# Experimentation

本研究總共有3個實驗，實驗一為單目標的預測，使用的目標為2001年台灣股票加權指數 (The Taiwan stock exchange capitalization weighted stock index, TAIEX)；實驗二為雙目標的預測，檢驗模型透過複數型態的歸屬程度可行性，使用第一組複數輸出預測兩個目標，實數部分負責第一個目標，虛數部分負責第二個目標，同時預測TAIEX以及恆生指數 (Hang seng index, HSI)；實驗三為四個目標的多目標預測，使用到兩組複數型態的輸出，比實驗二複雜度更高，其中包含了2001年的台股指數、道瓊工業指數 (Dow Jones industrial average index, DJI)、納斯達克 (National association of securities dealers automated quotation, NASDAQ)以及標準普爾500 (Standard and Poor’s 500, S&P 500)。上述目標皆為非常著名的股票指標，像是TAIEX為台灣上市的股票中經過加權計算出的指標，代表著台灣上市股票的波動；HSI是以反映香港股市行情的重要指標，指數由五十隻恆指成份股的市值計算出來的，相當於香港交易所所有上市公司十二個月平均市值涵蓋率的63%；DJI涵蓋著財務等9大產業，為一股價加權指標；NASDAQ為超過三千檔股票所組合成的市值加權指標，大多以科技產業為例；S&P500為美國前500大公司的市值加權，當中包含IT等11個產業。這些指標代表著一個國家甚至全球股票的趨勢，故能精準預測可為投資者帶來不少的幫助。

為了與其他文獻比較模型的好壞，我們將透過誤差指標對模型評估以及計算模擬投資後的利潤。成本函數 (Cost function)與評估指標皆使用均方根誤差(Root mean square error, RMSE)，公式如下。

|  |  |
| --- | --- |
| , |  |
| , |  |

，為資料總筆數；為模型第筆資料的誤差向量;為第筆目標向量；為第筆模型輸出向量；為埃爾米特共軛(Hermitian transpose)，意即轉置矩陣後，並對矩陣元素做共軛運算。

在結構學習部分，本研究中所有實驗的規則數，意即第2層神經元上限皆設定為15，下限皆設定為4，故模型第2層神經元個數會介於4~15之間。

在模擬投資方面，所有實驗的買賣策略門檻參數會介於0至0.1之間，因為門檻參數代表著股票的波動，而台灣股票的漲跌幅為10%，因此會從此區間中挑選出最佳的，從0開始每次以0.001增加，直至0.1，所有實驗會透過訓練資料找出利潤最佳的門檻參數，並透過測試資料計算利潤，若訓練階段利潤為0，則測試資料利潤設為0，亦即不參與投資。

## Example 1—Time Series of Daily TAIEX

本實驗使用真實世界的時間序列數據來驗證模型的效能，目標為TAIEX。實驗目標是建立一適當的模型，經過訓練後預測每日股價指數。模型輸出為一複數值，取其實數部分預測目標。 使用的資料為TAIEX 2001年的每日收盤價，此實驗的原始資料為278筆，做一次差分後，從中擷取出30個特徵，每個特徵有247筆資料，前181筆資料作為訓練資料，剩餘作為測試資料。經過多目標特徵挑選後選出特徵做為模型輸入資料。結構學習部分，會透過減數分群演算法分群，在進行區塊挑選如第三章第二小節所介紹，本實驗各個輸入維度分別有{3,3,3,3}個複數模糊集，進行區塊挑選後，從原本的144個神經元篩選到剩下15個神經元，藉由資料驅動 (Data driven)概念適當地建構模型，每個複數模糊集有3個參數，其中包含中心、標準差以及相位頻率參數，總共有12個複數模糊集，故前鑑部參數數量為36，後鑑部型態為T-S function，因此總共會有個參數，為後鑑部數目，為模型輸入維度數目。整體模型在結構學習後的參數，如TABLE I所示。機器學習參數設定，如TABLE II所示。本次範例的結果除了兩個演算法比較也與其他論文 [38]所提的方法做比較，像是Chen、Yu、SVR和ANFIS。比較結果如TABLE III所示。為了測試模型的穩定性，我們總共跑了十次的實驗，效能統計結果如TABLE IV所示。模擬投資所賺的利潤如TABLE V所示，可發現本研究提出的投資策略相對來說標準差越低，代表投資風險越低，且平均值仍然為正代表模型有帶來利潤。模擬投資的利潤比較如TABLE VI所示，可發現本研究的模型所帶來的利益較高。滑動窗格計算法的利潤如TABLE VII所示。目標與模型輸出的結果，如Fig. 5所示；模型的機器學習曲線，如Fig. 6所示；預測誤差如Fig. 7所示。

TABLE I

實驗一模型設定

|  |  |
| --- | --- |
| **參數** | **值** |
| 特徵變數(輸入變數) | {} |
| 模糊集數量 | {3, 3, 3, 3} |
| 模糊集型態 | CFS |
| 複數型態目標數目\* | 1 |
| 神經元數目 | 15 |
| 前鑑部參數數目 | 36 |
| T–S神經元數目 | 15 |
| 後鑑部參數數目 | 75 |

\* 複數目標的實部，對應本研究的目標

TABLE II

機器學習參數設定

|  |  |
| --- | --- |
| **PSO** | |
| 粒子群大小 | 50 |
| 迭代次數 | 100 |
|  | {0.8, 2.0, 2.0} |
|  | Random in [0,1] |
| 粒子初始化位置 | 藉由第三章所提SC演算法決定 |
| 粒子初始化速度 | 0 |
| **ABCO** |  |
| 工蜂數量 | 40 |
| 觀察蜂數量 | 10 |
| 迭代次數 | 100 |
| 限制回合數 | 20 |
| **RLSE** | |
|  |  |
|  | 25-by-1 全零向量 |
|  | **I** |
| **I** | 25-by-25 單位矩陣 |

TABLE IV

十次重複實驗效能統計 (實驗一)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Trials | RMSE | |
| PSO-RLSE | ABCO-RLSE |
| 1 | 102.33 | 102.94 |
| 2 | 102.17 | 105.22 |
| 3 | 104.88 | 102.69 |
| 4 | 102.69 | 102.75 |
| 5 | 102.96 | **101.93** |
| 6 | **102.01** | 102.97 |
| 7 | 103.17 | 103.15 |
| 8 | 117.92 | 103.01 |
| 9 | 102.54 | 104.63 |
| 10 | 103.96 | 106.87 |

TABLE III

效能比較 (實驗一)

|  |  |
| --- | --- |
| 方法 | RMSE |
| Chen [38] | 167 |
| Yu [38] | 148 |
| AR(1) [38] | 115 |
| SVR [38] | 114 |
| ANFIS [38] | 120 |
| Wei [38] | 110 |
| PSO-RLSE (proposed) | 102.01 |
| ABCO-RLSE (proposed) | **101.93** |

TABLE V

模擬投資利潤表 (實驗一)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Trials | PSO-RLSE | | ABCO-RLSE | | PSO-RLSE\* | | ABCO-RLSE\* | |
| 利潤 | | 利潤 | | 利潤 | | 利潤 | |
| Best | 0.052 | | 0.027 | | 0.057 | | 0.048 | |
| 1 | **990.76** |  | -430.77 |  | 0 |  | 0 |  |
| 2 | 698.90 |  | -484.46 |  | 102.42 |  | -25.62 |  |
| 3 | -1.7452 |  | -700.05 |  | **205.99** |  | 0 |  |
| 4 | -826.35 |  | **790.05** |  | -86.05 |  | 0 |  |
| 5 | 235.74 |  | 666.28 |  | 0 |  | **187.81** |  |
| 6 | 283.94 |  | 490.75 |  | 102.01 |  | 108.23 |  |
| 7 | -356.82 |  | 207.13 |  | 161.61 |  | 12.12 |  |
| 8 | 465.34 |  | 530.23 |  | -21.53 |  | 82.03 |  |
| 9 | 152.48 |  | -382.58 |  | 12.12 |  | -21.53 |  |
| 10 | -713.04 |  | 145.88 |  | 188.41 |  | 80.18 |  |
| 平均 | -81.43 | | 83.24 | | 66.49 | | 42.32 | |
| 標準差 | 826.24 | | 541.78 | | 99.29 | | 69.52 | |
| 最大值 | 990.76 | | 790.05 | | 205.99 | | 187.81 | |
| 最小值 | -826.35 | | -700.05 | | -86.05 | | -21.53 | |

\*為本研究提出投資策略方法的結果

TABLE VI

模擬投資利潤比較表 (實驗一)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Chen [38] | Yu [38] | AR(1) [38] | SVR [38] | ANFIS [38] | Wei [38] | PSO-RLSE | ABCO-RLSE |
| Best | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.052 | 0.027 |
| 利潤 (TAIEX) | -92 | -73 | 671 | 202 | 686 | 795 | **990.76** | 790.05 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| TABLE VII  滑動窗格利潤表 (實驗一) | | | | | | | | | |
| Trials | PSO-RLSE | | | |  | ABCO-RLSE | | | |
| 窗格大小 | 5 | 10 | 20 | 30 |  | 5 | 10 | 20 | 30 |
| Best | 0.019 | 0.056 | 0.001 | 0.056 |  | 0.048 | 0.009 | 0.048 | 0.048 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | **177.02** | **269.14** | **704.83** | **269.14** |
| 6 | 102.01 | **161.69** | **161.69** | 9.18 |  | 82.03 | 0 | 609.84 | 174.15 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 82.03 | 0 | 609.84 | 174.15 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | **319.26** |  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 平均 | 10.2 | 90.96 | 16.17 | 32.84 |  | 34.11 | 26.91 | 192.45 | 61.74 |
| 標準差 | 32.26 | 148.68 | 51.13 | 100.67 |  | 60.7 | 85.11 | 310.95 | 102.72 |
| 最大值 | 102.01 | 161.69 | 161.7 | 319.26 |  | 177.02 | 269.14 | 704.83 | 269.14 |
| 最小值 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 0 | 0 |



(a) TAIEX預測 (PSO-RLSE)



(b) TAIEX預測 (ABCO-RLSE)

Fig. 5. 預測結果

藍色實線為實際目標值，紅色虛線為模型預測值，在測試與訓練階段看起來都有著不錯的成果。



(a) PSO-RLSE



(b) ABCO-RLSE

Fig. 6. 模型預測誤差值

誤差值兩個演算法都以亂數分布呈現，介於-50~50之間，代表模型預測能力穩定

(a) PSO-RLSE



(b) ABCO-RLSE

Fig. 7. 實驗一模型學習曲線

## Example 2—Double Time Series of Daily TAIEX and HSI

本實驗一次預測兩個目標，分別為TAIEX與HSI。實驗目標是建立一適當的模型，經過訓練後預測每日股價指數。模型輸出為一複數值，取其實數部分預測TAIEX，虛數部分預測HSI。使用的資料為TAIEX 2000年的每日收盤價以及HIS 2000年的每日收盤價，此實驗的原始資料為277筆，經過一次差分後得到276筆，從每組資料中取出30個特徵值，共60個特徵，每個特徵為246筆資料，其中前204筆為訓練資料，剩餘為訓練資料，第1至30個特徵為TAIEX收盤價，第31至60為HIS收盤價。透過多目標特徵挑選後選出特徵做為模型輸入資料。結構學習部分，會透過減數分群演算法分群，在進行區塊挑選如第三章第二小節所介紹，本實驗各個輸入維度分別有{3, 3, 3, 3}個複數模糊集，進行區塊挑選後，從原本的81個神經元篩選到剩下9個神經元，藉由資料驅動(Data driven)概念適當地建構模型，每個複數模糊集有3個參數，其中包含中心、標準差以及相位頻率參數，總共有12個複數模糊集，故前鑑部參數數量為36，後鑑部型態為T-S function，因此總共會有個參數，為後鑑部數目，為模型輸入維度數目。整體模型在結構學習後的參數，如TABLE VIII所示。機器學習參數設定，如TABLE IX所示。本次範例的結果除了兩個演算法比較也與其他論文 [6]所提的方法做比較，像是Chen、Yu、SR+ANFIS等。比較結果如TABLE X所示。為了測試模型的穩定性，我們總共跑了十次的實驗，效能統計結果如TABLE XI所示。模擬投資所賺的利潤如TABLE XII所示，本研究提出的模型利潤標準差較低，代表投資風險較低，且利潤平均較高，代表更容易賺錢。模擬投資利潤比較表如表TABLE XIII所示，可發現利潤比較中，本研究提出的策略大於過去文獻的策略。滑動窗格計算法的利潤如TABLE XIV所示。目標與模型輸出的結果，如Fig. 8所示；模型的機器學習曲線，如Fig. 9所示；預測誤差如Fig. 10所示。

TABLE VIII

實驗二模型設定

|  |  |
| --- | --- |
| **參數** | **值** |
| 特徵變數(輸入變數) | {} |
| 模糊集數量 | {3, 3, 3, 3} |
| 模糊集型態 | CFS |
| 複數型態目標數目\* | 1 |
| 神經元數目 | 9 |
| 前鑑部參數數目 | 36 |
| T–S神經元數目 | 9 |
| 後鑑部參數數目 | 45 |

\* 每一個複數目標的實部與虛部，分別包含兩個實數目標

TABLE IX

機器學習參數設定

|  |  |
| --- | --- |
| **PSO** | |
| 粒子群大小 | 50 |
| 迭代次數 | 100 |
|  | {0.8, 2.0, 2.0} |
|  | Random in [0,1] |
| 粒子初始化位置 | 藉由第三章所提SC演算法決定 |
| 粒子初始化速度 | 0 |
| **ABCO** | |
| 工蜂數量 | 40 |
| 觀察蜂數量 | 10 |
| 迭代次數 | 100 |
| 限制回合數 | 20 |
| **RLSE** | |
|  |  |
|  | 25-by-1 全零向量 |
|  | **I** |
| **I** | 25-by-25 單位矩陣 |

TABLE X

效能比較(實驗二)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **方法** | **TAIEX** | **HSI** |
| Chen [6] | 413.27 | 280.15 |
| Yu [6] | 419.64 | 297.05 |
| SR+ANFIS [6] | 454.63 | 356.70 |
| SR+SVR [6] | 255.87 | 356.81 |
| Elman [6] | 154.21 | 302.27 |
| Cheng [6] | **150.55** | 251.70 |
| PSO-RLSE | 151.06 | 254.97 |
| ABCO-RLSE | 153.45 | **250.51** |

TABLE XI

十次重複實驗效能統計(實驗二)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Trials | PSO-RLSE | ABCO-RLSE |
| 1 | 298.49 | 296.49 |
| 2 | **296.36** | 304.76 |
| 3 | 302.48 | 296.26 |
| 4 | 298.20 | 296.25 |
| 5 | 305.08 | 296.59 |
| 6 | 332.39 | **293.77** |
| 7 | 308.42 | 314.39 |
| 8 | 303.56 | 295.34 |
| 9 | 297.36 | 297.58 |
| 10 | 329.41 | 307.30 |

TABLE XII

模擬投資利潤表(實驗二)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Trials | PSO-RLSE | | ABCO-RLSE | | PSO-RLSE\* | | ABCO-RLSE\* | |
| 利潤 | | 利潤 | | 利潤 | | 利潤 | |
| Best | 0.029 | | 0.073 | | 0.047 | | 0.011 | |
| 1 | -127.26 |  | -1540.7 |  | 167.42 |  | 128.39 |  |
| 2 | -1712.9 |  | **2062.4** |  | 122.46 |  | 35.49 |  |
| 3 | -2726.6 |  | -1337 |  | 166.24 |  | -61.21 |  |
| 4 | -2022.7 |  | -822.64 |  | 62.53 |  | -143.9 |  |
| 5 | 909.16 |  | 814.5 |  | 515.98 |  | **285.72** |  |
| 6 | -969.99 |  | -1902.1 |  | 500.97 |  | -209.4 |  |
| 7 | 1453.9 |  | 163.68 |  | 25.05 |  | 149.63 |  |
| 8 | -2712.9 |  | 665.28 |  | 66.42 |  | -95.68 |  |
| 9 | **2515.3** |  | -1274 |  | **800.26** |  | 128.39 |  |
| 10 | -826.09 |  | -941.3 |  | -121.6 |  | 202.16 |  |
| 平均 | -622 | | -411.17 | | 230.57 | | 41.95 | |
| 標準差 | 1790 | | 1276.3 | | 282.92 | | 162.95 | |
| 最大值 | 2515.3 | | 2062.4 | | 800.26 | | 285.72 | |
| 最小值 | -2726.6 | | -1902.1 | | -121.6 | | -209.4 | |

\*為本研究提出投資策略方法的結果

TABLE XIII

模擬投資利潤比較表(實驗二)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Chen [6] | Yu  [6] | SR+ANFIS [6] | SR+SVR [6] | Elman [6] | Cheng et al. [6] | PSO-RLSE | ABCO-RLSE |
| Best | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.029 | 0.073 |
| 利潤(TAIEX) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -231.02 | **1367.8** | 922.95 |
| 利潤(HSI) | -1471 | -1368 | -602.94 | 190.71 | 2342 | 1793.12 | **2393.1** | 1139.4 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| TABLE XIV  滑動窗格利潤表 (實驗二) | | | | | | | | | |
| Trials | PSO-RLSE | | | |  | ABCO-RLSE | | | |
| 窗格大小 | 5 | 10 | 20 | 30 |  | 5 | 10 | 20 | 30 |
| Best | 0.023 | 0.024 | 0.098 | 0.015 |  | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.002 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 平均 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 標準差 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 最大值 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 最小值 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 0 | 0 |



(a) TAIEX預測 (PSO-RLSE)

(b) TAIEX預測 (ABCO-RLSE)



(c) HIS預測 (ABCO-RLSE)



(d) HSI預測 (ABCO-RLSE)

Fig. 8. 預測結果

藍色實線為實際目標值，紅色虛線為模型預測值，可以看出兩種演算法都有著不錯的預測效果



(a) PSO-RLSE



(b) ABCO-RLSE

Fig. 9. 模型預測誤差值

兩種演算法的模型誤差呈現隨機亂數狀態，代表模型預測能力穩定



(a) PSO-RLSE



(b) ABCO-RLSE

Fig. 10. 實驗二模型學習曲線

PSO-RLSE在75回合時，模型逐漸穩定，ABCO-RLSE在25回合左右模型逐漸穩定。

## Example 3—Quadruple Time Series of Daily TAIEX, DJI, NASDAQ and S&P500

本實驗一次預測四個目標，分別為TAIEX、DJI、NASDAQ和S&P500。實驗目標是建立一適當的模型，經過訓練後預測每日股價指數。模型輸出為一複數值，取第一組複數輸出實數部分預測TAIEX，虛數部分預測DJI，第二組複數輸出實數部分預測NASDAQ，虛數部分預測S&P500。使用的資料為TAIEX、DJI、NASDAQ和S&P500於 2000年的每日收盤價，此實驗的原始資料為278筆，經過一次差分後得到277筆，從每組資料中取出30個特徵值，共60個特徵，每個特徵為247筆資料，其中前181筆為訓練資料，剩餘為訓練資料，第1至30個特徵為TAIEX收盤價，第31至60為DJI收盤價，第61至90為NASDAQ，第91至120為S&P500。透過多目標特徵挑選後選出特徵做為模型輸入資料。結構學習部分，會透過減數分群演算法分群，在進行區塊挑選如第三章第二小節所介紹，本實驗各個輸入維度分別{3, 3, 3, 3}個複數模糊集，進行區塊挑選後，從原本的81個神經元篩選到剩下9個神經元，藉由資料驅動(Data driven)概念適當地建構模型，每個複數模糊集有3個參數，其中包含中心、標準差以及相位頻率參數，總共有12個複數模糊集，故前鑑部參數數量為36，後鑑部型態為T-S function，因此總共會有個參數，為後鑑部數目，為模型輸入維度數目。整體模型在結構學習後的參數，如TABLE XV所示。機器學習參數設定，如TABLE XVI所示。本次範例的結果除了兩個演算法比較也與其他論文 [27]所提的方法做比較，像是SVR、ANFIS、RBF和CNFS-ARIMA等。比較結果如TABLE XVII所示。為了測試模型的穩定性，我們總共跑了十次的實驗，效能統計結果如TABLE XVIII所示。模擬投資所賺的利潤如TABLE XIX所示，可發現本研究提出的策略，標準差較低，意即投資風險較低，且平均利潤為正，代表賺錢機率高。投資利潤比較表如TABLE XX所示，本研究所提出的模型勝過其他文獻的方法。滑動窗格計算法的利潤如TABLE XXI所示。目標與模型輸出的結果，如Fig. 11所示；模型的機器學習曲線，如Fig. 12所示；預測誤差如Fig. 13所示。

TABLE XV

實驗三模型設定

|  |  |
| --- | --- |
| **參數** | **值** |
| 特徵變數(輸入變數) | {} |
| 模糊集數量 | {3, 3, 3, 3} |
| 模糊集型態 | CFS |
| 複數型態目標數目 | 2 |
| 神經元數目 | 9 |
| 前鑑部參數數目 | 36 |
| T–S神經元數目 | 9 |
| 後鑑部參數數目 | 45 |

\* 每一個複數目標的實部與虛部，分別包含兩個實數目標

TABLE XVI

機器學習參數設定

|  |  |
| --- | --- |
| **PSO** | |
| 粒子群大小 | 50 |
| 迭代次數 | 100 |
|  | {0.8, 2.0, 2.0} |
|  | Random in [0,1] |
| 粒子初始化位置 | 藉由第三章所提SC演算法決定 |
| 粒子初始化速度 | 0 |
| **ABCO** |  |
| 工蜂數量 | 40 |
| 觀察蜂數量 | 10 |
| 迭代次數 | 100 |
| 限制回合數 | 20 |
| **RLSE** | |
|  |  |
|  | 25-by-1 全零向量 |
|  | **I** |
| **I** | 25-by-25 單位矩陣 |

TABLE XVII

效能比較(實驗三)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 方法 | TAIEX | DJI |
| SVR (two models, each with single output) [27] | 162.46 | 101.44 |
| ANFIS (two models, each with single output) [27] | 147.36 | 105.56 |
| ANFIS (one model with two outputs) [27] | 151.62 | 128.20 |
| RBF (two models, each with single output) [27] | 134.32 | 106.33 |
| RBF (one model with two outputs) [27] | 137.58 | 181.79 |
| CNFS(5)-ARIMA (one model with two outputs) [27] | 115.82 | 103.06 |
| PSO-RLSE | **101.61** | 101.82 |
| ABCO-RLSE | 102.61 | **100.79** |

TABLE XVIII

十次重複實驗效能統計(實驗三)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Trials | PSO-RLSE | ABCO-RLSE |
| 1 | 185.99 | 199.32 |
| 2 | 183.75 | 183.89 |
| 3 | 183.72 | 204.56 |
| 4 | 183.81 | 256.10 |
| 5 | 184.39 | **180.82** |
| 6 | 191.31 | 199.00 |
| 7 | **181.90** | 217.09 |
| 8 | 281.10 | 182.13 |
| 9 | 183.68 | 188.24 |
| 10 | 183.67 | 183.89 |

TABLE XIX

模擬投資利潤表(實驗三)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Trials | PSO-RLSE | | ABCO-RLSE | | PSO-RLSE\* | | ABCO-RLSE\* | |
| 利潤 | | 利潤 | | 利潤 | | 利潤 | |
| Best | 0.049 | | 0.049 | | 0.059 | | 0.025 | |
| 1 | -444.90 |  | 942.69 |  | 341.79 |  | **951.12** |  |
| 2 | 615.12 |  | 1206 |  | 0 |  | 266.13 |  |
| 3 | 880.74 |  | -850.1 |  | 52.399 |  | -139.9 |  |
| 4 | -1629.7 |  | 67.36 |  | 0 |  | 352.73 |  |
| 5 | -365.89 |  | **3201.7** |  | 149.49 |  | 682.72 |  |
| 6 | 762.83 |  | 1374.9 |  | **740.06** |  | 141.16 |  |
| 7 | **2146.7** |  | 2156.9 |  | 80.34 |  | 149.49 |  |
| 8 | -805.41 |  | 784.34 |  | 310.11 |  | 410.97 |  |
| 9 | -1741.7 |  | 3460.7 |  | 0 |  | 324.16 |  |
| 10 | -1189.6 |  | 1206 |  | 0 |  | 266.13 |  |
| 平均 | -177.19 | | 1355.1 | | 167.42 | | 340.47 | |
| 標準差 | 1252.4 | | 1314 | | 238.49 | | 300.64 | |
| 最大值 | 2146.7 | | 3201.7 | | 740.06 | | 951.12 | |
| 最小值 | -1741.7 | | -850.1 | | 0 | | -139.9 | |

\*為本研究提出投資策略方法的結果

TABLE XX

模擬投資利潤比較表 (實驗三)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Chen [38] | Yu [38] | AR(1) [38] | SVR [38] | ANFIS [38] | Wei [38] | PSO-RLSE | ABCO-RLSE |
| Best | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.049 | 0.049 |
| 利潤(TAIEX) | -92 | -73 | 671 | 202 | 686 | 795 | 1104.6 | **1409.9** |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| TABLE XXI  滑動窗格利潤表 (實驗三) | | | | | | | | | |
| Trials | PSO-RLSE | | | |  | ABCO-RLSE | | | |
| 窗格大小 | 5 | 10 | 20 | 30 |  | 5 | 10 | 20 | 30 |
| Best | 0.022 | 0.022 | 0.017 | 0.064 |  | 0.006 | 0.006 | 0.05 | 0.022 |
| 1 | **457.97** | **1225.6** | 325.31 | 140.61 |  | 0 | 0 | 1837.7 | 602.43 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 1724.5 | 658.46 |
| 3 | 354.04 | 538.28 | **1409.7** | **1159.8** |  | 177.02 | 269.14 | 1760.4 | 453.38 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 48.85 | 48.85 | 1704.2 | 397.15 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 107.53 |  | 0 | 0 | **2292.7** | 618.23 |
| 6 | 280.44 | 955.11 | 325.31 | 364.55 |  | 412.09 | 471.78 | 471.78 | 619.26 |
| 7 | 150.82 | 242.94 | 678.63 | 496.28 |  | 0 | 0 | 119.82 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 410.98 | **1760.3** | 650.62 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | **766.13** | 1010.1 | 1881.4 | **857.54** |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 1724.5 | 658.46 |
| 平均 | 124.33 | **296.19** | 273.89 | 226.88 |  | 181.51 | 356.01 | **1416.8** | 456.49 |
| 標準差 | 176.98 | 457.74 | 460.58 | 371.34 |  | 264.57 | 591.50 | 723.62 | 284.61 |
| 最大值 | 457.97 | 1225.6 | 1409.7 | 1159.8 |  | 766.13 | 1760.3 | 2292.7 | 857.54 |
| 最小值 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 119.82 | 0 |



(a) TAIEX預測 (PSO-RLSE)



(b) TAIEX預測 (ABCO-RLSE)



(c) DJI預測 (PSO-RLSE)



(d) DJI預測 (ABCO-RLSE)



(e) NASDAQ預測 (PSO-RLSE)



(f) NASDAQ預測 (ABCO-RLSE)



(g) S&P500預測 (PSO-RLSE)



(h) S&P500預測 (ABCO-RLSE)

Fig. 11. 預測結果

藍色實線為實際目標值，紅色虛線為模型預測值，可以看出兩種演算法不論在訓練或是測試階段都有著不錯的預測效果



(a) PSO-RLSE



(b) ABCO-RLSE

Fig. 12. 模型預測誤差值

預測誤差呈現隨機亂數狀態，介於-100~100之間，代表模型預測能力穩定。



(a) PSO-RLSE



(b) ABCO-RLSE

Fig. 13. 實驗三模型學習曲線

可以看出PSO-RLSE在85迭代時，模型逐漸穩定，ABCO-RLSE在10回合時學習有些許的停滯，但之後又找到更好的位置直到75回合左右逐漸穩定。

## Example 4—Quadruple Time Series of Daily TAIEX, DJI, NASDAQ and S&P500

在這個實驗中，我們也是使用真實世界的時間序列數據來驗證模型的效能，與實驗一不同的是，四個目標之間不是收盤價與開盤價的關係，意即目標的曲線相似度沒有像實驗一目標曲線的相似度高。使用的資料為巴西股指指數BVSP、道瓊工業指數(Dow Jones Industrial Average Index, DJI)、日經指數(Nikkei 225)以及上證指數(SSEC)，資料區間為2006年3月14日至2010年4月1日，其中2006年3月14日至2009年5月27日當作訓練資料，剩餘的當作測試資料。每年四組原始資料會做一次差分，並以4組差分資料取出30個特徵，共有120個特徵。第1至30個特徵為BVSP收盤價，第31至60個特徵為DJI收盤價，第61至90個特徵為Nikkei 225收盤價，第91至120個特徵為SSEC收盤價，這120個特徵與目標形成資料矩陣，資料矩陣中以S&P500距離目標最近，目標排序為BVSP收盤價、DJI收盤價、Nikkei 225收盤價、SSEC收盤價。資料矩陣經過多目標特徵挑選[22]後，將選出的特徵作為模型輸入，複數型態目標有兩個，第一組複數型態的目標實部部分為BVSP收盤價，虛部部分為DJI收盤價，第二組複數型態的目標實部部分為Nikkei 225收盤價，虛部部分為SSEC收盤價。結構學習部分，則將每個被挑選的特徵，用減數分群演算法[11]分群。並透過第二章所介紹的神經元挑選方法，減少神經元數目。整體模型在結構學習後的參數，如表V-表VIII所示。PSO–RLSE混合方法的機器學習參數設定，如表IX所示。本篇論文所提出的模型可以一次有四個複數型態的輸出，故可以預測四個複數型態目標，但在此實驗中只同時預測兩個目標。

TABLE XV

實驗四模型設定

|  |  |
| --- | --- |
| **參數** | **值** |
| 特徵變數(輸入變數) | {} |
| 模糊集數量 | {3, 3, 3, 3} |
| 模糊集型態 | CFS |
| 複數型態目標數目 | 2 |
| 神經元數目 | 9 |
| 前鑑部參數數目 | 36 |
| T–S神經元數目 | 9 |
| 後鑑部參數數目 | 45 |

\* 每一個複數目標的實部與虛部，分別包含兩個實數目標

TABLE XVI

機器學習參數設定

|  |  |
| --- | --- |
| **PSO** | |
| 粒子群大小 | 50 |
| 迭代次數 | 100 |
|  | {0.8, 2.0, 2.0} |
|  | Random in [0,1] |
| 粒子初始化位置 | 藉由第三章所提SC演算法決定 |
| 粒子初始化速度 | 0 |
| **ABCO** |  |
| 工蜂數量 | 40 |
| 觀察蜂數量 | 10 |
| 迭代次數 | 100 |
| 限制回合數 | 20 |
| **RLSE** | |
|  |  |
|  | 25-by-1 全零向量 |
|  | **I** |
| **I** | 25-by-25 單位矩陣 |

TABLE XVII

效能比較(實驗四)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 方法 | TAIEX | DJI |
| SVR (two models, each with single output) [27] | 162.46 | 101.44 |
| ANFIS (two models, each with single output) [27] | 147.36 | 105.56 |
| ANFIS (one model with two outputs) [27] | 151.62 | 128.20 |
| RBF (two models, each with single output) [27] | 134.32 | 106.33 |
| RBF (one model with two outputs) [27] | 137.58 | 181.79 |
| CNFS(5)-ARIMA (one model with two outputs) [27] | 115.82 | 103.06 |
| PSO-RLSE | **101.61** | 101.82 |
| ABCO-RLSE | 102.61 | **100.79** |

TABLE XVIII

十次重複實驗效能統計(實驗四)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Trials | PSO-RLSE | ABCO-RLSE |
| 1 | 1032.6 | 1032.5 |
| 2 | 1033.2 | 1031.1 |
| 3 | 1339.3 | 1062.4 |
| 4 | 1695.4 | 1033.3 |
| 5 | 1032.9 | 1036.2 |
| 6 | 1034 | 1033 |
| 7 | 1033.1 | 1034.8 |
| 8 | 1034.5 | 1033.3 |
| 9 | 1032.6 | 1031.7 |
| 10 | 1033.8 | 1032.8 |
| 平均 | 1130.1 | 1036.1 |
| 標準差 | 220.66 | 9.348 |
| Best | 1032.6 | 1031.1 |
| Worst | 1695.4 | 1062.4 |

TABLE XIX

模擬投資利潤表(實驗四)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Trials | PSO-RLSE | | ABCO-RLSE | | PSO-RLSE\* | | ABCO-RLSE\* | |
| 利潤 | | 利潤 | | 利潤 | | 利潤 | |
| Best | 0.049 | | 0.049 | | 0.059 | | 0.025 | |
| 1 | -444.90 |  | 942.69 |  | 341.79 |  | **951.12** |  |
| 2 | 615.12 |  | 1206 |  | 0 |  | 266.13 |  |
| 3 | 880.74 |  | -850.1 |  | 52.399 |  | -139.9 |  |
| 4 | -1629.7 |  | 67.36 |  | 0 |  | 352.73 |  |
| 5 | -365.89 |  | **3201.7** |  | 149.49 |  | 682.72 |  |
| 6 | 762.83 |  | 1374.9 |  | **740.06** |  | 141.16 |  |
| 7 | **2146.7** |  | 2156.9 |  | 80.34 |  | 149.49 |  |
| 8 | -805.41 |  | 784.34 |  | 310.11 |  | 410.97 |  |
| 9 | -1741.7 |  | 3460.7 |  | 0 |  | 324.16 |  |
| 10 | -1189.6 |  | 1206 |  | 0 |  | 266.13 |  |
| 平均 | -177.19 | | 1355.1 | | 167.42 | | 340.47 | |
| 標準差 | 1252.4 | | 1314 | | 238.49 | | 300.64 | |
| 最大值 | 2146.7 | | 3201.7 | | 740.06 | | 951.12 | |
| 最小值 | -1741.7 | | -850.1 | | 0 | | -139.9 | |

\*為本研究提出投資策略方法的結果

TABLE XX

模擬投資利潤比較表 (實驗四)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Chen [38] | Yu [38] | AR(1) [38] | SVR [38] | ANFIS [38] | Wei [38] | PSO-RLSE | ABCO-RLSE |
| Best | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.049 | 0.049 |
| 利潤(TAIEX) | -92 | -73 | 671 | 202 | 686 | 795 | 1104.6 | **1409.9** |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| TABLE XXI  滑動窗格利潤表 (實驗四) | | | | | | | | | |
| Trials | PSO-RLSE | | | |  | ABCO-RLSE | | | |
| 窗格大小 | 5 | 10 | 20 | 30 |  | 5 | 10 | 20 | 30 |
| Best | 0.022 | 0.022 | 0.017 | 0.064 |  | 0.006 | 0.006 | 0.05 | 0.022 |
| 1 | **457.97** | **1225.6** | 325.31 | 140.61 |  | 0 | 0 | 1837.7 | 602.43 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 1724.5 | 658.46 |
| 3 | 354.04 | 538.28 | **1409.7** | **1159.8** |  | 177.02 | 269.14 | 1760.4 | 453.38 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 48.85 | 48.85 | 1704.2 | 397.15 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 107.53 |  | 0 | 0 | **2292.7** | 618.23 |
| 6 | 280.44 | 955.11 | 325.31 | 364.55 |  | 412.09 | 471.78 | 471.78 | 619.26 |
| 7 | 150.82 | 242.94 | 678.63 | 496.28 |  | 0 | 0 | 119.82 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 410.98 | **1760.3** | 650.62 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | **766.13** | 1010.1 | 1881.4 | **857.54** |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 1724.5 | 658.46 |
| 平均 | 124.33 | **296.19** | 273.89 | 226.88 |  | 181.51 | 356.01 | **1416.8** | 456.49 |
| 標準差 | 176.98 | 457.74 | 460.58 | 371.34 |  | 264.57 | 591.50 | 723.62 | 284.61 |
| 最大值 | 457.97 | 1225.6 | 1409.7 | 1159.8 |  | 766.13 | 1760.3 | 2292.7 | 857.54 |
| 最小值 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 119.82 | 0 |



(a) TAIEX預測 (PSO-RLSE)



(b) TAIEX預測 (ABCO-RLSE)



(c) DJI預測 (PSO-RLSE)



(d) DJI預測 (ABCO-RLSE)



(e) NASDAQ預測 (PSO-RLSE)



(f) NASDAQ預測 (ABCO-RLSE)



(g) S&P500預測 (PSO-RLSE)



(h) S&P500預測 (ABCO-RLSE)

Fig. 11. 預測結果

藍色實線為實際目標值，紅色虛線為模型預測值，可以看出兩種演算法不論在訓練或是測試階段都有著不錯的預測效果



(a) PSO-RLSE



(b) ABCO-RLSE

Fig. 12. 模型預測誤差值

預測誤差呈現隨機亂數狀態，介於-100~100之間，代表模型預測能力穩定。



(a) PSO-RLSE



(b) ABCO-RLSE

Fig. 13. 實驗三模型學習曲線

可以看出PSO-RLSE在85迭代時，模型逐漸穩定，ABCO-RLSE在10回合時學習有些許的停滯，但之後又找到更好的位置直到75回合左右逐漸穩定。

## Example 5—Quadruple Time Series of Daily TAIEX, DJI, NASDAQ and S&P500

在這個實驗中，我們使用真實世界的時間序列數據來驗證模型的效能。使用的資料為蘋果電腦(Apple computer inc.)、IBM(International business machines corporation)、戴爾(Dell inc.)、微軟(Microsoft inc.) 四個股票的收盤價，期間為2003年2月10號至2005年1月21號。此實驗的原始資料為492筆，經過一次差分得到491筆，並以4組差分資料取出30個特徵，共有120個特徵，每個特徵會有460筆資料，前433筆資料為訓練資料，剩下的為測試資料。第1至30個特徵為APPLE收盤價，第31至60個特徵為IBM收盤價，第61至90個特徵為Dell收盤價，第91至120個特徵為Microsoft收盤價，這120個特徵與目標形成資料矩陣，資料矩陣中以Microsoft距離目標最近，目標排序為APPLE、IBM、Dell和Microsoft。資料矩陣經過多目標特徵挑選[22]後，選出特徵作為模型輸入，複數型態目標有兩個，第一組複數型態的目標實部部分為APPLE收盤價，虛部部分為IBM收盤價，第二組複數型態的目標實部部分為Dell收盤價，虛部部分為Microsoft收盤價。結構學習部分，則將每個被挑選的特徵，用減數分群演算法[11]分群。並透過第二章所介紹的π神經元挑選方法，從原本的81個π神經元篩選到剩下13個π神經元。整體模型在結構學習後的參數，如表XIII所示。PSO–RLSE混合方法的機器學習參數設定，如表XIV所示。

TABLE XV

實驗五模型設定

|  |  |
| --- | --- |
| **參數** | **值** |
| 特徵變數(輸入變數) | {} |
| 模糊集數量 | {3, 3, 3, 3} |
| 模糊集型態 | CFS |
| 複數型態目標數目 | 2 |
| 神經元數目 | 9 |
| 前鑑部參數數目 | 36 |
| T–S神經元數目 | 9 |
| 後鑑部參數數目 | 45 |

\* 每一個複數目標的實部與虛部，分別包含兩個實數目標

TABLE XVI

機器學習參數設定

|  |  |
| --- | --- |
| **PSO** | |
| 粒子群大小 | 50 |
| 迭代次數 | 100 |
|  | {0.8, 2.0, 2.0} |
|  | Random in [0,1] |
| 粒子初始化位置 | 藉由第三章所提SC演算法決定 |
| 粒子初始化速度 | 0 |
| **ABCO** |  |
| 工蜂數量 | 40 |
| 觀察蜂數量 | 10 |
| 迭代次數 | 100 |
| 限制回合數 | 20 |
| **RLSE** | |
|  |  |
|  | 25-by-1 全零向量 |
|  | **I** |
| **I** | 25-by-25 單位矩陣 |

TABLE XVII

效能比較(實驗五)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 方法 | TAIEX | DJI |
| SVR (two models, each with single output) [27] | 162.46 | 101.44 |
| ANFIS (two models, each with single output) [27] | 147.36 | 105.56 |
| ANFIS (one model with two outputs) [27] | 151.62 | 128.20 |
| RBF (two models, each with single output) [27] | 134.32 | 106.33 |
| RBF (one model with two outputs) [27] | 137.58 | 181.79 |
| CNFS(5)-ARIMA (one model with two outputs) [27] | 115.82 | 103.06 |
| PSO-RLSE | **101.61** | 101.82 |
| ABCO-RLSE | 102.61 | **100.79** |

TABLE XVIII

十次重複實驗效能統計(實驗五)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Trials | PSO-RLSE | ABCO-RLSE |
| 1 | 1.3898 | 1.3894 |
| 2 | 1.3903 | 1.398 |
| 3 | 1.3879 | 1.3862 |
| 4 | 1.3926 | 1.3906 |
| 5 | 1.3898 | 1.3985 |
| 6 | 1.3881 | 1.3899 |
| 7 | 1.3925 | 1.3908 |
| 8 | 1.3959 | 1.4144 |
| 9 | 1.3907 | 1.4031 |
| 10 | 1.4228 | 1.3907 |
| 平均 | 1.394 | 1.3952 |
| 標準差 | 0.0104 | 0.0085 |
| Best | 1.3879 | 1.3862 |
| Worst | 1.4228 | 1.4144 |

TABLE XIX

模擬投資利潤表(實驗五)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Trials | PSO-RLSE | | ABCO-RLSE | | PSO-RLSE\* | | ABCO-RLSE\* | |
| 利潤 | | 利潤 | | 利潤 | | 利潤 | |
| Best | 0.049 | | 0.049 | | 0.059 | | 0.025 | |
| 1 | -444.90 |  | 942.69 |  | 341.79 |  | **951.12** |  |
| 2 | 615.12 |  | 1206 |  | 0 |  | 266.13 |  |
| 3 | 880.74 |  | -850.1 |  | 52.399 |  | -139.9 |  |
| 4 | -1629.7 |  | 67.36 |  | 0 |  | 352.73 |  |
| 5 | -365.89 |  | **3201.7** |  | 149.49 |  | 682.72 |  |
| 6 | 762.83 |  | 1374.9 |  | **740.06** |  | 141.16 |  |
| 7 | **2146.7** |  | 2156.9 |  | 80.34 |  | 149.49 |  |
| 8 | -805.41 |  | 784.34 |  | 310.11 |  | 410.97 |  |
| 9 | -1741.7 |  | 3460.7 |  | 0 |  | 324.16 |  |
| 10 | -1189.6 |  | 1206 |  | 0 |  | 266.13 |  |
| 平均 | -177.19 | | 1355.1 | | 167.42 | | 340.47 | |
| 標準差 | 1252.4 | | 1314 | | 238.49 | | 300.64 | |
| 最大值 | 2146.7 | | 3201.7 | | 740.06 | | 951.12 | |
| 最小值 | -1741.7 | | -850.1 | | 0 | | -139.9 | |

\*為本研究提出投資策略方法的結果

TABLE XX

模擬投資利潤比較表 (實驗五)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Chen [38] | Yu [38] | AR(1) [38] | SVR [38] | ANFIS [38] | Wei [38] | PSO-RLSE | ABCO-RLSE |
| Best | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.049 | 0.049 |
| 利潤(TAIEX) | -92 | -73 | 671 | 202 | 686 | 795 | 1104.6 | **1409.9** |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| TABLE XXI  滑動窗格利潤表 (實驗五) | | | | | | | | | |
| Trials | PSO-RLSE | | | |  | ABCO-RLSE | | | |
| 窗格大小 | 5 | 10 | 20 | 30 |  | 5 | 10 | 20 | 30 |
| Best | 0.022 | 0.022 | 0.017 | 0.064 |  | 0.006 | 0.006 | 0.05 | 0.022 |
| 1 | **457.97** | **1225.6** | 325.31 | 140.61 |  | 0 | 0 | 1837.7 | 602.43 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 1724.5 | 658.46 |
| 3 | 354.04 | 538.28 | **1409.7** | **1159.8** |  | 177.02 | 269.14 | 1760.4 | 453.38 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 48.85 | 48.85 | 1704.2 | 397.15 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 107.53 |  | 0 | 0 | **2292.7** | 618.23 |
| 6 | 280.44 | 955.11 | 325.31 | 364.55 |  | 412.09 | 471.78 | 471.78 | 619.26 |
| 7 | 150.82 | 242.94 | 678.63 | 496.28 |  | 0 | 0 | 119.82 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 410.98 | **1760.3** | 650.62 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | **766.13** | 1010.1 | 1881.4 | **857.54** |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 1724.5 | 658.46 |
| 平均 | 124.33 | **296.19** | 273.89 | 226.88 |  | 181.51 | 356.01 | **1416.8** | 456.49 |
| 標準差 | 176.98 | 457.74 | 460.58 | 371.34 |  | 264.57 | 591.50 | 723.62 | 284.61 |
| 最大值 | 457.97 | 1225.6 | 1409.7 | 1159.8 |  | 766.13 | 1760.3 | 2292.7 | 857.54 |
| 最小值 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 119.82 | 0 |



(a) TAIEX預測 (PSO-RLSE)



(b) TAIEX預測 (ABCO-RLSE)



(c) DJI預測 (PSO-RLSE)



(d) DJI預測 (ABCO-RLSE)



(e) NASDAQ預測 (PSO-RLSE)



(f) NASDAQ預測 (ABCO-RLSE)



(g) S&P500預測 (PSO-RLSE)



(h) S&P500預測 (ABCO-RLSE)

Fig. 11. 預測結果

藍色實線為實際目標值，紅色虛線為模型預測值，可以看出兩種演算法不論在訓練或是測試階段都有著不錯的預測效果



(a) PSO-RLSE



(b) ABCO-RLSE

Fig. 12. 模型預測誤差值

預測誤差呈現隨機亂數狀態，介於-100~100之間，代表模型預測能力穩定。



(a) PSO-RLSE



(b) ABCO-RLSE

Fig. 13. 實驗三模型學習曲線

可以看出PSO-RLSE在85迭代時，模型逐漸穩定，ABCO-RLSE在10回合時學習有些許的停滯，但之後又找到更好的位置直到75回合左右逐漸穩定。

## Example 6—Quadruple Time Series of Daily TAIEX, DJI, NASDAQ and S&P500

在這個實驗中，我們也是使用真實世界的時間序列數據來驗證模型的效能，與實驗一不同的是，四個目標之間不是收盤價與開盤價的關係，意即目標的曲線相似度沒有像實驗一目標曲線的相似度高。使用的資料為印尼雅加達綜合指數 (JKSE)以及恆生指數 (HSI)，資料區間為2000年8月1日至2015年12月31日，其中2000年8月1日至2009年12月31日當作訓練資料，剩餘的當作測試資料。每組原始資料會做一次差分，並以2組差分資料取出30個特徵，共有60個特徵。第1至30個特徵為JLSE收盤價，第31至60個特徵為HSI收盤價，這60個特徵與目標形成資料矩陣，資料矩陣中以HSI距離目標最近，目標排序為JKSE收盤價、HSI收盤價。資料矩陣經過多目標特徵挑選[22]後，將選出的特徵作為模型輸入，複數型態目標有兩個，第一組複數型態的目標實部部分為JKSE收盤價，虛部部分為HSI收盤價。結構學習部分，則將每個被挑選的特徵，用減數分群演算法[11]分群。並透過第二章所介紹的神經元挑選方法，減少神經元數目。整體模型在結構學習後的參數，如表V-表VIII所示。PSO–RLSE混合方法的機器學習參數設定，如表IX所示。

TABLE XV

實驗三模型設定

|  |  |
| --- | --- |
| **參數** | **值** |
| 特徵變數(輸入變數) | {} |
| 模糊集數量 | {3, 3, 3, 3} |
| 模糊集型態 | CFS |
| 複數型態目標數目 | 2 |
| 神經元數目 | 9 |
| 前鑑部參數數目 | 36 |
| T–S神經元數目 | 9 |
| 後鑑部參數數目 | 45 |

\* 每一個複數目標的實部與虛部，分別包含兩個實數目標

TABLE XVI

機器學習參數設定

|  |  |
| --- | --- |
| **PSO** | |
| 粒子群大小 | 50 |
| 迭代次數 | 100 |
|  | {0.8, 2.0, 2.0} |
|  | Random in [0,1] |
| 粒子初始化位置 | 藉由第三章所提SC演算法決定 |
| 粒子初始化速度 | 0 |
| **ABCO** |  |
| 工蜂數量 | 40 |
| 觀察蜂數量 | 10 |
| 迭代次數 | 100 |
| 限制回合數 | 20 |
| **RLSE** | |
|  |  |
|  | 25-by-1 全零向量 |
|  | **I** |
| **I** | 25-by-25 單位矩陣 |

TABLE XVII

效能比較(實驗六)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 方法 | TAIEX | DJI |
| SVR (two models, each with single output) [27] | 162.46 | 101.44 |
| ANFIS (two models, each with single output) [27] | 147.36 | 105.56 |
| ANFIS (one model with two outputs) [27] | 151.62 | 128.20 |
| RBF (two models, each with single output) [27] | 134.32 | 106.33 |
| RBF (one model with two outputs) [27] | 137.58 | 181.79 |
| CNFS(5)-ARIMA (one model with two outputs) [27] | 115.82 | 103.06 |
| PSO-RLSE | **101.61** | 101.82 |
| ABCO-RLSE | 102.61 | **100.79** |

TABLE XVIII

十次重複實驗效能統計(實驗六)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Trials | PSO-RLSE | ABCO-RLSE |
| 1 | 0.1032 | 0.1026 |
| 2 | 0.106 | 0.1025 |
| 3 | 0.1147 | 0.1017 |
| 4 | 0.1049 | 0.1034 |
| 5 | 0.1056 | 0.1021 |
| 6 | 0.1026 | 0.1025 |
| 7 | 0.1063 | 0.1022 |
| 8 | 0.1026 | 0.1027 |
| 9 | 0.1305 | 0.1026 |
| 10 | 0.1028 | 0.1026 |
| 平均 | 0.1079 | 0.1025 |
| 標準差 | 0.0087 | 0.0004 |
| Best | 0.1026 | 0.1017 |
| Worst | 0.1305 | 0.1034 |

TABLE XIX

模擬投資利潤表(實驗六)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Trials | PSO-RLSE | | ABCO-RLSE | | PSO-RLSE\* | | ABCO-RLSE\* | |
| 利潤 | | 利潤 | | 利潤 | | 利潤 | |
| Best | 0.049 | | 0.049 | | 0.059 | | 0.025 | |
| 1 | -444.90 |  | 942.69 |  | 341.79 |  | **951.12** |  |
| 2 | 615.12 |  | 1206 |  | 0 |  | 266.13 |  |
| 3 | 880.74 |  | -850.1 |  | 52.399 |  | -139.9 |  |
| 4 | -1629.7 |  | 67.36 |  | 0 |  | 352.73 |  |
| 5 | -365.89 |  | **3201.7** |  | 149.49 |  | 682.72 |  |
| 6 | 762.83 |  | 1374.9 |  | **740.06** |  | 141.16 |  |
| 7 | **2146.7** |  | 2156.9 |  | 80.34 |  | 149.49 |  |
| 8 | -805.41 |  | 784.34 |  | 310.11 |  | 410.97 |  |
| 9 | -1741.7 |  | 3460.7 |  | 0 |  | 324.16 |  |
| 10 | -1189.6 |  | 1206 |  | 0 |  | 266.13 |  |
| 平均 | -177.19 | | 1355.1 | | 167.42 | | 340.47 | |
| 標準差 | 1252.4 | | 1314 | | 238.49 | | 300.64 | |
| 最大值 | 2146.7 | | 3201.7 | | 740.06 | | 951.12 | |
| 最小值 | -1741.7 | | -850.1 | | 0 | | -139.9 | |

\*為本研究提出投資策略方法的結果

TABLE XX

模擬投資利潤比較表 (實驗六)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Chen [38] | Yu [38] | AR(1) [38] | SVR [38] | ANFIS [38] | Wei [38] | PSO-RLSE | ABCO-RLSE |
| Best | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.049 | 0.049 |
| 利潤(TAIEX) | -92 | -73 | 671 | 202 | 686 | 795 | 1104.6 | **1409.9** |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| TABLE XXI  滑動窗格利潤表 (實驗六) | | | | | | | | | |
| Trials | PSO-RLSE | | | |  | ABCO-RLSE | | | |
| 窗格大小 | 5 | 10 | 20 | 30 |  | 5 | 10 | 20 | 30 |
| Best | 0.022 | 0.022 | 0.017 | 0.064 |  | 0.006 | 0.006 | 0.05 | 0.022 |
| 1 | **457.97** | **1225.6** | 325.31 | 140.61 |  | 0 | 0 | 1837.7 | 602.43 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 1724.5 | 658.46 |
| 3 | 354.04 | 538.28 | **1409.7** | **1159.8** |  | 177.02 | 269.14 | 1760.4 | 453.38 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 48.85 | 48.85 | 1704.2 | 397.15 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 107.53 |  | 0 | 0 | **2292.7** | 618.23 |
| 6 | 280.44 | 955.11 | 325.31 | 364.55 |  | 412.09 | 471.78 | 471.78 | 619.26 |
| 7 | 150.82 | 242.94 | 678.63 | 496.28 |  | 0 | 0 | 119.82 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 410.98 | **1760.3** | 650.62 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | **766.13** | 1010.1 | 1881.4 | **857.54** |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 1724.5 | 658.46 |
| 平均 | 124.33 | **296.19** | 273.89 | 226.88 |  | 181.51 | 356.01 | **1416.8** | 456.49 |
| 標準差 | 176.98 | 457.74 | 460.58 | 371.34 |  | 264.57 | 591.50 | 723.62 | 284.61 |
| 最大值 | 457.97 | 1225.6 | 1409.7 | 1159.8 |  | 766.13 | 1760.3 | 2292.7 | 857.54 |
| 最小值 | 0 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 119.82 | 0 |



(a) TAIEX預測 (PSO-RLSE)



(b) TAIEX預測 (ABCO-RLSE)



(c) DJI預測 (PSO-RLSE)



(d) DJI預測 (ABCO-RLSE)



(e) NASDAQ預測 (PSO-RLSE)



(f) NASDAQ預測 (ABCO-RLSE)



(g) S&P500預測 (PSO-RLSE)



(h) S&P500預測 (ABCO-RLSE)

Fig. 11. 預測結果

藍色實線為實際目標值，紅色虛線為模型預測值，可以看出兩種演算法不論在訓練或是測試階段都有著不錯的預測效果



(a) PSO-RLSE



(b) ABCO-RLSE

Fig. 12. 模型預測誤差值

預測誤差呈現隨機亂數狀態，介於-100~100之間，代表模型預測能力穩定。



(a) PSO-RLSE



(b) ABCO-RLSE

Fig. 13. 實驗三模型學習曲線

可以看出PSO-RLSE在85迭代時，模型逐漸穩定，ABCO-RLSE在10回合時學習有些許的停滯，但之後又找到更好的位置直到75回合左右逐漸穩定