採用臺灣股票上市的八大類股做為投資標的，從 2009 年到 2011 間連續三年的營業日之上市八大類股股價指數的收盤價做為研究樣本。資料來源為臺灣經濟新報(TEJ)股價資料庫。

貳、 文獻探討

在股市投資交易時，必須同時考慮風險值與報酬率，投資者為了降低投資的風險，會將資金按照一定比例分配在不同的投資標的上，利用投資標的相異的風險值與報酬率，保持投資報酬率的穩定性。一個完整的投資策略應同時具備擇時、擇股及資金分配，然而從過去的文獻來探討，能同時對三個概念求解的並不多，大部分都只有解決其中一個或兩個概念。

擇時策略的目的是從一個時間範圍內，找出最佳的時機，決定股票市場是否進場做買賣。Yiwen et al. (2000)透過多種演算法，結合外部觀察所得變數，對股票市場的趨勢進行預測。Korczak et al. (2002)結合技術指標與遺傳演算法，先找出最佳化的技術指標組合，再利用技術指標找出股票市場的最佳買賣點。Allen et al. (1999)為了找出標準普爾 500 的交易規則，利用遺傳演算法自然演算的特性求解，結果顯示並不總是優於買入持有策略，但是在每日期間交易時期報酬率總是正的。Chien et al. (2010)試圖找出股市交易中購買與賣出的技術指標交易規則，基於遺傳演算法對這些數據技術指標做關聯式分群，利用遺傳演算法在有限空間求解的優越性，找出正確的股市交易規則。Jiang et al. (2002)利用遺傳演算法對股票市場做資料探勘，從其中得到有利於判別交易時機的資訊進而進場買賣獲取穩定的報酬率。Kimoto et al. (1990)基於模組化類神經網路，開發出自動學習式可預測股價方法，將其在日本股市中進行模擬交易可得到優異的報酬率。Huang et al. (2008)為了預測未來各種股市指數演化，結合遺傳演算法與支援向量機(support vector machines; SVM)提出一種混合預測模型，首先使用遺傳演算法提取最佳化時間子集，再將這些時間子集及輸入到 SVM 模型求解，結果優於類神經網路、GARCH 等模型。Jang et al. (1993)以雙重自演化類神經網路(Dual Adaptive-Structure Neural Networks)分析股票歷史資料，建立一個可預測短期股票價格趨勢的智慧型股市交易系統。

選股策略的目的是從眾多的投資標的中，由其中挑選出幾個較佳的投資標的，同時考慮其報酬率及風險值，進而尋找出最佳的投資組合，Gold et al. (1999)利用軟體從基本分析和技術分析篩選出最佳化的投資組合，效果遠遠勝過平均分配，驗證了人工智慧在投資領域的可行性。林典蓉(2008)以建立一個合乎邏輯性的擇股模型為目標，結合遺傳演算法與灰色決策，把上市電子公司的財務比例做為評估公司股價的標準，建構出三種擇股模型，結果顯示以結合遺傳演算法和灰色決策的模型效果最佳。Oh et al. (2006)提出一種特殊的投資組合演算法，基於股票價格挑選投資組合，再根據其標準偏差值找尋投資組合的最佳化，無論股票市場上漲或下跌，皆可在短期中得到穩定的報酬率。Chun et al. (2006)提供一種新的遺傳演算法對股票市場做分析，且為了挑選變數仔細設計了適

應函數，提高了遺傳演算法的準確度。Cheng et al. (2010)為了正確預測股票價格，提出一個混合式預測模型，其中包含技術指標選擇、CDPA、RST及遺傳演算法，以CDPA對技術指標做分群，利用RST提取技術指標規則，最後使用遺傳演算法不斷演化規則以提高預測準確度及股票收益。

資金配置的目的是透過權重來計算投資組合分別對應的資金多寡，透過對權重的最佳化，使的投資組合的資金配置也得到最佳化，獲取最大的報酬率。Shoaf et al. (1998)基於解決Markowitz投資組合問題，提出了一個編碼式遺傳演算法，可同時對資金比例及交易方式求解。Soleimani (2009)為了求解Markowitz的非線性投資組合最佳化問題，結合了多種啟發式演算法和非啟發式技術提出一個投資組合最佳化模型，可獲得較佳的報酬率。Chen et al. (2011)提出一種關聯式遺傳演算法，藉由引導式突變大幅提高演化效率，能對投資組合問題做大規模最佳化。

除了針對單一投資概念求解以外，過去也有研究同時對兩個投資概念求解，在選股和擇時策略方面，Orito et al. (2001)利用遺傳演算法對指數基金投資組合最佳化求解，同時考慮報酬率的最大化及風險的最小化，找尋最佳的投資組合。Chang et al. (2009)以遺傳演算法優化投資組合問題，投資者面對不同的風險考慮傾向，採用相對應的風險處理方式，得到穩定的利潤。

在選股和資金配置方面，Lazo et al. (2000)整合類神經網路與遺傳演算法來求解選股和資金配置，先用類神經網路做投資組合報酬率的估算，再利用遺傳演算法對投資組合做權重分析，根據權重做資金配置。林師賢(2008)先用迴歸分析過去歷史資料，挑選適當的績效指標找出最佳的投資標的，架構出一個組合基金評價模型，再利用組合編碼遺傳演算法求解最佳資金配置。不過要找出最佳投資基金組合，決定於績效指標的挑選，然而要找出最佳績效指標的種類及個數並不容易。Rafaely et al. (2006)提出一個實數編碼遺傳演算法求解基金的投資組合優化問題，與二次規劃法相比得到更高的準確率。

在擇時與資金配置方面，施志樹(2007)運用遺傳演算法結合與動態資產配置架構下，企圖利用過去歷史股價資料演化出各市場特徵下的交易策略，所提出的研究架構雖然無法優於個股的買入持有，但能優於大盤的報酬率。

要可以同時做到選股、擇時、資金配置的功能並不容易，姚凱齡(2009)結合技術指標與一種新的染色體編碼方式，整合出一個具備選股、擇時、資金分配的投資策略供投資者做決策，不過未考慮融資融券的概念，無法進行信用交易。

馬可夫鏈是機率論中一個相當典型的理論，可用來解釋連續事件中，事件彼此之間並非獨立存在，事件發生的機率並非是固定的，而是有相互關聯性，具有下一個狀態所在是根據上一個狀態的機率的特性。目前馬可夫鏈已被廣泛運用在分析連續性資料和預測時間序列現象，相關領域例如語音識別(Xie et al. 2004)、DNA序列(Cheung 2004)。

由於馬可夫決策過程應用在分析連續資料有良好的效果，因此開始運用在股市相關研究上，藉由分析過去股市歷史交易資料，建立股市交易模型，進行投資決策取得不錯的效果，Ghezzi et al. (2003)使用馬可夫鏈建立一個股票價值估計模型，估計股票價值方法是由線性方程式組成，估計股票價值模型的主要根據是股利與股價的比例結合對歷史數據的分析，提供了一個新的股票估計模型，楊靜榆(2002)利用馬可夫決策過程建立一

個預測投資報酬率模型，以各國加權指數為例，進行馬可夫決策過程達到預測未來報酬率的目的，做出相對應的資產配置策略，江錦宗(2002)運用馬可夫決策過程，建立出面臨股價起伏時最佳動態決策的數學模式，提供最佳決策，蔡明憲等人(2004)以馬可夫分析理論修正法人的投資交易策略，楊士賢(2003)以馬可夫決策過程為工具，建立一個決策支援模式供使用者面對日內期貨價格上下波動時相對應的投資策略，由歷史資料求得狀態轉移機率矩陣，經由數學推導計算初期望值後得到相對應的建議投資策略。

參、 研究架構

本研究整合馬可夫決策過程與遺傳演算法，提出一個股票投資交易決策支援系統，如圖 1 所示首先利用八大類股股價指數每日收盤價分析計算出期望利潤，依照期望利潤便可得到每日各類股的買、賣或繼續持有交易策略及進場時機訊號，同時結合遺傳演算法進行選股與資金配置，依資金配置的變化量即可執行融資與融券，如此即可得到每日八大類股最佳投資策略。本模型所使用的歷史資料並非固定不變，而是運用移動視窗 (Sliding Window) 的概念進行更新，以提高資料適用性。

本研究主要利用遺傳演算法來求解最佳資金分配，而擇時與交易策略則由馬可夫決策過程決定，遺傳演算法負責把馬可夫決策過程產生結果與資金分配結合起來，並利用遺傳演算法運算出最佳解。

選股策略方面，於八大類股中依據投資組合的概念，各自挑選不同數量的類股組成投資組合。在進場訊號與買賣交易策略決定之後，即進入遺傳演算法求解的部分，遺傳演算法結合進場訊號與買賣交易策略，透過染色體排列演化，列舉出所有可能的投資組合，計算出所有投資策略的適應值，演化到最後，高適應值的染色體投資組合會被篩選出來，資金將被投資在表現良好的投資標的上，達到選股的功用。

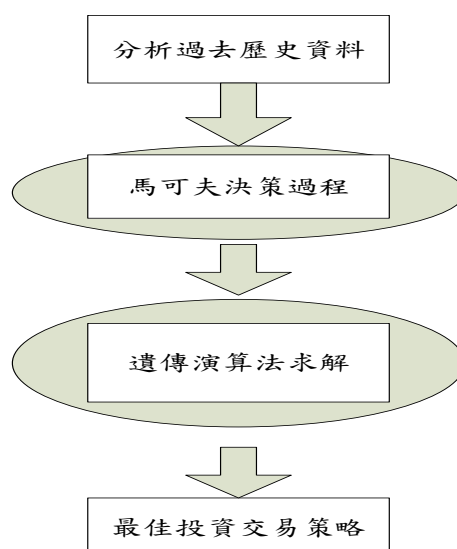


圖 1 研究架構圖

資金配置(融資、融券)方面，利用遺傳演算法求解，首先將資金平均分割成 50 等份，一份佔總資金 2%，之後將不同份數的資金投資在投資組合中的不同類股上，透過遺傳演算法演化出最佳資金配置。當現金或手中持股小於投資策略的個股資金分配時，該個股即須進行融資、融券交易。融資交易意指當投資人預測股價未來會上揚，但現金不夠時，繳交部分保證金向金融機構借資金買股票。融券交易意指當投資人預測股價未來會下跌，但手中沒有該個股股票時，繳交部分保證金向金融機構借股票賣出，之後再買股票償還。

染色體編碼是由 8 個 1 和 50 個 0 組成，每一個 1 代表 1 個類股，每一個 1 前面 0 的個數代表投資其類股的資金分配，每一個 0 代表投資資金的百分之二，舉例來說，第一個 1 前面沒有 0 代表不投資第一類股，第二個 1 前面有 1 個 0 代表投入 2% 的資金在第二類股上，第三個 1 前面有 2 個 0 代表投入 4% 的資金在第三類股上。最後第八個 1 的後面 0 的個數代表保留資金的資金分配，如圖 2。

1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0
---	---	---	---	---	---	-------	---	---	---	---	---	---

圖 2 染色體編碼

遺傳演算法有三個主要的運算元，包括選擇、交配與突變，選擇運算元是模仿自然界特性，根據適應函數值來挑選有優良適應力的染色體進入交配池中，即可經由複製保留到下一個世代，繼續進行演化。常見的選擇方法有：輪盤法、菁英法、競賽法等等。交配是從一個染色體上，選取一點或一段，保留染色體上此段的資訊，並與另外一條染色體做交換。交配的目的是要得到另外一條新的染色體，也就是產生另外一個新解。子代染色體將會遺傳到父代染色體的優點。突變的目的在隨機的改變基因，以產生出原本父母代所未擁有的基因。方式是將交配後產生的子代，根據設定的突變機率來決定是否進行突變，這是為了降低群體問題中之解答落入區域最佳解之機率。突變會隨機產生新後代，可以隨機選擇切換位元。本研究由於要固定 1 跟 0 的個數，突變採用內部兩點交換。

染色體採用 3 條準則相加做為計算適應值的依據，第一條準則是八大類股的 Sharpe 指標，考慮投資報酬率的同時也考慮風險值的大小，第二條準則是電子股的資金比例介於 10%~30% 之間，第三條準則是資金保留的比例介於 5%~10% 之間。Sharpe 指標是指在承受每一單位風險時所獲取的報酬，可同時衡量報酬與風險，在其中做取捨。

$$\text{Sharpe ratio} = \frac{\bar{R} - \bar{R}_f}{\sigma} \quad (1)$$

\bar{R} ：報酬率

\bar{R}_f ：無風險利率

σ ：標準差

無風險利率根據台灣銀行公告之民國一百年定存利率為 0.88%。由於準則之間的單

位數值不同，故須透過正規化數值到介於 5 到 95 之間。

一、整合與交易過程

將之前馬可夫過程所產生的進場訊號與買賣訊號結合到遺傳演算法來求解最佳投資交易策略，染色體一開始結合馬可夫過程所產生的進場訊號與買賣訊號，根據累積報酬率馬可夫決策過程所產生的進場訊號來決定是否進場做交易，再根據單日報酬率馬可夫決策過程所產生的個股買賣交易訊號來決定選股，再將進場買賣訊號來跟遺傳演算法所演化的最佳染色體資金分配做調整。

染色體之後開始計算夏普指數做為適應值，根據適應值的高低進行染色體子代數目的複製，依序進行交配與突變，一直到最終計算出最佳資金分配，選出最佳染色體，做為本次股票投資策略。

決定投資策略後開始進行股票交易，買賣訊號有 8 個，分別對應 8 大類股。染色體編碼第 n 個 1 前面 0 的個數代表投資第 n 類股的資產比例，最後第 8 個 1 後面 0 的個數代表現金保留，資產等於現有資金加上持有股票市值，1 個 0 代表資產比例的 2%，如圖 3。

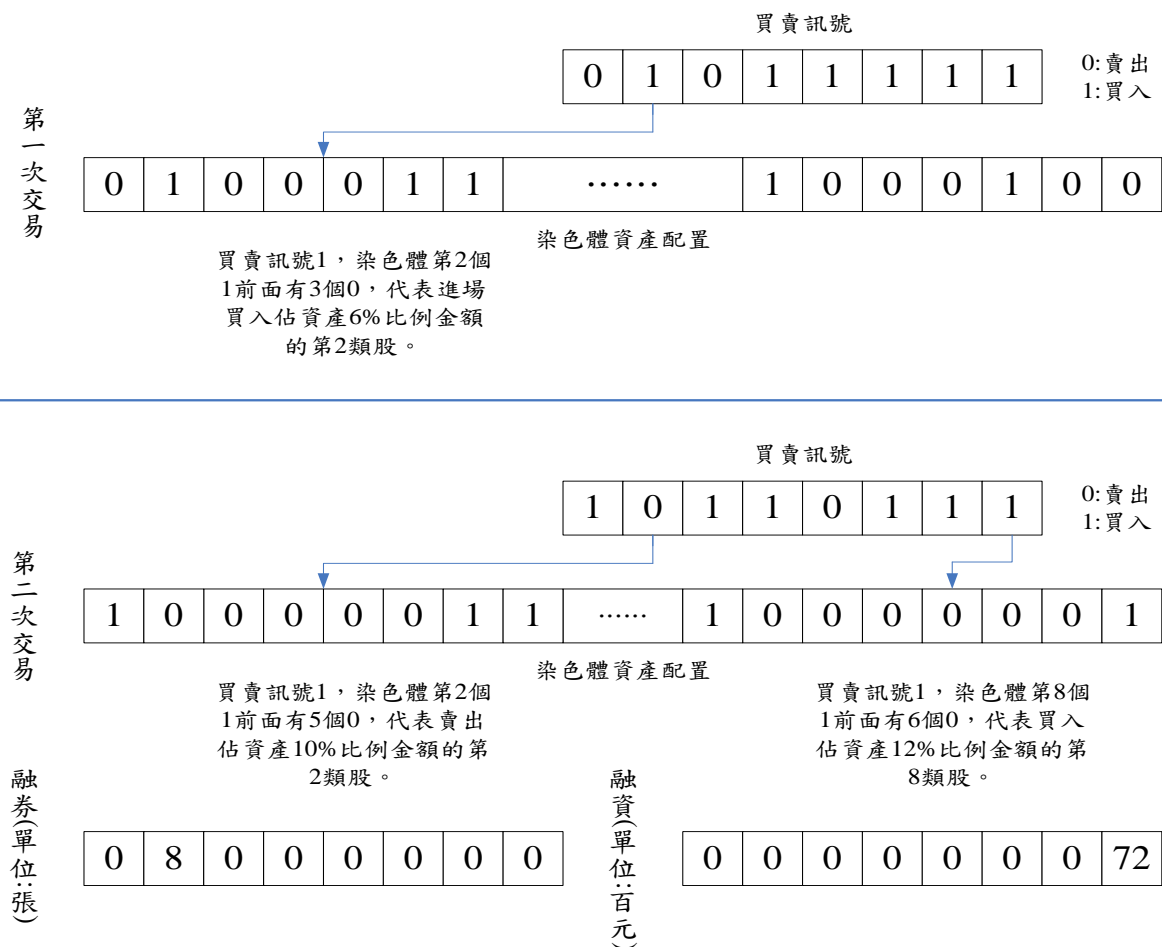


圖 3 進場訊號、買賣訊號與染色體資產配置

進場進行交易時，當現有資金或持有股票無法滿足交易需求時則進行融資或融券交易。融券交易的時機是當手中沒有持股可賣出時，以繳納部分保證金的方式向金融機構借股票，金融機構根據投資人繳納保證金金額依一定成數借給投資人股票，依政府規定最高融券保證金成數是 90%，繳納 90% 的保證金，融券 100% 的股票。例如在第 2 類股的買賣訊號是 1，染色體第 2 個 1 前面有 3 個 0，代表今天要花佔資產市值 6% 的資金買入第 2 類股的股票，手中有價值 10 萬現金與股票，則花現金 6 千元買入第 2 類股的股票，之後在第 2 次進場時，第 2 類股的買賣訊號是 0，染色體第 2 個 1 前面有 5 個 0，代表今天要賣出佔資產市值 10% 的第 2 類股的股票，但手中的第 2 類股的股票，只有在第一次交易日時買的佔資產市值 6% 的 12 張股票，手上持有股票不夠賣出，即需要進行融券，依預借股票股數 8 張股票的市值繳納 90% 的保證金，賣出 20 張股票的第 2 類股股票，之後再買入股票還券。融資交易的時機是當手中現金不夠時，向金融機構借貸資金，金融機構根據投資人買入金額依一定成數借給投資人資金，依政府規定最高融資比率是 60%，自備 40% 的資金買股票，以這 40% 的股票為抵押品，向金融機構融資 60% 的資金買到所有股票。例如在第二次的交易日，第 8 類股的買賣訊號是 1，手中總資產是 95000 元的股票與現金 5000 元，要買入總資產 12% 價值 12000 元的第八類股票，現金不夠，不夠的部分則用融資的方式購入，以現金 4800 元買到的 8 張股票為抵押品，向金融機構融資 7200 元的資金買到另外的 12 張股票，總共買入 20 張股票，之後再賣股票還錢。

肆、實驗分析

本章實作之前所提出的研究方法及架構並進行實驗與評比，將八大類股指數做為投資標的，利用馬可夫決策過程決定進出股市的時機點及交易策略，結合遺傳演算法求解資金配置，最後計算每月所得報酬率，將所得報酬率同時與買入持有、台灣大盤指數、台灣五十指數做評比。

一、資料來源與實驗假設

實驗所需資料來源使用台灣經濟新報(TEJ)，資料期間從 2009 年到 2011 年為止。每次實驗的適應值是由當月夏普指標、電子股資金比例、保留資金比例三個準則相加所得，以連續進行十次實驗增加準確性。

遺傳演算法的染色體以二進位編碼，編碼長度是 58bits，分別代表八大類股及 50 等份資金(一等份為全部資金的 2%)，初始族群個數 100 個，演化代數是當適應值連續 3000 代皆無變動時則停止演化，交配率設為 1，突變率為 0.01。實驗期間是 2009 年到 2011 年，資金保留利率是 0.88%。

二、實驗結果比較

如表 1 所示，表 1 是 2011 年 12 個月的報酬率，分成上下半年來看，本研究整合馬可夫決策過程與遺傳演算法所提出的投資策略模型試驗所得平均報酬率雖然在 2011 年 1 到 6 月表現不如買入持有策略、台灣大盤指數及台灣五十指數，但在這段期間有 3 個月的月報酬率是表現最佳，而在 2011 年 7 到 12 月所得平均報酬率是則是明顯優於其他，也有 4 個月的月報酬率是表現最佳。

如表 2 所示，表 2 是 2010 年 12 個月的報酬率，分成上下半年來看，在上半年本模型所得平均報酬率要略優於買入持有、台灣大盤指數及台灣五十指數，也有 3 個月的月報酬率是表現最佳，在下半年本模型所得平均報酬率要明顯優於買入持有、台灣大盤指數及台灣五十指數，也有 4 個月的月報酬率是表現最佳。

如表 3 所示，表 3 是 2009 年 12 個月的報酬率，分成上下半年來看，在上半年本研究所提出的投資策略模型所得平均報酬率要低於買入持有、台灣大盤指數及台灣五十指數，不過也有 2 個月的月報酬率是表現最佳，而下半年的實驗所得，在平均報酬率的部分表現要低於其他策略，不過有 3 個月的月報酬率是表現最佳。

表 1 2011 年 1 月~12 月實驗比較表

報酬率	2011 年 1 月~12 月							平均報酬率
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月		
top 50	2.96	-6.23	1.27	4.11	-1.04	-4.8	-0.62	
大盤指數	1.92	-5.96	0.97	3.73	-0.21	-3.74	-0.54	
買入持有	0.24	-6.15	1.19	4.3	0.35	-1.36	-0.23	
實驗結果	5.52	-4.21	-5.12	-8.31	4.64	-4.31	-1.96	
報酬率	2011 年 1 月~12 月							平均報酬率
	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月		
top 50	-0.88	-9.04	-5.87	5.04	-7.94	3.08	-1.62	
大盤指數	-0.09	-10.44	-6.66	5.01	-9.01	2.43	-3.17	
買入持有	-4.38	-12.33	-9.53	6.69	-10.79	2.23	-4.68	
實驗結果	3.94	-9.58	14.79	-1.73	8.39	4.55	3.39	

表 2 2010 年 1 月~12 月實驗比較表

報酬率	2010 年 1 月~12 月							平均報酬率
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月		
top 50	-5.78	-2.99	4.77	1.48	-8.22	-1.68	-2.07	
大盤指數	-6.68	-2.67	6.5	1.06	-7.87	-0.6	-1.62	
買入持有	-7.76	-0.54	4.2	-0.9	-7.21	2.09	-1.68	
實驗結果	-2.41	5.97	-2.06	3.94	-7.56	5.18	-0.56	
報酬率	2010 年 1 月~12 月							平均報酬率
	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月		
top 50	6.09	-1.98	7.96	0.8	1.3	8.1	3.71	
大盤指數	5.88	-1.86	8.16	0.59	1.03	7.16	3.49	
買入持有	8.16	-2.31	7.05	1.24	-0.18	4.73	3.11	
實驗結果	10.46	3.61	2.16	4.33	5.79	3.46	4.96	

表 3 2009 年 1 月~12 月實驗比較表

報酬率	2009 年 1 月~12 月							平均報酬率
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月		
top 50	-7.85	7.95	11.75	14.28	12.85	-6.28	5.45	
大盤指數	-7.47	7.27	14.34	15.01	14.98	-6.65	6.24	
買入持有	-9.89	4.73	18.79	13.99	10.93	-7.6	5.15	
實驗結果	2.9	1.03	-7.56	-5.61	-4.31	-3.96	-2.92	
報酬率	2009 年 1 月~12 月							平均報酬率
	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月		
top 50	9.1	-2.37	10.01	-2.44	2.65	7.11	4.01	
大盤指數	10.03	-3.55	10.01	-2.25	3.29	7.99	4.25	
買入持有	5.47	-3.76	8.06	2.32	2.83	5.8	3.45	
實驗結果	-10.63	1.41	-5.39	2.94	1.32	8.55	-0.29	

伍、 結論與未來展望

實驗結果顯示本研究所提出的馬可夫決策過程結合遺傳演算法投資策略模型，本模型在報酬率的表現優於買入持有策略、台灣大盤指數與台灣五十指數，經過實驗驗證此投資策略模型確實可供投資者做決策參考。

本論文結合馬可夫決策過程與遺傳演算法對股市投資策略做深入研究，與傳統上使用技術指標來預測進場時機有所不同，本論文運用馬可夫鏈可預測下一個狀態的特性，以馬可夫決策過程決定擇時時機及選股策略，由於遺傳演算法強大的平行空間搜尋能力，本論文以遺傳演算法求解資金配置，利用編碼式遺傳演算法同時整合擇時、選股及資金配置三種投資策略，藉由整合出的投資策略可做為投資者進行股市交易行為時的依據。

本研究交易點皆以一日為單位，未來可以用其他單位交易點，例如小時、半小時等等，將本模型結合平行運算，就不需要以日為單位，達到即時運算的功能，讓投資者即時下單以避免錯過最佳交易時機。本研究是以八大類股指數做為投資標的，未來可以用一般個股或基金做為投資標的，針對一般個股或基金找出最佳投資模型。本研究是以遺傳演算法來求最佳解，後續研究可以將馬可夫決策過程結合其他方法，例如：模擬退火法、類神經網路、螞蟻演算法來提高報酬率。

參考文獻

1. 江錦宗，民 91，應用馬可夫決策過程進行台灣股票投資分析之研究，東海大學工業工程與經營資訊研究所碩士論文。
2. 林師賢，民 97，組合型基金設計-組合編碼遺傳演算法之應用，銘傳應用統計資訊學系碩士論文。
3. 林典蓉，民 97，應用基因演算法與灰色決策建構擇股策略模型，朝陽科技大學財務金融系碩士論文。
4. 姚凱齡，民 97，整合限制滿足概念於遺傳演算法制定股票投資策略之研究，大同大學資訊經營研究所碩士論文。
5. 施志樹，民 96，以遺傳演算法為基礎考慮市場特徵之股票評價與動態資產配置架構，國立高雄應用科技大學金融資訊研究所碩士論文。
6. 楊士賢，民 92，應用馬可夫決策過程進行台股期貨日內交易策略之研究，東海大學工業工程與經營資訊研究所碩士論文。
7. 楊靜榆，民 90，兩狀態下的國際資產配置—馬可夫轉換模型之應用，國立中央大學財務管理研究所碩士論文。
8. 蔡明憲、俞淑惠與黃永祥，民 93，法人投資策略—以動態馬可夫模型分析，第五屆全國實證經濟學論文研討會。
9. Allen, F., Karjalainen, R., "Using genetic algorithms to and technical trading rules", *Journal of Financial Economics* 51, 1999, pp. 245-271.
10. Chang, T. J., Yang, S. C., and Chang, K. J., "Portfolio optimization problems in different risk measures using genetic algorithm", *Expert Systems with Applications* 36, 2009, pp. 10529-10537.

11. Changchien, Y. W., Chen, Y. L., “Mining associative classification rules with stock trading data – A GA-based method”, *Knowledge-Based Systems* 23,2010, pp. 605–614.
12. Chen, Y., Mabub, S. and Hirasawa, K., “Genetic relation algorithm with guided mutation for the large-scale portfolio optimization”, *Expert Systems with Applications* 38, 2011, pp. 3353-3363.
13. Cheng, C. H., Chen, T. L. and Wei, L. Y., “A hybrid model based on rough sets theory and genetic algorithms for stock price forecasting”, *Information Sciences* 180, 2010, pp. 1610-1629.
14. Cheung, L.W.K. “Use of runs statistics for pattern recognition in genomic DNA sequences”, *Journal of Computational Biology*, 2004, pp. 107–124.
15. Chun, Q., John, C. S. and Tang, “Foreign direct investment: A genetic algorithm approach”, *Socio-Economic Planning Sciences* 40, 2006, pp. 143-155.
16. Esfahanipour, A., Mousavi, S., “A genetic programming model to generate risk-adjusted technical trading rules in stock markets”, *Expert Systems with Applications* 38, 2011, pp. 8438-8445.
17. Fasanghari, M., Ali Montazer, G., “Design and implement of fuzzy expert system for Tehran Stock Exchange portfolio recommendation”, *Expert Systems with Applications* 37, 2010, pp. 6138-6147.
18. Gelman, S., Wilfling, B., “Markov-switching in target stocks during takeover bids”, *Journal of Empirical Finance* 16, 2009, pp. 745-758.
19. Ghezzi, L., Piccardi, C., “Stock valuation along a Markov chain”, *Applied Mathematics and Computation* 141, 2003, pp. 385–393.
20. Gold, S. and Lebowitz, P., “Computerized Stock Screening Rules for Portfolio Selection”, *Financial Service Review*, vol.8, 1999, pp. 61-70.
21. Holland, J. H., “Adaptation in Natural and Artificial Systems”, Ann Arbor: The University of Michigan Press, 1975.
22. Huang, C.F., “A hybrid stock selection model using genetic algorithms and support vector regression”, *Applied Soft Computing* 12, 2012, pp. 807-818.
23. Huang, S. C., Wu, T. K., “Integrating GA-based time-scale feature extractions with SVMs for stock index forecasting”, *Expert Systems with Applications* 35, 2008, pp. 2080–2088.
24. Jang, G.S., Lai, F. and Parng, T.M., “Intelligent Stock Trading Decision Support System Using Dual Adaptive-Structure Neural Networks”, *Journal of Information Science and Engineering*, 1993, pp. 271-297.
25. Jiang, Rui and Szeto, K. Y., “Discovering investment strategies in portfolio management: A genetic algorithm approach”, *Proceedings of the 9th International Conference on Neural Information Processing (ICONIP'02)*, Singapore, Vol.3, 2002, pp. 1206-1210.
26. Kara, Y., Boyacioglu, M.C. and Baykan, O.K., “Predicting direction of stock price index movement using artificial neural networks and support vector machines: The sample of

- the Istanbul Stock Exchange”, *Expert Systems with Applications* 38, 2011, pp. 5311-5319.
27. Kim, H.J., Shin, K.S., “A hybrid approach based on neural networks and genetic algorithms for detecting temporal patterns in stock markets”, *Applied Soft Computing* 7, 2007, pp. 569-576.
 28. Kimoto, T., Asakawa, K., Yoda, M. and Takeoka, M., “Stock Market Prediction System with Modular Neural Networks”, In *Proceeding of the 1990 IJCNN International Joint Conference*, vol. 1, 1990, pp. 1-6.
 29. Korczak, J., Roger, P., “Stock timing using genetic algorithms”, *Applied Stochastic Models in Business and Industry* 18, 2002, pp. 121-134.
 30. Lazo, J. G., Vellasco, B. R., and Pacheco, A. C., “A Hybrid Genetic-Neural System for Portfolio Selection and Management, *Proceedings - Sixth International Conference on Engineering Applications of Neural Networks*”, Kingston Upon Thames, 2000, pp. 182-189.
 31. Li, J., Tsang, E.P.K., “Investment decision-making using FGP: a case study”, *CEC Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation*, Volume 2, 1999, pp. 14-21.
 32. Oh, K. J., Kim, T. Y., Min, S. H. and Lee, H. Y., “Portfolio algorithm based on portfolio beta using genetic algorithm”, *Expert Systems with Applications* 30, 2006, pp. 522-534.
 33. Orito, Y. and Yamazaki, G., “Index Fund Portfolio Selection by Using GA”, in *Proceedings of the Fourth International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications (ICCIMA)*, 2001, pp. 118-122.
 34. Rafaely, B. and Bennell, J. A., “Optimisation of FTSE100 tracker funds: A comparison of genetic algorithms and quadratic programming”, *Managerial Finance*, Vol.32, Issue6, 2006, pp. 477-492.
 35. Shoaf, J. and Foster, J. A., “The Efficient Set GA for Stock Portfolio”, in *Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Evolutionary Computation (ICEC98)*, 1998, pp. 354-359.
 36. Soleimani, H., Golmakani, H. R. and Salimi, M. H., “Markowitz-based portfolio selection with minimum transaction lots, cardinality constraints and regarding sector capitalization using genetic algorithm”, *Expert Systems with Applications* 36, 2009, pp. 5058-5063.
 37. Wang, J.Z., Wang, J.J., Zhang, Z.G, Guo, S.P., “Forecasting stock indices with back propagation neural network”, *Expert Systems with Applications* 38, 2011, pp. 14346-14355.
 38. Xie, H., Anrae, P., Zhang, M., Warren, P., “Learning models for english speech recognition”, in: *Proceedings of the 27th Conference on Australasian Computer Science*, 2004, pp. 323-329.
 39. Yang ,Y., Liu, G., Zhang, Z., “Stock market trend prediction based on neural networks, multiresolution analysis and dynamical reconstruction”, *Proceedings of the IEEE/IAFE/INFORMS Conference on, Computational Intelligence for Financial*

Engineering (CIFEr), 2000, pp. 155 – 156.