動態資訊安全聯防架構之最適決策研究
A Study of Optimal Decision for Dynamic Information Security Joint Framework

郭木興
加拿大維多利亞大學醫療資訊系
mh.kuo@hotmail.com

陳良駒
國防大學管理學院資訊管理學系
nctuhorse@gmail.com

張志豪
陸軍七三資電群
nokiach@gmail.com

楊誌瑋
國防大學管理學院資訊管理學系
chihwei00@gmail.com

摘要

本研究針對企業組織成員間資訊資源及能力不均衡的現象，建構一個整合性的資安防護中心架構及演算流程，將公司間彼此的防護力量作進一步結合。在防禦能力方面，藉由區域聯防方式，能有效提供群組內聯防成員充分且準確的預警資訊；在決策支援方面，藉由模擬方式比較貝氏決策、改良式貝氏決策和馬可夫決策三種模式主動提供聯防成員採取防禦行動的準則，以預期的最小損失值作爲下次防禦行動的參考建議。

最後針對所建構的資安防護中心架構探討其模擬結果，結果顯示以馬可夫決策模式爲基礎的預測結果，較貝氏決策與改良式貝氏決策模式提供更爲有效及穩定的決策支援，協助聯防成員維持正常的資訊能量，並降低攻擊威脅所帶來的損失。

關鍵詞：馬可夫決策、貝氏決策、資安防護中心、代理人

Abstract

The purpose of this study is to build an integrated security operation center (SOC) framework including mathematical calculation that combines the whole resources among the members. In the way of defense energy, the framework can provide the joint members an early, adequate, and accurate warning. In the dimension of decision support, we compare the Bayes' decision, the improved Bayes' decision and the Markov decision by the method of system simulation. Then we select the optimal decision providing members the defending rule actively and help them to make the next buckler with the lowest cost.

Finally, in our SOC framework, the effect of Markov decision on forecast an attack event is better than the Bayes' decision and improved Bayes' decision. This framework helps the members to maintain the optimal information strength, and diminishes the damage caused by the attack events.

Keywords: Markov Decision, Bayes' Decision, Security Operation Center, Agent

一、前言

由於資訊網路建設與應用的蓬勃發展，造成人際之間的數位網路溝通較以往更爲頻繁，許多使用者紛紛加入「網路公民」的行列。而一般企業也建構全面性的網路作業環境，企圖達成訊息快速傳遞，提昇作業執行效率。然而網網相連的環境很容易造成資訊管理的漏洞及面臨資訊安全的威脅。依據國外知名防毒公司的調查，2006年全球資安威脅，若以數量來觀察，台灣排名第九；若以密度來看，則大幅躍升爲第二[21]，顯示我國的資訊網路環境面臨眾多不安全的威脅。也正因爲如此，組織如何避免遭受到網路攻擊以確保本身的資訊能量得以正常運作，是組織管理者面臨的最大挑戰。根據IDC[1]的研究報告指出，台灣的資訊安全設備市場規模，從2005年的3110萬美元，成長到2010年的5203萬美元，以五年14.6%的年複合率快速成長，充份顯示出公司企業對資訊安全重視的程度。

組織在選擇資安解決方案時，往往面臨多項抉擇。防火牆、入侵偵測系統、弱點防禦系統、防毒軟體及備援機制，各自有其獨特的用途和優缺點。傳統的資訊架構多以「靜態」與「被動」的方式進行安全防護，(如防火牆、加密、防毒軟體等)，而近期的方法則以「動態」及「主動」的偵防手段，強調早一步發現組織資安威脅，以進行即時預警(如入侵偵測系統)。許多學者使用代理人(agent)觀點來建構入侵偵測系統的改進。[1][11][14]。然而，Kuo[15]針對上述文獻提出幾項問題：(一)由於預算限制及成本考量，一些昂貴的資安防護設備並非每一個企業均有能力購買；如何協調聯盟成員間資源的分配，以提供較少資源單位安全的保護。(二)聯盟成員如何從其他成員中獲取攻擊警訊，以利實際攻擊前的資訊防護。(三)當聯盟成員遭受攻擊時，聯盟成員如何選擇最適當策略以保護資訊資源。針對此項問題，整合聯盟組織整體資源，將各單位彼此的資安能量進一步結合，利用優勢防禦力量來平衡弱勢防禦力量的「區域聯防」便相當的重要。

爲了能達成有效平衡資安能量的目標，Kuo[15]提出一個智慧型代理人爲基的協同資訊安全架構ACISF(Agent-based Collaborative Information Security framework)，該架構中提出一個動態的聯合防禦體系，當遭遇到攻擊行動時，體系內的成員使用貝氏理論的方法來計算事前、事後的機率，提供成員本身進行防禦決策的判斷，並以預期的最小損失值來選取適當的防護行動。然而，該研究主要的理論基礎爲貝氏決策，事前、事後機率的資料來源均仰賴於歷史的紀錄，卻並未考慮不同時間期程事件的影響程度並不相同，例如某單位數年前曾遭受嚴重的巨集病毒攻擊，但近年來此項攻擊並未發生；若組織仍舊將該項攻擊納入其重要的資安警戒措施，則不僅增加單位資安作業複雜度，也會浪費許多建置及維運成本。因此，若能以組織近期發生的資安事件爲基礎來建立一套聯合防禦體系，進而能做出最佳防護決策，降低實際資安事件所造成的損失，是組織建構全面性資訊安全相當重要的挑戰。

本研究企圖改良 Kuo[15]的 ACISF 架構，以達成較適的防護決策能力，並提出改良式貝氏決策及馬可夫決策二種方式來調整聯防體系下，資安防護能量的最佳表現。改良式貝氏決策是以貝氏決策公式爲基，加入時間折扣來進行機率權重調整；馬可夫決策則著重攻擊事件發生的前後關係，利用移轉機率矩陣計算出各項決策可能造成的損失值；最後透過實驗模擬來比較貝氏，改良式貝氏及馬可夫決策三種方法的差異。

二、文獻探討

2.1 區域聯防措施

區域聯防的觀念就是將各分散區域集合起來，匯集能量來遂行防衛任務，出發點是爲了均衡區域間防護能量的不一致。國內目前類似觀念有行政院資通安全技術服務中心所推動建立的地方政府資通安全服務計畫[2]，將全國劃分爲爲五個區域(北區、中區、南區、高屏區及花東區)，五區均設有聯防中心，負責維護與處理當地政府組織之資安事件。國外部份，美國白宮發表一份國家網路安全策略報告[22]，其中依據屬性將全國網路分成五個層級，依據使用層級劃分，可做爲未來策略性資訊安全部署協防的依據。由此可知，區域聯防的觀念不論是國內外都是相當受到重視的觀念。

目前國內部份學者也有將區域聯防的主題整合入侵偵測系統概念進行相關研究。鄭真真[10]提出一個區域聯防入侵偵測與追蹤系統（Union Defense of Intrusion Detection and Traceback System，UDIDT），在系統所處區域內利用多階段式入侵偵測系統探測攻擊行爲，透過紀錄與該區域內封包之摘要，來和其他區域相互合作，以「區域聯防」的方式追蹤大部分類型的攻擊來源。辛文義[5]發展一個混合式的安全分享的方法，藉由資訊分享，參與電腦安全事件回報團隊的成員能獲得安全防禦相關的解決資訊。

綜合上述論點，傳統以被動方式過濾可疑封包，檢驗是否有惡意攻擊的被動式入侵偵測，已經不符合時代潮流。目前利用主動式聯防架構來進行入侵偵測的主題已漸漸受到重視[15]。

2.2 資訊安全監控中心

資訊安全監控中心(Information Security Operation Center，SOC)是指組織中一個重要的資訊過濾和分析中心。由於目前企業組織中擁有各式各樣資訊產品與政策，如何能將這些產品所提出的資訊整合運用，對資安人員來說是一大難題，因此，SOC概念因而崛起。美國政府於1998年設立國家基礎建設維護中心，同年依據總統63號決策令建立了聯邦資訊危機處理中心，到世界各國皆制定了國家的SOC實施計劃。我國行政院於民國91年提出數位台灣願景，將「通資安全防護管理中心」及「通資安全監控中心」列爲重要計畫來執行[3]。

唯傳統SOC僅作爲監控分析的角色，針對成員間防護能力的落差，並無法達成資訊資源彼此整合進而作到協防的目的；因此，本研究中將SOC觀念結合至ACISF系統，系統中各群組成員將所偵測的攻擊威脅值透過區域聯防網路傳送至SOC，SOC則整合分析當時的各項數據因素，由管理人員判斷聯防體系全域威脅值，提供給聯防成員做爲防禦行動採取的參考。至此，群組成員先行過濾資訊，不僅能降低資訊量過大對監控中心產生的負擔，經由架構產出的全域威脅值則能有效幫助資訊防護力量較不足的聯防成員。

2.3 馬可夫決策

馬可夫決策過程是指系統中如果賦予其最初狀態的一個啓動機率和一個方案，則該系統將循著隨機性轉移的法則和決策的順序而運作。換言之，當系統處於狀態 i，採取某決策 k 時，則系統轉移到下一階段之狀態 j 之機率爲 $P_{ij}(k)$，同時獲得報酬值 $r_{ij}(k)$，

這種情況將產生一序列的狀態及的決策，此一序列的狀態和決策所形成的過程稱之爲馬可夫決策過程。根據該決策的觀念，它是由狀態（States）、可行的行動方案（Action）、回饋（Reward）和移轉機率（Transition Probability）所構成，其中移轉機率則視目前狀態和行動方案而定，與過去的狀態、行動方案無關。馬可夫決策方法發展至今被廣泛的應用在財務、行銷、人力資源、生產作業管理等方面。在財務方面，著重於建立一個長期性投資模式，提供來進行股票、期貨或基金的決策選擇[4]；行銷方面，利用來預測顧客的購買模式、找出最有競爭力的行銷策略[16]；人力資源方面，應用於對員工的訓練、經管和升遷，期望建立一個合理的模式[17]；在生產作業管理方面，幫助擬定維修、排程、維護等最佳化策略[6]。 在本研究所使用的馬可夫決策模式中，由於所要考慮的歷史攻擊資料集並非是固定不變的，而是依據每一次的攻擊經驗，來對其移轉機率矩陣進行一個調整，這種隨時間改變的轉移矩陣稱爲非穩定性馬可夫矩陣(Non-stationary Markov Matrix)[7]。

針對馬可夫決策過程的解法上計有線性規劃法（Linear Programming）、政策改進法（Policy Improvement）、以及迭代法（Value- Iteration）三種[18]，Denardo[12]比較迭代法、政策改進法及線性規劃法之計算速度，建議在馬可夫決策過程中，若是大規模狀態數時，迭代法將比政策改進法及線性規劃法需要較少的運算要求。以下即爲迭代法的運算過程：

步驟一：

任意選擇一$v^0 \in V$，給定一個$\varepsilon > 0$，且t =0，v^0：初始狀態的回饋數，V：所有狀態回饋數的集合。

步驟二：每一個$i \in S$，$V_{t+1}(i)$的計算公式如下

$$V_{t+1}(i) = \min\left[r(i,d) + \beta \sum_{k=1}^{N} p(j \mid i,d) V_t(j) \right]$$

$V_{t+1}(i)$：系統在i狀態下經過$t+1$次移轉的回饋

$r(i,d)$：系統在i狀態，採取d的行動方案的回饋

β：爲折扣率，經過時間點的改變，對該期的損失值函數必須進行折扣，始列入參考中。

$p(j \mid i,d)$：系統在i狀態，且採取d的行動方案後，將移轉到狀態j的機率。

如果$\|v_{t+1} - v_t\| < \varepsilon$則到步驟三取得在此狀態所需採取的行動方案，否則回到步驟二，並將t加1，重複至步驟二來進行運算。

步驟三：對於每一個$i \in S$,將選擇的行動方案如下

$$d_\varepsilon(i) = \arg\min\left[r(i,d) + \beta \sum_{k=1}^{N} p(j \mid i,d) V_t(j) \right]$$

依照上述公式，可求得$d_\varepsilon(i)$爲理論上的(最小)最佳值。本研究將針對迭代法的決策過程進行改良，以建構馬可夫決策爲基的防護預測模式。

2.4 折扣率

當人們在面臨跨期之不確定決策問題時，會因決策時間點差異，導致同值之報酬率卻擁有不同效用的結果出現，若欲分析此種決策，則須考量時間因素。折扣效用的概念

因而產生。折扣效用的概念，最早是由Samuelson[19]所提出；其認爲人們在面臨跨期決策時，由不同時期所獲得的效用總和，代表最後的總效用。此種類型之不確定決策分析，應對未來各期的效用作折扣，得到各期效用現值，將其做加總後，才是決策者的總效用。折扣率的觀念發展至今，廣泛應用在決策行爲的制定，包含投資[8]、生產管理[20]、行銷[13]、運輸[9]等方面，目的不外乎在提供決策者更準確的資訊，而當類似情況再度發生時，能讓預測誤差的情況降至最低，來達到最小成本損失和最大利益獲得的目標。

基於上述論點，在資訊安全的領域中，本研究提出將折扣率應用於貝氏決策公式的改進。在跨期決策上，不同時期所獲得的事後機率，以折扣率的觀念來進行公式的加權，期望在Kuo[15]所提的貝氏決策的基礎上，加入對攻擊時間因子的考量，修改其對所有歷史資料不合理之機率值，以幫助管理人員對入侵行爲作出更好的防護行動決策。

三、ACISF聯防系統

本研究植基於Kuo[15]所提出的ACISF架構，此架構中聯防成員由三類代理人所組成(如圖1)，分別爲監測代理人(Inspection Agent)、仲裁代理人(Mediating Agent)以及傳訊代理人(Messaging Agent)。其主要運作方式概述如下：首先將數個成員聯合起來成爲一個群體的聯合防衛組織，並推派一位成員爲安全監控中心SOC，當聯防成員體系中有單位遭受到攻擊，聯防成員會透過傳訊代理人將本身威脅值傳送到安全監控中心，藉由安全監控中心來評估整體的威脅等級之後，再將此威脅等級傳遞給其餘的聯防成員，使得成員針對未來可能發生的攻擊事件進行防禦決策。以下簡略說明不同代理人的重要工作。

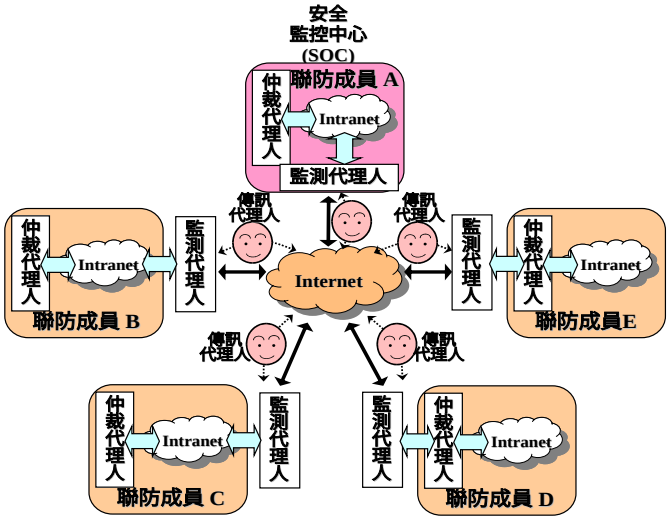

圖 1：ACISF 聯防架構

3.1 監測代理人

建立於所需防衛的組織端，主要工作是隨時監測可能的網路攻擊事件。其監測威脅值的方法如公式(1)：

$$\tau = \sqrt{\frac{r_1 S_1^2 + r_2 S_2^2 + \cdots + r_n S_n^2}{n}} \qquad (1)$$

假設 $(M_1, M_2, \ldots, M_n)$ 分別爲某企業網路監控中心所產生的n組概況(Profile)，其相對應的誤差值則以 $(S_1, S_2, \ldots, S_n)$ 表示，r_n 則是代表各個概況偵測的可靠程度，範圍爲 $0 < r_n \leq 1$ 。

各個誤差值的產生則是依據各個防禦組織端的資訊安全系統(如入侵偵測系統、防火牆等)。監測代理人的工作便是持續不斷的利用公式(1)去計算出攻擊威脅值τ。

3.2 仲裁代理人

屬於一種智慧型代理人，在ACISF聯防體系中，依照角色的不同，則有不同的工作內容：

(一)聯防成員

同樣建立在所需防衛的組織端，當同區域的監測代理人蒐集偵測出威脅資訊後，仲裁代理人便立即將威脅值以及威脅資訊傳遞到SOC，同時仲裁代理人則會依據網路安全防護策略，並依據下列公式來決定威脅等級(如公式2)，採取適當的資訊防護作爲。

$$\iota = \begin{cases} 1 \ \ if \ 0 < \tau \le 0.2 \\ 2 \ \ if \ 0.2 < \tau \le 0.4 \\ 3 \ \ if \ 0.4 < \tau \le 0.6 \\ 4 \ \ if \ 0.6 < \tau \le 0.8 \\ 5 \ \ if \ 0.8 < \tau \le 1 \end{cases} \quad (2)$$

被攻擊的成員，依據威脅等級的差異採取適當的防護決策行動(詳如表1)，例如當威脅等級爲1的時候，則增加對事件的監測並廣泛地搜尋，但資訊設備仍是處於正常的運作狀態；假如發現攻擊等級爲5的時候，則會停止所有的資訊活動(包括企業間以及企業內的服務)及應用系統，以評估系統損害的程度來修正錯誤。威脅等級爲2-5時，雖是立即中斷網路連線，仍須採取後續的防護作爲，以求組織能在最短時限內恢復正常運作。聯防系統一開始設定$\iota = 0$，也就是未有任何的攻擊發生，至於其他威脅等級所必須要做的防護活動，則詳見表1內容。

表 1：資訊攻擊威脅評估與決策行動

威脅等級	決策行動	行動概述
ι=1	D1	資訊設備正常運作，增加對事件的監測並廣泛地搜尋
ι=2	D2	暫時管制或關閉非緊急的網路連線
ι=3	D3	中斷對外的網路連線以及服務之外並中斷資料庫的服務
ι=4	D4	中斷對外的網路連線以及服務及應用系統之外並中斷一些對內的網路連線與服務
ι=5	D5	立即中斷所有的網路通訊及關閉相關資訊應用系統，並執行資訊易損性評估(遭受攻擊後之更錯、修護能力評估)

(二)安全監控中心(Security Operation Center，SOC)

若該區域爲聯防系統動態選出的監控中心，則其仲裁代理人同一時間可能有多個傳訊代理人傳遞威脅值以及威脅資訊，它會分析整個聯防系統受威脅的狀況，並決定整體聯防系統威脅等級以及警告所有成員是否遭受到攻擊，其中ACISF資訊攻擊威脅等級如公式(3)：

$$\Gamma_t = \frac{\sum_{j=1}^{n} (w_j \times \tau_{(j,\bar{\tau})})}{m} \quad (3)$$

其中$\tau_{(j,\bar{\tau})}$就是在一段時間t後，由各聯防成員所回報的攻擊威脅值，w_j是聯防成員

所佔的權重值，也就是資訊防護能力的高低，範圍爲$0 < w_j \le 1$。n爲聯防成員遭受到攻擊的數目，m爲整個聯防系統的成員數。

一般來說，每一個聯防成員不會同時遭受到資訊攻擊，因此安全監控中心必須要考慮在時間t的範圍內蒐集所有聯防成員的攻擊值來評估整體的攻擊值。否則，安全監控中心假使接收到聯防成員的威脅值以及威脅資訊並立即地做評估的話，則只會接收到一位成員的資訊，而無法作有效地評估。至於SOC整體的威脅值相似於方程式(2)，根據在時間t範圍內決定整體的威脅等級依據如公式(4)表示：

$$L_t = \begin{cases} 1 \ if \ 0 < \Gamma_t \le 0.2 \\ 2 \ if \ 0.2 < \Gamma_t \le 0.4 \\ 3 \ if \ 0.4 < \Gamma_t \le 0.6 \\ 4 \ if \ 0.6 < \Gamma_t \le 0.8 \\ 5 \ if \ 0.8 < \Gamma_t \le 1 \end{cases} \quad \textbf{(4)}$$

由於中心負有提供聯防成員全域威脅等級資訊的功用，相對來說，遭受到入侵者優先進攻的可能性相對來說提高許多，因此爲了避免安全監控中心遭受攻擊而使整體的聯防系統造成最大的損失，ACISF架構使用兩種防護策略來避免安全監控中心遭受攻擊。(1)ACISF架構中的安全監控中心是動態變化的，會依據聯防成員間的推舉來產生，並不侷限於特定的個體。(2)假使任何聯防成員不能與監控中心進行溝通，則聯防成員會詢問其餘聯防成員是否可以與監控中心做溝通。當達到部份比率的聯防成員無法與選定之監控中心做相互的聯繫時，則會要求監控中心再次挑選一個新的成員成爲安全監控中心。

3.3 傳訊代理人

具有自主性、離線作業與異質性分散式處理等特性。主要是將仲裁代理人所分析出來的威脅值以及威脅資訊傳送到監控中心，或是將監控中心所評估的威脅值以及威脅資訊，透過網路傳遞給各地成員以採取必要的資訊防衛措施。而爲了避免駭客會阻擋傳訊代理人傳遞資訊的工作，安全監控中心必須再次傳送資訊到每一個聯防成員來做確認，確定是否真正接收到每一位聯防成員的威脅資訊。假使聯防成員傳送威脅資訊到安全監控中心時，但卻沒有接收到由安全監控中心所傳送有關於確認的訊息時，則聯防成員將會再次進行確認；另一方面，當聯防成員接收到安全監控中心所傳來的攻擊警告時，也必定會傳送資訊到安全監控中心來進行確認。上述動作皆是爲了確定資訊傳遞的可信度，爲了加強資訊在傳遞上的安全性，建議可以簽章、加密或並行的方式來進行。

四、研究設計

本研究假設皆採模擬的攻擊樣本而非真實取得之攻擊資料，而實驗流程及細節說明詳述如下。

4.1 聯防架構運作流程

本研究植基於ACISF聯防架構，企圖以三種決策模式作爲聯防成員執行防護決策的手段，評估與分析在資安威脅情境下最適切的決策模式，以改善各項資安防護預測機制。作業流程如圖2。

(一)所有聯防成員不停地監測是否有資訊攻擊，假如遭受到攻擊，則利用公式(1)來計算出威脅值。

(二)已受到攻擊的聯防成員根據監測代理人計算出的威脅值，由仲裁代理人利用公式(2)去決定整個威脅等級，並根據系統的安全方針來做出適當的活動，最後透過傳訊代理人傳送威脅值到安全監控中心。

(三)當安全監控中心接收了聯防成員的威脅值報告之後，利用公式(3)和公式(4)來決定整個聯防系統的等級，並且通知所有未遭受到攻擊的聯防成員能預先地提高警覺避免遭受到資訊攻擊。

(四)當聯防成員接收了安全監控中心的攻擊警告之後，則仲裁代理人分別利用貝氏決策、改良式貝氏決策、馬可夫決策來執行最適當的行動方針。

(五)將三種決策方式模擬結果進行效能評估與分析。

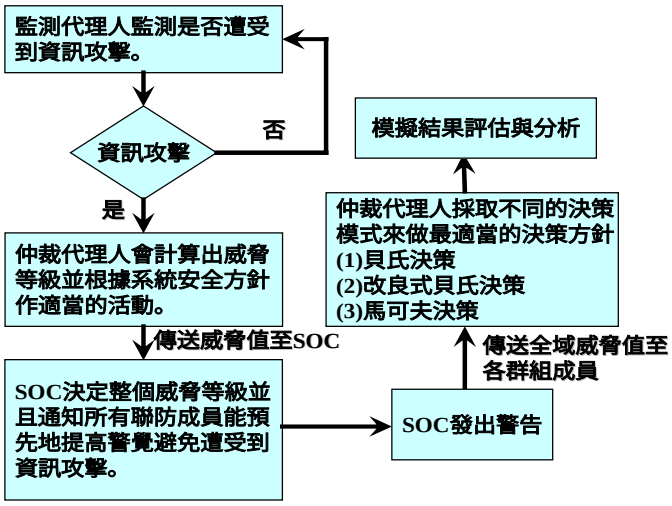

圖 2：聯防架構作業流程設計

4.2 代理人決策防護機制設計

在聯防架構中，假設聯防成員遭受資訊攻擊時，本身的仲裁代理人會分析監測代理人所獲得的威脅值，來決定威脅等級，依據表1來採取適當決策行動，並記錄成日誌檔以供日後分析使用。

相對的，假使聯防成員未遭受到資訊攻擊時，則依據監測中心所發出的全域威脅則有可能會有兩種情況產生：

(一)當監測中心通知聯防成員將遭受到攻擊，而成員也的確遭受到攻擊，但是仲裁代理人卻未做任何的防護，則必定會遭受到某種程度的損害。

(二)若依據監測中心的警告來行動，但聯防成員卻又未遭受到實際的攻擊，則聯防成員會因過度反應，而造成不必要的成本損失。

因此，如何幫助聯防成員的仲裁代理人來進行防護決策的預測，是組織有效運用資源且避免損失的重要事項。本研究中，仲裁代理人是藉由貝氏決策模式、以及利用時間折扣率來進行加權的改良式貝氏決策模式和重視攻擊事件之間關係的馬可夫決策模式進行效能比較，並以此來選擇最佳防禦行動，接續小節中分別針對三種決策方法分別進

行介紹。

4.2.1 貝氏決策

依據安全監控中心的警告，仲裁代理人有五種不同的行動方針(如表1)，對於每一個行動其期望損失成本的計算方式如公式(5)。

$$Eloss(D_i) = \sum_{j=1}^{5} loss(D_i, l_j) p(l_j) \tag{5}$$

$loss(D_i, l_j)$：對於每一個 l_j 等級，採取第 D_i 個行動所造成的損失

$p(l_j)$：聯防系統之成員遭受到攻擊，而發生 l_j 等級之機率

利用公式(5)可以算出各種行動方針期望損失值，由於公式中關於機率值 $p(l_j)$ 的產生是根據先驗機率，也就是成員本身主觀的判斷，因此，利用貝氏定理的公式(如公式(6))進行實驗模擬，將後驗機率的觀念整合進來，所得到的機率值得以和成員本身遭受攻擊值產生互動，進而預測成員下次可能遭受到的攻擊威脅，以幫助管理人員作防禦決策。結合貝氏定理改良後的期望損失成本則詳如公式(7)。

$$p(\ell_j \mid L) = \frac{p(L \mid \ell_j) p(\ell_j)}{\sum_{\kappa=1}^{j} p(L \mid \ell_\kappa) p(\ell_\kappa)} \tag{6}$$

$$Eloss(D_i) = \sum_{j=1}^{5} loss(D_i, l_j) \frac{p(L \mid \ell_j) p(\ell_j)}{\sum_{\kappa=1}^{j} p(L \mid \ell_\kappa) p(\ell_\kappa)} \tag{7}$$

4.2.2 改良式貝氏決策

在貝氏定理公式中所計算出的值是依據所有的歷史資料，本研究中，針對攻擊入侵者強調其行為皆有一定的行為模式，也就是說近期所發生的攻擊事件對未來即將發生的事件，相對的就佔有一定的影響程度。因此改良式貝氏決策就是在貝氏決策的公式中加入了時間折扣的觀念，以事前機率 $p(L \mid \ell_j)$ 進行加權處理，歷史資料中發生次序比較早期的，其折扣的權數就比較大；反之，近期的折扣權數則相對較小。公式修正如公式(8)。

$$p(\ell_j \mid L) = \frac{p(L \mid \ell_j) p(\ell_j)}{\sum_{\kappa=1}^{j} p(L \mid \ell_\kappa) p(\ell_\kappa)} \sum \frac{1}{n} \times r^{n-m} \tag{8}$$

r 為折扣率； m 為 $p(L \mid l_j)$ 出現的筆數； n 為推薦總次數

修正後的貝氏決策公式，可求出每次攻擊事件後驗機率值，但在進行決策行動前，仍須仰賴期望損失成本的計算，來幫助決策者能針對每一項行動可能造成的損失做出預判，計算公式如公式(9)。

$$Eloss(D_i) = \sum_{j=1}^{5} loss(D_i, l_j) \frac{p(L \mid \ell_j)\, p(\ell_j)}{\sum_{\kappa=1}^{j} p(L \mid \ell_\kappa)\, p(\ell_\kappa)} \times \sum \frac{1}{n} \times r^{n-m} \quad \textbf{(9)}$$

4.2.3 馬可夫決策

前述中相鄰攻擊事件的相對影響程度較大，是馬可夫理論最基本也是最重要的論點。本研究以改良式的價值迭代法公式，作爲馬可夫決策模式設計依據(公式(10))。

公式(10)說明：針對未來可能發生的攻擊事件，此算式可用以計算最小損失的方案，作爲防禦決策的參考。

$$V_{t+1}(j, \Gamma_t) = \min \left[r(j, \Gamma_t) + \sum_{h=1}^{5} p(j_h \mid i, \Gamma_t) \sum_{k=1}^{5} loss(D_h, l_k) \right] \quad \textbf{(10)}$$

i ：目前已遭受的攻擊(威脅等級)

j ：下次將遭受的攻擊(威脅等級)

Γ_t ：中心全域威脅預警值

$r(j, \Gamma_t)$ ：全域威脅值建議下，將發生下次攻擊的回饋值(損失值)

$loss(D_h, l_k)$ ：對於每一個 l_k 等級，採取第 D_k 個行動所造成的損失

假設當監控中心蒐集群組內攻擊威脅值後，根據公式(3)、(4)，發出全域威脅等級 Γ_t 給聯防成員當作防禦參考，而成員則根據全域威脅等級和本身上一次所遭遇到攻擊等級，分別算出在不同威脅等級(L1 至 L5)的預期損失值，由其中選出最小預期損失的決策方案來當作成員的防禦行動參考。

五、模擬結果

根據公式(3)，可了解聯防系統在發布全域威脅值時，會蒐集各聯防成員所判斷的攻擊威脅值，配合各成員在聯防系統中所佔的權重來進行運算。因此成員本身在系統中權重的高低相對的來說就相當的重要；若本身權重低，則代表成員本身防護能力可能不足，除了容易遭受到攻擊之外，相對的，所能偵測威脅的程度等級就不高，而需要靠區域聯防的力量來幫助其預防本身無法察覺的特殊攻擊。根據上述，本研究在進行系統模擬的第一步即進行環境的設定，也就是確定聯防體系中各成員所佔的權重值(亦代表各自的防禦能力)。在此以程式直接來進行設定，省略權重模擬的階段，我們設定ACISF聯防系統(五個相互連結的網路分別爲A、B、C、D、E)權重，以圖3表示。

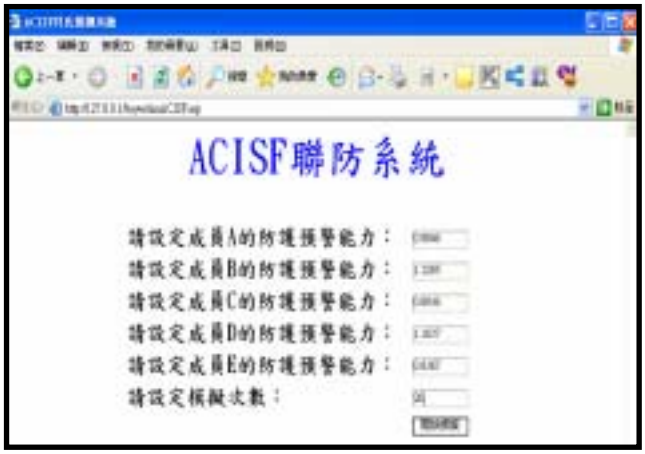

圖 3：系統權重設定

由圖3可知，各聯防成員防禦能力假設分別設定爲 W_A:0.9846 、 W_B:1.1295 、 W_C:0.8936 、 W_D:1.1037 、 W_E:0.9367 ，所遭受攻擊以L1至L5不同規模等級的的亂數分別執行26次。全域威脅等級L則依據所設定之成員權重，配合各成員所遭受到的資訊攻擊計算而成。

本研究中主要目的是改進貝氏決策中考量所有歷史攻擊資料可能產生的問題，以公式修正後的改良式貝氏決策和馬可夫決策方法來驗證想法的可行性。上節中防護能力的設定完成後，配合公式(3)，能讓安全監控中心蒐集聯防成員所回報的攻擊威脅值，據以發出全域威脅值。以模擬攻擊資料而言，當第一次攻擊發生時，各成員分別遭受到攻擊並回報予監控中心後，中心發出全域威脅值來提供聯防體系成員作第二次防衛行動的決策，也就是第一次的預測工作。就目標而言，當然是儘可能降低攻擊事件對公司組織所帶來的損失。因此本研究以二十六次攻擊模擬來分別對貝氏決策、改良式貝氏決策和馬可夫決策實施驗證，觀察不同決策方法在二十五次預測中準度和精度上的差異。

5.1 貝氏決策模擬

根據上節中的攻擊資料，以貝氏決策(公式(6))來進行模擬的結果，如表 2。首先由左開始第一個欄位表示攻擊的次數，第二個欄位至第六個欄位分別表示成員 A、B、C、D、E 所遭受到的攻擊威脅值和威脅等級，第七個欄位爲全域威脅等級。在各成員欄位下各自有三個子欄位，$P(l)$ 代表成員本身遭受到何種等級所攻擊的機率；$P(L|l)$ 代表當本身威脅等級爲 l 的情況下，全域威脅等級發布爲 L 的機率； $P(l|L)$ 代表當全域威脅等級爲 L 的情況之下，成員本身遭受到攻擊威脅 l 的機率，也就是貝氏決策主要計算的後驗機率。

貝氏決策模擬完畢後，求得各時期的後驗機率 $p(\ell_j|L)$ ，代表當系統發出全域威脅警告 L 時，成員將遭受到攻擊 ℓ_j 的機率分別爲何。例如在第 21 次的攻擊中全域威脅建議爲 L2，成員 A 所獲得的後驗機率 $p(3|2)$ 在表 2 中利用貝氏決策算出的結果爲 0.54，就機率高低程度比較上是最高的，但依照公式(7)，在防禦行動的選擇上仍需將所求出的機率值乘上決策損失矩陣(如表 3)，從中選擇最小損失的行動去防禦。因此本研究將表 2 後驗機率的結果，利用公式(7)，計算整理得出表 3。

5.2 改良式貝氏決策模擬

加入時間折扣觀念的改良式貝氏決策，模擬過程同於貝氏決策，模擬結果如表 4。表中由左開始第一個欄位代表攻擊模擬的次數，第二個欄位至第六個欄位分別表示成員 A、B、C、D、E 所遭受到的攻擊威脅值和威脅等級，第七個欄位爲全域威脅等級。在各成員欄位下各自有三個子欄位， $P(l)$ 代表成員本身遭受到何種等級所攻擊的機率； $P(L|l)$ 代表當本身威脅等級爲 l 的情況下，全域威脅等級發布爲 L 的機率，和貝氏決策事前機率的值仍相同； $P(l|L)$ 代表當全域威脅等級爲 L 的情況之下，成員本身遭受到攻擊威脅 l 的機率，也就是經由改良式貝氏決策計算 $P(L|\ell_j)'$ 後所進行加權處理的後驗機率。以成員 A 第二十一次攻擊事件爲例，若是藉由貝氏決策所產出的後驗機率分別爲 $P(1|2)=0$ 、 $P(2|2)=0.04$ 、 $P(3|2)=0.54$ 、 $P(4|2)=0.34$ 、 $P(5|2)=0.09$ 。而根據公式(8)，求得 $p(L|\ell_j)'$ 加權值計算過程詳述如下：

$p(2|1)'=1/21\times 0=0$

歷史攻擊皆沒有 $p(2|1)$ 情況發生，故無法加權

$p(2|2)'=1/21\times(0.9^{15})=0.01$

在第六次曾發生 $p(2|2)$ 攻擊事件

$p(2|3)'=1/21\times(0.9^{17})+1/21\times(0.9^{11})+1/21\times(0.9^{1})+1/21\times(0.9^{0})=0.11$

在第四次、第十次、第二十次和第二十一次皆曾發生過 $p(2|3)$ 攻擊事件

$p(2|4)'=1/21\times(0.9^{20})+1/21\times(0.9^{10})+1/21\times(0.9^{6})=0.05$

在第一次、第十一次和第十五次皆曾發生過 $p(2|4)$ 攻擊事件

$p(2|5)'=1/21\times(0.9^{4})=0.03$

在第十七次皆曾發生過 $p(2|5)$ 攻擊事件

由於所求的值加權處理後皆非常低，因此以所有數值相加爲分母，要加權處理的值當分子進行標準化，例如標準化後 $P(1|2)=0/(0+0.01+0.11+0.05+0.03)$，求出 $P(1|2)=0$ ，再分別進行剩餘事前機率的標準化處理，可求得 $P(2|2)=0$ 、 $P(3|2)=0.76$ 、 $P(4|2)=0.20$ 、 $P(5|2)=0.03$ 。

表 2：貝氏決策模擬結果

貝氏決策																
次數	Ia			Ib			Ic			Id			Ie			L
	P(Ia)	P(L|I)	P(IIL)	P(Ib)	P(L|I)	P(IIL)	P(Ic)	P(L|I)	P(IIL)	P(Id)	P(L|I)	P(IIL)	P(Ie)	P(L|I)	P(IIL)	
1	4(0.78)			2(0.34)			1(0.06)			1(0.12)			5(0.98)			2
	P(1)=0.00	P(2I1)=0.00	P(1I2)=0.00	P(1)=0.00	P(2I1)=0.00	P(1I2)=0.00	P(1)=1.00	P(2I1)=1.00	P(1I2)=1.00	P(1)=1.00	P(2I1)=1.00	P(1I2)=1.00	P(1)=0.00	P(2I1)=0.00	P(1I2)=0.00	
	P(2)=0.00	P(2I2)=0.00	P(2I2)=0.00	P(2)=1.00	P(2I2)=1.00	P(2I2)=1.00	P(2)=0.00	P(2I2)=0.00	P(2I2)=0.00	P(2)=0.00	P(2I2)=0.00	P(2I2)=0.00	P(2)=0.00	P(2I2)=0.00	P(2I2)=0.00	
	P(3)=0.00	P(2I3)=0.00	P(3I2)=0.00	P(3)=0.00	P(2I3)=0.00	P(3I2)=0.00	P(3)=0.00	P(2I3)=0.00	P(3I2)=0.00	P(3)=0.00	P(2I3)=0.00	P(3I2)=0.00	P(3)=0.00	P(2I3)=0.00	P(3I2)=0.00	
	P(4)=1.00	P(2I4)=1.00	P(4I2)=1.00	P(4)=0.00	P(2I4)=0.00	P(4I2)=0.00	P(4)=0.00	P(2I4)=0.00	P(4I2)=0.00	P(4)=0.00	P(2I4)=0.00	P(4I2)=0.00	P(4)=0.00	P(2I4)=0.00	P(4I2)=0.00	
	P(5)=0.00	P(2I5)=0.00	P(5I2)=0.00	P(5)=0.00	P(2I5)=0.00	P(5I2)=0.00	P(5)=0.00	P(2I5)=0.00	P(5I2)=0.00	P(5)=0.00	P(2I5)=0.00	P(5I2)=0.00	P(5)=1.00	P(2I5)=1.00	P(5I2)=1.00	
2	3(0.59)			4(0.68)			5(0.86)			5(0.87)			5(0.89)			4
	P(1)=0.00	P(4I1)=0.00	P(1I4)=0.00	P(1)=0.00	P(4I1)=0.00	P(1I4)=0.00	P(1)=0.50	P(4I1)=0.00	P(1I4)=0.00	P(1)=0.50	P(4I1)=0.00	P(1I4)=0.00	P(1)=0.00	P(4I1)=0.00	P(1I4)=0.00	
	P(2)=0.00	P(4I2)=0.00	P(2I4)=0.00	P(2)=0.50	P(4I2)=0.00	P(2I4)=0.00	P(2)=0.00	P(4I2)=0.00	P(2I4)=0.00	P(2)=0.00	P(4I2)=0.00	P(2I4)=0.00	P(2)=0.00	P(4I2)=0.00	P(2I4)=0.00	
	P(3)=0.50	P(4I3)=0.50	P(3I4)=1.00	P(3)=0.00	P(4I3)=0.00	P(3I4)=0.00	P(3)=0.00	P(4I3)=0.00	P(3I4)=0.00	P(3)=0.00	P(4I3)=0.00	P(3I4)=0.00	P(3)=0.00	P(4I3)=0.00	P(3I4)=0.00	
	P(4)=0.50	P(4I4)=0.00	P(4I4)=0.00	P(4)=0.50	P(4I4)=0.50	P(4I4)=1.00	P(4)=0.00	P(4I4)=0.00	P(4I4)=0.00	P(4)=0.00	P(4I4)=0.00	P(4I4)=0.00	P(4)=0.00	P(4I4)=0.00	P(4I4)=0.00	
	P(5)=0.00	P(4I5)=0.00	P(5I4)=0.00	P(5)=0.00	P(4I5)=0.00	P(5I4)=0.00	P(5)=0.50	P(4I5)=0.50	P(5I4)=1.00	P(5)=0.50	P(4I5)=0.50	P(5I4)=1.00	P(5)=1.00	P(4I5)=0.50	P(5I4)=1.00	
3	3(0.56)			3(0.6)			4(0.61)			5(0.83)			2(0.29)			3
	P(1)=0.00	P(3I1)=0.00	P(1I3)=0.00	P(1)=0.00	P(3I1)=0.00	P(1I3)=0.00	P(1)=0.33	P(3I1)=0.00	P(1I3)=0.00	P(1)=0.33	P(3I1)=0.00	P(1I3)=0.00	P(1)=0.00	P(3I1)=0.00	P(1I3)=0.00	
	P(2)=0.00	P(3I2)=0.00	P(2I3)=0.00	P(2)=0.33	P(3I2)=0.00	P(2I3)=0.00	P(2)=0.00	P(3I2)=0.00	P(2I3)=0.00	P(2)=0.00	P(3I2)=0.00	P(2I3)=0.00	P(2)=0.33	P(3I2)=0.33	P(2I3)=1.00	
	P(3)=0.67	P(3I3)=0.33	P(3I3)=1.00	P(3)=0.33	P(3I3)=0.33	P(3I3)=1.00	P(3)=0.00	P(3I3)=0.00	P(3I3)=0.00	P(3)=0.00	P(3I3)=0.00	P(3I3)=0.00	P(3)=0.00	P(3I3)=0.00	P(3I3)=0.00	
	P(4)=0.33	P(3I4)=0.00	P(4I3)=0.00	P(4)=0.33	P(3I4)=0.00	P(4I3)=0.00	P(4)=0.33	P(3I4)=0.33	P(4I3)=1.00	P(4)=0.00	P(3I4)=0.00	P(4I3)=0.00	P(4)=0.00	P(3I4)=0.00	P(4I3)=0.00	
	P(5)=0.00	P(3I5)=0.00	P(5I3)=0.00	P(5)=0.00	P(3I5)=0.00	P(5I3)=0.00	P(5)=0.33	P(3I5)=0.00	P(5I3)=0.00	P(5)=0.67	P(3I5)=0.33	P(5I3)=1.00	P(5)=0.67	P(3I5)=0.00	P(5I3)=0.00	
21	3(0.41)			1(0.01)			1(0.03)			4(0.69)			2(0.27)			2
	P(1)=0.05	P(2I1)=0.00	P(1I2)=0.00	P(1)=0.19	P(2I1)=0.10	P(1I2)=0.19	P(1)=0.38	P(2I1)=0.29	P(1I2)=0.74	P(1)=0.29	P(2I1)=0.19	P(1I2)=0.44	P(1)=0.19	P(2I1)=0.10	P(1I2)=0.14	
	P(2)=0.10	P(2I2)=0.05	P(2I2)=0.04	P(2)=0.10	P(2I2)=0.10	P(2I2)=0.10	P(2)=0.19	P(2I2)=0.05	P(2I2)=0.06	P(2)=0.10	P(2I2)=0.00	P(2I2)=0.00	P(2)=0.33	P(2I2)=0.29	P(2I2)=0.72	
	P(3)=0.38	P(2I3)=0.19	P(3I2)=0.54	P(3)=0.24	P(2I3)=0.14	P(3I2)=0.33	P(3)=0.19	P(2I3)=0.05	P(3I2)=0.06	P(3)=0.29	P(2I3)=0.14	P(3I2)=0.33	P(3)=0.24	P(2I3)=0.05	P(3I2)=0.09	
	P(4)=0.24	P(2I4)=0.19	P(4I2)=0.34	P(4)=0.29	P(2I4)=0.10	P(4I2)=0.29	P(4)=0.19	P(2I4)=0.10	P(4I2)=0.13	P(4)=0.24	P(2I4)=0.10	P(4I2)=0.19	P(4)=0.10	P(2I4)=0.00	P(4I2)=0.00	
	P(5)=0.24	P(2I5)=0.05	P(5I2)=0.09	P(5)=0.19	P(2I5)=0.00	P(5I2)=0.09	P(5)=0.05	P(2I5)=0.00	P(5I2)=0.00	P(5)=0.10	P(2I5)=0.05	P(5I2)=0.04	P(5)=0.14	P(2I5)=0.05	P(5I2)=0.05	
22	3(0.55)			2(0.23)			2(0.3)			1(0.04)			1(0.05)			1
	P(1)=0.05	P(1I1)=0.05	P(1I1)=0.09	P(1)=0.18	P(1I1)=0.09	P(1I1)=0.70	P(1)=0.36	P(1I1)=0.05	P(1I1)=0.47	P(1)=0.32	P(1I1)=0.09	P(1I1)=0.68	P(1)=0.23	P(1I1)=0.14	P(1I1)=1.00	
	P(2)=0.09	P(1I2)=0.05	P(2I1)=0.16	P(2)=0.14	P(1I2)=0.05	P(2I1)=0.30	P(2)=0.23	P(1I2)=0.05	P(2I1)=0.30	P(2)=0.09	P(1I2)=0.00	P(2I1)=0.00	P(2)=0.32	P(1I2)=0.00	P(2I1)=0.00	
	P(3)=0.41	P(1I3)=0.05	P(3I1)=0.75	P(3)=0.23	P(1I3)=0.00	P(3I1)=0.00	P(3)=0.18	P(1I3)=0.05	P(3I1)=0.23	P(3)=0.27	P(1I3)=0.05	P(3I1)=0.32	P(3)=0.23	P(1I3)=0.00	P(3I1)=0.00	
	P(4)=0.23	P(1I4)=0.00	P(4I1)=0.00	P(4)=0.27	P(1I4)=0.00	P(4I1)=0.00	P(4)=0.14	P(1I4)=0.00	P(4I1)=0.00	P(4)=0.23	P(1I4)=0.00	P(4I1)=0.00	P(4)=0.09	P(1I4)=0.00	P(4I1)=0.00	
	P(5)=0.23	P(1I5)=0.00	P(5I1)=0.00	P(5)=0.18	P(1I5)=0.00	P(5I1)=0.00	P(5)=0.09	P(1I5)=0.00	P(5I1)=0.00	P(5)=0.09	P(1I5)=0.00	P(5I1)=0.00	P(5)=0.14	P(1I5)=0.00	P(5I1)=0.00	
23	1(0.17)			3(0.6)			2(0.21)			3(0.54)			3(0.53)			2
	P(1)=0.09	P(2I1)=0.00	P(1I2)=0.00	P(1)=0.17	P(2I1)=0.09	P(1I2)=0.15	P(1)=0.35	P(2I1)=0.26	P(1I2)=0.67	P(1)=0.30	P(2I1)=0.22	P(1I2)=0.51	P(1)=0.22	P(2I1)=0.09	P(1I2)=0.16	
	P(2)=0.09	P(2I2)=0.04	P(2I2)=0.03	P(2)=0.13	P(2I2)=0.09	P(2I2)=0.12	P(2)=0.26	P(2I2)=0.09	P(2I2)=0.17	P(2)=0.09	P(2I2)=0.00	P(2I2)=0.00	P(2)=0.30	P(2I2)=0.26	P(2I2)=0.62	
	P(3)=0.39	P(2I3)=0.22	P(3I2)=0.63	P(3)=0.26	P(2I3)=0.17	P(3I2)=0.44	P(3)=0.17	P(2I3)=0.04	P(3I2)=0.05	P(3)=0.30	P(2I3)=0.13	P(3I2)=0.30	P(3)=0.26	P(2I3)=0.09	P(3I2)=0.19	
	P(4)=0.22	P(2I4)=0.17	P(4I2)=0.28	P(4)=0.26	P(2I4)=0.09	P(4I2)=0.23	P(4)=0.17	P(2I4)=0.09	P(4I2)=0.11	P(4)=0.22	P(2I4)=0.09	P(4I2)=0.15	P(4)=0.09	P(2I4)=0.00	P(4I2)=0.00	
	P(5)=0.22	P(2I5)=0.04	P(5I2)=0.06	P(5)=0.17	P(2I5)=0.04	P(5I2)=0.07	P(5)=0.05	P(2I5)=0.00	P(5I2)=0.00	P(5)=0.09	P(2I5)=0.04	P(5I2)=0.03	P(5)=0.13	P(2I5)=0.04	P(5I2)=0.04	
24	3(0.42)			3(0.47)			3(0.59)			2(0.36)			2(0.23)			2
	P(1)=0.08	P(2I1)=0.00	P(1I2)=0.00	P(1)=0.17	P(2I1)=0.08	P(1I2)=0.12	P(1)=0.33	P(2I1)=0.25	P(1I2)=0.62	P(1)=0.29	P(2I1)=0.21	P(1I2)=0.49	P(1)=0.21	P(2I1)=0.08	P(1I2)=0.12	
	P(2)=0.08	P(2I2)=0.04	P(2I2)=0.02	P(2)=0.13	P(2I2)=0.08	P(2I2)=0.09	P(2)=0.25	P(2I2)=0.08	P(2I2)=0.15	P(2)=0.13	P(2I2)=0.04	P(2I2)=0.04	P(2)=0.33	P(2I2)=0.29	P(2I2)=0.69	
	P(3)=0.42	P(2I3)=0.25	P(3I2)=0.69	P(3)=0.29	P(2I3)=0.21	P(3I2)=0.55	P(3)=0.21	P(2I3)=0.08	P(3I2)=0.13	P(3)=0.29	P(2I3)=0.13	P(3I2)=0.30	P(3)=0.25	P(2I3)=0.08	P(3I2)=0.15	
	P(4)=0.21	P(2I4)=0.17	P(4I2)=0.23	P(4)=0.25	P(2I4)=0.08	P(4I2)=0.18	P(4)=0.17	P(2I4)=0.08	P(4I2)=0.10	P(4)=0.21	P(2I4)=0.08	P(4I2)=0.14	P(4)=0.08	P(2I4)=0.00	P(4I2)=0.00	
	P(5)=0.21	P(2I5)=0.04	P(5I2)=0.06	P(5)=0.17	P(2I5)=0.04	P(5I2)=0.06	P(5)=0.04	P(2I5)=0.00	P(5I2)=0.00	P(5)=0.08	P(2I5)=0.04	P(5I2)=0.03	P(5)=0.13	P(2I5)=0.04	P(5I2)=0.04	
25	2(0.34)			3(0.46)			3(0.58)			4(0.75)			4(0.67)			3
	P(1)=0.08	P(3I1)=0.00	P(1I3)=0.00	P(1)=0.16	P(3I1)=0.00	P(1I3)=0.00	P(1)=0.32	P(3I1)=0.04	P(1I3)=0.15	P(1)=0.28	P(3I1)=0.04	P(1I3)=0.14	P(1)=0.20	P(3I1)=0.00	P(1I3)=0.00	
	P(2)=0.12	P(3I2)=0.04	P(2I3)=0.05	P(2)=0.12	P(3I2)=0.00	P(2I3)=0.00	P(2)=0.24	P(3I2)=0.12	P(2I3)=0.35	P(2)=0.12	P(3I2)=0.04	P(2I3)=0.06	P(2)=0.32	P(3I2)=0.04	P(2I3)=0.18	
	P(3)=0.40	P(3I3)=0.12	P(3I3)=0.52	P(3)=0.32	P(3I3)=0.08	P(3I3)=0.31	P(3)=0.24	P(3I3)=0.12	P(3I3)=0.35	P(3)=0.28	P(3I3)=0.12	P(3I3)=0.41	P(3)=0.24	P(3I3)=0.16	P(3I3)=0.55	
	P(4)=0.20	P(3I4)=0.04	P(4I3)=0.09	P(4)=0.24	P(3I4)=0.16	P(4I3)=0.46	P(4)=0.16	P(3I4)=0.08	P(4I3)=0.15	P(4)=0.24	P(3I4)=0.12	P(4I3)=0.35	P(4)=0.12	P(3I4)=0.12	P(4I3)=0.20	
	P(5)=0.20	P(3I5)=0.16	P(5I3)=0.34	P(5)=0.16	P(3I5)=0.12	P(5I3)=0.23	P(5)=0.04	P(3I5)=0.00	P(5I3)=0.00	P(5)=0.08	P(3I5)=0.04	P(5I3)=0.04	P(5)=0.12	P(3I5)=0.04	P(5I3)=0.07	

表3：貝氏決策期望損失

貝氏決策預期損失表										
次數	Ia		Ib		Ic		Id		Ie	
	Decision	Expect Lossing	Decision	Expect Lossing	Decision	Expect Lossing	Decision	Expect Lossing	Decision	Expect Lossing
1	D1	400.00	D1	100.00	D1	0.00	D1	0.00	D1	900.00
	D2	350.00	D2	-50.00	D2	50.00	D2	50.00	D2	750.00
	D3	300.00	D3	0.00	D3	100.00	D3	100.00	D3	600.00
	D4	-150.00	D4	150.00	D4	250.00	D4	250.00	D4	750.00
	D5	-100.00	D5	300.00	D5	330.00	D5	330.00	D5	-600.00
2	D1	200.00	D1	400.00	D1	900.00	D1	900.00	D1	900.00
	D2	150.00	D2	350.00	D2	750.00	D2	750.00	D2	750.00
	D3	-100.00	D3	300.00	D3	600.00	D3	600.00	D3	600.00
	D4	50.00	D4	-150.00	D4	750.00	D4	750.00	D4	750.00
	D5	100.00	D5	-100.00	D5	-600.00	D5	-600.00	D5	-600.00
3	D1	200.00	D1	200.00	D1	400.00	D1	900.00	D1	100.00
	D2	150.00	D2	150.00	D2	350.00	D2	750.00	D2	-50.00
	D3	-100.00	D3	-100.00	D3	300.00	D3	600.00	D3	0.00
	D4	50.00	D4	50.00	D4	-150.00	D4	750.00	D4	150.00
	D5	100.00	D5	100.00	D5	-100.00	D5	-600.00	D5	300.00
:		:		:		:		:		:
21	D1	326.26	D1	275.67	D1	70.51	D1	178.19	D1	136.65
	D2	263.65	D2	225.17	D2	88.46	D2	168.36	D2	24.05
	D3	101.34	D3	127.99	D3	106.41	D3	93.42	D3	36.65
	D4	48.37	D4	105.89	D4	179.49	D4	127.95	D4	186.65
	D5	-22.55	D5	39.86	D5	258.21	D5	135.07	D5	239.19
22	D1	165.45	D1	30.17	D1	76.62	D1	63.83	D1	0.00
	D2	108.18	D2	19.83	D2	43.51	D2	81.91	D2	50.00
	D3	-65.45	D3	69.83	D3	23.38	D3	36.17	D3	100.00
	D4	84.55	D4	219.83	D4	173.38	D4	186.17	D4	250.00
	D5	153.64	D5	320.95	D5	267.27	D5	256.60	D5	330.00
23	D1	297.94	D1	251.38	D1	71.94	D1	147.66	D1	135.76
	D2	238.79	D2	198.22	D2	71.47	D2	146.26	D2	35.60
	D3	58.41	D3	80.97	D3	95.31	D3	84.11	D3	21.84
	D4	42.92	D4	92.50	D4	178.06	D4	141.59	D4	171.84
	D5	4.72	D5	64.68	D5	265.20	D5	167.76	D5	230.65
24	D1	283.39	D1	244.76	D1	81.26	D1	142.65	D1	132.53
	D2	225.77	D2	191.54	D2	78.29	D2	135.06	D2	21.46
	D3	34.47	D3	47.90	D3	80.14	D3	74.96	D3	20.33
	D4	43.83	D4	90.47	D4	168.74	D4	143.54	D4	170.33
	D5	18.71	D5	68.20	D5	252.41	D5	176.31	D5	240.62
25	D1	453.45	D1	453.85	D1	165.38	D1	264.71	D1	270.45
	D2	363.79	D2	380.77	D2	96.15	D2	218.63	D2	195.45
	D3	181.03	D3	246.15	D3	26.92	D3	101.96	D3	47.73
	D4	279.31	D4	119.23	D4	84.62	D4	40.20	D4	75.00
	D5	-148.28	D5	-153.85	D5	173.85	D5	45.29	D5	47.73

表4：改良式貝氏決策模擬結果

改良式貝氏決策																
次數	Ia			Ib			Ic			Id			Ie			L
	P(Ia)	P(L|I)	P(I|L)	P(Ib)	P(L|I)	P(I|L)	P(Ic)	P(L|I)	P(I|L)	P(Id)	P(L|I)	P(I|L)	P(Ie)	P(L|I)	P(I|L)	
1	4(0.78)			2(0.34)			1(0.06)			1(0.12)			5(0.98)			2
	P(1)=0.00	P(2I1)=0.00	P(1I2)=0.00	P(1)=0.00	P(2I1)=0.00	P(1I2)=0.00	P(1)=1.00	P(2I1)=1.00	P(1I2)=1.00	P(1)=1.00	P(2I1)=1.00	P(1I2)=1.00	P(1)=0.00	P(2I1)=0.00	P(1I2)=0.00	
	P(2)=0.00	P(2I2)=0.00	P(2I2)=0.00	P(2)=1.00	P(2I2)=1.00	P(2I2)=1.00	P(2)=0.00	P(2I2)=0.00	P(2I2)=0.00	P(2)=0.00	P(2I2)=0.00	P(2I2)=0.00	P(2)=0.00	P(2I2)=0.00	P(2I2)=0.00	
	P(3)=0.00	P(2I3)=0.00	P(3I2)=0.00	P(3)=0.00	P(2I3)=0.00	P(3I2)=0.00	P(3)=0.00	P(2I3)=0.00	P(3I2)=0.00	P(3)=0.00	P(2I3)=0.00	P(3I2)=0.00	P(3)=0.00	P(2I3)=0.00	P(3I2)=0.00	
	P(4)=1.00	P(2I4)=1.00	P(4I2)=1.00	P(4)=0.00	P(2I4)=0.00	P(4I2)=0.00	P(4)=0.00	P(2I4)=0.00	P(4I2)=0.00	P(4)=0.00	P(2I4)=0.00	P(4I2)=0.00	P(4)=0.00	P(2I4)=0.00	P(4I2)=0.00	
	P(5)=0.00	P(2I5)=0.00	P(5I2)=0.00	P(5)=0.00	P(2I5)=0.00	P(5I2)=0.00	P(5)=0.00	P(2I5)=0.00	P(5I2)=0.00	P(5)=0.00	P(2I5)=0.00	P(5I2)=0.00	P(5)=1.00	P(2I5)=1.00	P(5I2)=1.00	
2	3(0.59)			4(0.68)			5(0.86)			5(0.87)			5(0.89)			4
	P(1)=0.00	P(4I1)=0.00	P(1I4)=0.00	P(1)=0.00	P(4I1)=0.00	P(1I4)=0.00	P(1)=0.50	P(4I1)=0.00	P(1I4)=0.00	P(1)=0.50	P(4I1)=0.00	P(1I4)=0.00	P(1)=0.00	P(4I1)=0.00	P(1I4)=0.00	
	P(2)=0.00	P(4I2)=0.00	P(2I4)=0.00	P(2)=0.50	P(4I2)=0.00	P(2I4)=0.00	P(2)=0.00	P(4I2)=0.00	P(2I4)=0.00	P(2)=0.00	P(4I2)=0.00	P(2I4)=0.00	P(2)=0.00	P(4I2)=0.00	P(2I4)=0.00	
	P(3)=0.50	P(4I3)=0.50	P(3I4)=1.00	P(3)=0.00	P(4I3)=0.00	P(3I4)=0.00	P(3)=0.00	P(4I3)=0.00	P(3I4)=0.00	P(3)=0.00	P(4I3)=0.00	P(3I4)=0.00	P(3)=0.00	P(4I3)=0.00	P(3I4)=0.00	
	P(4)=0.50	P(4I4)=0.00	P(4I4)=0.00	P(4)=0.50	P(4I4)=0.50	P(4I4)=1.00	P(4)=0.00	P(4I4)=0.00	P(4I4)=0.00	P(4)=0.00	P(4I4)=0.00	P(4I4)=0.00	P(4)=0.00	P(4I4)=0.00	P(4I4)=0.00	
	P(5)=0.00	P(4I5)=0.00	P(5I4)=0.00	P(5)=0.00	P(4I5)=0.00	P(5I4)=0.00	P(5)=0.50	P(4I5)=0.50	P(5I4)=1.00	P(5)=0.50	P(4I5)=0.50	P(5I4)=1.00	P(5)=1.00	P(4I5)=0.50	P(5I4)=1.00	
3	3(0.56)			3(0.6)			4(0.61)			5(0.83)			2(0.29)			3
	P(1)=0.00	P(3I1)=0.00	P(1I3)=0.00	P(1)=0.00	P(3I1)=0.00	P(1I3)=0.00	P(1)=0.33	P(3I1)=0.00	P(1I3)=0.00	P(1)=0.33	P(3I1)=0.00	P(1I3)=0.00	P(1)=0.00	P(3I1)=0.00	P(1I3)=0.00	
	P(2)=0.00	P(3I2)=0.00	P(2I3)=0.00	P(2)=0.33	P(3I2)=0.00	P(2I3)=0.00	P(2)=0.00	P(3I2)=0.00	P(2I3)=0.00	P(2)=0.00	P(3I2)=0.00	P(2I3)=0.00	P(2)=0.33	P(3I2)=0.33	P(2I3)=1.00	
	P(3)=0.67	P(3I3)=0.33	P(3I3)=1.00	P(3)=0.33	P(3I3)=0.33	P(3I3)=1.00	P(3)=0.00	P(3I3)=0.00	P(3I3)=0.00	P(3)=0.00	P(3I3)=0.00	P(3I3)=0.00	P(3)=0.00	P(3I3)=0.00	P(3I3)=0.00	
	P(4)=0.33	P(3I4)=0.00	P(4I3)=0.00	P(4)=0.33	P(3I4)=0.00	P(4I3)=0.00	P(4)=0.33	P(3I4)=0.33	P(4I3)=1.00	P(4)=0.00	P(3I4)=0.00	P(4I3)=0.00	P(4)=0.00	P(3I4)=0.00	P(4I3)=0.00	
	P(5)=0.00	P(3I5)=0.00	P(5I3)=0.00	P(5)=0.00	P(3I5)=0.00	P(5I3)=0.00	P(5)=0.33	P(3I5)=0.00	P(5I3)=0.00	P(5)=0.67	P(3I5)=0.33	P(5I3)=1.00	P(5)=0.67	P(3I5)=0.00	P(5I3)=0.00	
:	:			:			:			:			:			:
21	3(0.41)			1(0.01)			1(0.03)			4(0.69)			2(0.27)			2
	P(1)=0.05	P(2I1)=0.00	P(1I2)=0.00	P(1)=0.19	P(2I1)=0.10	P(1I2)=0.26	P(1)=0.38	P(2I1)=0.29	P(1I2)=0.93	P(1)=0.29	P(2I1)=0.19	P(1I2)=0.56	P(1)=0.19	P(2I1)=0.10	P(1I2)=0.04	
	P(2)=0.10	P(2I2)=0.05	P(2I2)=0.00	P(2)=0.10	P(2I2)=0.10	P(2I2)=0.10	P(2)=0.19	P(2I2)=0.05	P(2I2)=0.01	P(2)=0.10	P(2I2)=0.00	P(2I2)=0.00	P(2)=0.33	P(2I2)=0.29	P(2I2)=0.95	
	P(3)=0.38	P(2I3)=0.19	P(3I2)=0.76	P(3)=0.24	P(2I3)=0.14	P(3I2)=0.34	P(3)=0.19	P(2I3)=0.05	P(3I2)=0.02	P(3)=0.29	P(2I3)=0.14	P(3I2)=0.14	P(3)=0.24	P(2I3)=0.05	P(3I2)=0.01	
	P(4)=0.24	P(2I4)=0.19	P(4I2)=0.20	P(4)=0.29	P(2I4)=0.10	P(4I2)=0.22	P(4)=0.19	P(2I4)=0.10	P(4I2)=0.04	P(4)=0.24	P(2I4)=0.10	P(4I2)=0.29	P(4)=0.10	P(2I4)=0.00	P(4I2)=0.00	
	P(5)=0.24	P(2I5)=0.05	P(5I2)=0.03	P(5)=0.19	P(2I5)=0.05	P(5I2)=0.08	P(5)=0.05	P(2I5)=0.00	P(5I2)=0.00	P(5)=0.10	P(2I5)=0.05	P(5I2)=0.01	P(5)=0.14	P(2I5)=0.05	P(5I2)=0.00	
22	3(0.55)			2(0.23)			2(0.3)			1(0.04)			1(0.05)			1
	P(1)=0.05	P(1I1)=0.05	P(1I1)=0.04	P(1)=0.18	P(1I1)=0.09	P(1I1)=0.63	P(1)=0.36	P(1I1)=0.05	P(1I1)=0.32	P(1)=0.32	P(1I1)=0.09	P(1I1)=0.89	P(1)=0.23	P(1I1)=0.14	P(1I1)=1.00	
	P(2)=0.09	P(1I2)=0.05	P(2I1)=0.08	P(2)=0.14	P(1I2)=0.05	P(2I1)=0.37	P(2)=0.23	P(1I2)=0.05	P(2I1)=0.53	P(2)=0.09	P(1I2)=0.00	P(2I1)=0.00	P(2)=0.32	P(1I2)=0.00	P(2I1)=0.00	
	P(3)=0.41	P(1I3)=0.05	P(3I1)=0.89	P(3)=0.23	P(1I3)=0.00	P(3I1)=0.00	P(3)=0.18	P(1I3)=0.05	P(3I1)=0.15	P(3)=0.27	P(1I3)=0.05	P(3I1)=0.11	P(3)=0.23	P(1I3)=0.00	P(3I1)=0.00	
	P(4)=0.23	P(1I4)=0.00	P(4I1)=0.00	P(4)=0.27	P(1I4)=0.00	P(4I1)=0.00	P(4)=0.14	P(1I4)=0.00	P(4I1)=0.00	P(4)=0.23	P(1I4)=0.00	P(4I1)=0.00	P(4)=0.09	P(1I4)=0.00	P(4I1)=0.00	
	P(5)=0.23	P(1I5)=0.00	P(5I1)=0.00	P(5)=0.18	P(1I5)=0.00	P(5I1)=0.00	P(5)=0.09	P(1I5)=0.00	P(5I1)=0.00	P(5)=0.09	P(1I5)=0.00	P(5I1)=0.00	P(5)=0.14	P(1I5)=0.00	P(5I1)=0.00	
23	1(0.17)			3(0.6)			2(0.21)			3(0.54)			3(0.53)			2
	P(1)=0.09	P(2I1)=0.00	P(1I2)=0.03	P(1)=0.17	P(2I1)=0.09	P(1I2)=0.13	P(1)=0.35	P(2I1)=0.26	P(1I2)=0.83	P(1)=0.30	P(2I1)=0.22	P(1I2)=0.76	P(1)=0.22	P(2I1)=0.09	P(1I2)=0.05	
	P(2)=0.09	P(2I2)=0.04	P(2I2)=0.03	P(2)=0.13	P(2I2)=0.09	P(2I2)=0.08	P(2)=0.26	P(2I2)=0.09	P(2I2)=0.13	P(2)=0.09	P(2I2)=0.00	P(2I2)=0.00	P(2)=0.30	P(2I2)=0.26	P(2I2)=0.85	
	P(3)=0.39	P(2I3)=0.22	P(3I2)=0.88	P(3)=0.26	P(2I3)=0.17	P(3I2)=0.64	P(3)=0.17	P(2I3)=0.04	P(3I2)=0.01	P(3)=0.30	P(2I3)=0.13	P(3I2)=0.09	P(3)=0.26	P(2I3)=0.09	P(3I2)=0.10	
	P(4)=0.22	P(2I4)=0.17	P(4I2)=0.11	P(4)=0.26	P(2I4)=0.09	P(4I2)=0.11	P(4)=0.17	P(2I4)=0.09	P(4I2)=0.03	P(4)=0.22	P(2I4)=0.09	P(4I2)=0.15	P(4)=0.09	P(2I4)=0.00	P(4I2)=0.00	
	P(5)=0.22	P(2I5)=0.04	P(5I2)=0.02	P(5)=0.17	P(2I5)=0.04	P(5I2)=0.04	P(5)=0.05	P(2I5)=0.00	P(5I2)=0.03	P(5)=0.09	P(2I5)=0.04	P(5I2)=0.00	P(5)=0.13	P(2I5)=0.04	P(5I2)=0.00	
24	3(0.42)			3(0.47)			3(0.59)			2(0.36)			2(0.23)			2
	P(1)=0.08	P(2I1)=0.00	P(1I2)=0.00	P(1)=0.17	P(2I1)=0.08	P(1I2)=0.07	P(1)=0.33	P(2I1)=0.25	P(1I2)=0.82	P(1)=0.29	P(2I1)=0.21	P(1I2)=0.74	P(1)=0.21	P(2I1)=0.08	P(1I2)=0.03	
	P(2)=0.08	P(2I2)=0.04	P(2I2)=0.00	P(2)=0.13	P(2I2)=0.08	P(2I2)=0.04	P(2)=0.25	P(2I2)=0.08	P(2I2)=0.04	P(2)=0.13	P(2I2)=0.04	P(2I2)=0.03	P(2)=0.33	P(2I2)=0.29	P(2I2)=0.92	
	P(3)=0.42	P(2I3)=0.25	P(3I2)=0.93	P(3)=0.29	P(2I3)=0.21	P(3I2)=0.82	P(3)=0.21	P(2I3)=0.08	P(3I2)=0.12	P(3)=0.29	P(2I3)=0.13	P(3I2)=0.09	P(3)=0.25	P(2I3)=0.08	P(3I2)=0.06	
	P(4)=0.21	P(2I4)=0.17	P(4I2)=0.06	P(4)=0.25	P(2I4)=0.08	P(4I2)=0.05	P(4)=0.17	P(2I4)=0.08	P(4I2)=0.03	P(4)=0.21	P(2I4)=0.08	P(4I2)=0.14	P(4)=0.08	P(2I4)=0.00	P(4I2)=0.00	
	P(5)=0.21	P(2I5)=0.04	P(5I2)=0.01	P(5)=0.17	P(2I5)=0.04	P(5I2)=0.02	P(5)=0.04	P(2I5)=0.00	P(5I2)=0.00	P(5)=0.08	P(2I5)=0.04	P(5I2)=0.03	P(5)=0.13	P(2I5)=0.04	P(5I2)=0.00	
25	2(0.34)			3(0.46)			3(0.58)			4(0.75)			4(0.67)			3
	P(1)=0.08	P(3I1)=0.00	P(1I3)=0.00	P(1)=0.16	P(3I1)=0.00	P(1I3)=0.00	P(1)=0.32	P(3I1)=0.04	P(1I3)=0.02	P(1)=0.28	P(3I1)=0.04	P(1I3)=0.03	P(1)=0.20	P(3I1)=0.00	P(1I3)=0.00	
	P(2)=0.12	P(3I2)=0.04	P(2I3)=0.06	P(2)=0.12	P(3I2)=0.00	P(2I3)=0.00	P(2)=0.24	P(3I2)=0.12	P(2I3)=0.41	P(2)=0.12	P(3I2)=0.08	P(2I3)=0.03	P(2)=0.32	P(3I2)=0.04	P(2I3)=0.02	
	P(3)=0.40	P(3I3)=0.12	P(3I3)=0.45	P(3)=0.32	P(3I3)=0.08	P(3I3)=0.43	P(3)=0.24	P(3I3)=0.12	P(3I3)=0.53	P(3)=0.28	P(3I3)=0.12	P(3I3)=0.31	P(3)=0.24	P(3I3)=0.16	P(3I3)=0.73	
	P(4)=0.20	P(3I4)=0.04	P(4I3)=0.01	P(4)=0.24	P(3I4)=0.16	P(4I3)=0.22	P(4)=0.16	P(3I4)=0.08	P(4I3)=0.04	P(4)=0.24	P(3I4)=0.12	P(4I3)=0.63	P(4)=0.12	P(3I4)=0.12	P(4I3)=0.24	
	P(5)=0.20	P(3I5)=0.16	P(5I3)=0.48	P(5)=0.16	P(3I5)=0.12	P(5I3)=0.35	P(5)=0.04	P(3I5)=0.00	P(5I3)=0.00	P(5)=0.08	P(3I5)=0.04	P(5I3)=0.00	P(5)=0.12	P(3I5)=0.04	P(5I3)=0.01	

而在改良式貝氏決策算出每次攻擊的後驗機率後，結合公式(9)中各項決策行動的損失計算，可算出經由改良式貝氏決策而求出的預期損失表，如下表 5。再由其中選出每次攻擊的最小損失值來幫助聯防成員作爲每次決策的依據。

表5：改良式貝氏決策期望損失

改良式貝氏決策預期損失表

次數	Ia		Ib		Ic		Id		Ie	
	Decision	Expect Lossing	Decision	Expect Lossing	Decision	Expect Lossing	Decision	Expect Lossing	Decision	Expect Lossing
1	D1	400	D1	100	D1	0	D1	0	D1	900
	D2	350	D2	-50	D2	50	D2	50	D2	750
	D3	300	D3	0	D3	100	D3	100	D3	600
	D4	-150	D4	150	D4	250	D4	250	D4	750
	D5	-100	D5	300	D5	330	D5	330	D5	-600
2	D1	200	D1	400	D1	900	D1	900	D1	900
	D2	150	D2	350	D2	750	D2	750	D2	750
	D3	-100	D3	300	D3	600	D3	600	D3	600
	D4	50	D4	-150	D4	750	D4	750	D4	750
	D5	100	D5	-100	D5	-600	D5	-600	D5	-600
3	D1	200	D1	200	D1	400	D1	900	D1	100
	D2	150	D2	150	D2	350	D2	750	D2	-50
	D3	-100	D3	-100	D3	300	D3	600	D3	0
	D4	50	D4	50	D4	-150	D4	750	D4	150
	D5	100	D5	100	D5	-100	D5	-600	D5	300
:		:		:		:		:		:
21	D1	264	D1	236	D1	20	D1	151	D1	98
	D2	210	D2	194	D2	61	D2	156	D2	-42
	D3	5	D3	104	D3	102	D3	132	D3	5
	D4	34	D4	124	D4	230	D4	105	D4	155
	D5	36	D5	82	D5	309	D5	166	D5	298
22	D1	185	D1	37	D1	82	D1	21	D1	0
	D2	131	D2	13	D2	11	D2	61	D2	50
	D3	-85	D3	63	D3	18	D3	79	D3	100
	D4	65	D4	213	D4	168	D4	229	D4	250
	D5	124	D5	319	D5	281	D5	306	D5	330
23	D1	232	D1	213	D1	28	D1	81	D1	107
	D2	181	D2	165	D2	48	D2	107	D2	-23
	D3	-46	D3	5	D3	91	D3	114	D3	-4
	D4	40	D4	87	D4	222	D4	172	D4	146
	D5	68	D5	99	D5	310	D5	241	D5	279
24	D1	219	D1	208	D1	39	D1	78	D1	104
	D2	168	D2	159	D2	67	D2	99	D2	-35
	D3	-68	D3	-46	D3	79	D3	108	D3	-2
	D4	44	D4	71	D4	211	D4	175	D4	148
	D5	81	D5	98	D5	289	D5	247	D5	289
25	D1	534	D1	489	D1	164	D1	320	D1	254
	D2	430	D2	404	D2	76	D2	269	D2	201
	D3	248	D3	233	D3	-38	D3	162	D3	5
	D4	390	D4	251	D4	86	D4	-64	D4	12
	D5	-228	D5	-189	D5	177	D5	-16	D5	48

5.3 馬可夫決策模擬

相似於貝氏決策模擬過程，在馬可夫決策上，將模擬攻擊攻擊資料代入移轉機率矩陣(如表6)，可統計出攻擊事件發生的先後順序次數。本研究中使用二十六次攻擊，所以對各成員來說，攻擊間移轉的次數爲二十五次，若有新攻擊事件再發生時，矩陣仍將會繼續擴充。

表6：移轉機率矩陣

移轉機率矩陣表	系統推薦(t)		L1	L2	L3	L4	L5	L1	L2	L3	L4	L5	L1	L2	L3	L4	L5	L1	L2	L3	L4	L5	L1	L2	L3	L4	L5
	聯防成員A	本次攻擊(t)	L1	L1	L1	L1	L1	L2	L2	L2	L2	L2	L3	L3	L3	L3	L3	L4	L4	L4	L4	L4	L5	L5	L5	L5	L5
		預測攻擊(t+1) L1																	1								
		L2	1											1	1												
		L3								1			1	4	2	1			1						2		
		L4						1	1					1					1								
		L5																	1	1				1	2		
	聯防成員B	本次攻擊(t)	L1	L1	L1	L1	L1	L2	L2	L2	L2	L2	L3	L3	L3	L3	L3	L4	L4	L4	L4	L4	L5	L5	L5	L5	L5
		預測攻擊(t+1) L1	1	1					1					1													
		L2		1											1										1		
		L3	1					1						2	2					1	1						
		L4							1					2					1	2							
		L5																	1					1	2		
	聯防成員C	本次攻擊(t)	L1	L1	L1	L1	L1	L2	L2	L2	L2	L2	L3	L3	L3	L3	L3	L4	L4	L4	L4	L4	L5	L5	L5	L5	L5
		預測攻擊(t+1) L1	1	2	1					1			1							1							
		L2		2				1		1				1	1												
		L3		1					2					1	2									1			
		L4								1										1						1	
		L5		1															1								
	聯防成員D	本次攻擊(t)	L1	L1	L1	L1	L1	L2	L2	L2	L2	L2	L3	L3	L3	L3	L3	L4	L4	L4	L4	L4	L5	L5	L5	L5	L5
		預測攻擊(t+1) L1	2		1								1		2				1								
		L2		2																							
		L3		2										3	1					1							
		L4							1	1									1	1				1			
		L5		1																1					1	1	
	聯防成員E	本次攻擊(t)	L1	L1	L1	L1	L1	L2	L2	L2	L2	L2	L3	L3	L3	L3	L3	L4	L4	L4	L4	L4	L5	L5	L5	L5	L5
		預測攻擊(t+1) L1	2	1					2																		
		L2		1					1	1				1	2										1	1	
		L3	1						3						2					1							
		L4							1					1						1				1			
		L5																		1							

表7爲每次攻擊發生時，利用移轉機率矩陣的結果所整理出的機率值。表中由左開始第一個欄位表示攻擊的次數，第二至第六個欄位則分別表示成員A、B、C、D、E當

遭受到全域威脅等級 *GL* 時，會由 *i* 攻擊移轉至 *j* 攻擊的機率值。

本研究中所使用的馬可夫決策，是利用公式(10)，以預測當下次攻擊事件來臨時，做各項決策所可能造成的損失值，並從中選擇出最小損失的行動來進行防禦。期望損失計算結果如表8。

根據表7、8，聯防成員在每次遭受攻擊時皆可依據最小損失值來做出防禦行動。茲以表8中第22次的資料而言，成員C中的仲裁代理人藉由馬可夫決策，判斷出採取D2的防護行動來預防下一次攻擊的損失值爲最小，故採取D2防禦。而根據模擬結果成員C第23次所遭受攻擊確實爲L2，代表系統預測正確，成員C藉由此決策方式，將攻擊時所遭受可能損失值降至最低。

表7：馬可夫決策模擬結果

馬可夫決策移轉機率表					
次數	Ia	Ib	Ic	Id	Ie
	P(j | i,GL)	P(j | i,GL)	P(j | i,GL)	P(j | i,GL)	P(j | i,GL)
1	P(1|4,G2)=0.00	P(1|2,G2)=0.00	P(1|1,G2)=0.00	P(1|1,G2)=0.00	P(1|5,G2)=0.00
	P(2|4,G2)=0.00	P(2|2,G2)=0.00	P(2|1,G2)=0.00	P(2|1,G2)=0.00	P(2|5,G2)=0.00
	P(3|4,G2)=0.00	P(3|2,G2)=0.00	P(3|1,G2)=0.00	P(3|1,G2)=0.00	P(3|5,G2)=0.00
	P(4|4,G2)=0.00	P(4|2,G2)=0.00	P(4|1,G2)=0.00	P(4|1,G2)=0.00	P(4|5,G2)=0.00
	P(5|4,G2)=0.00	P(5|2,G2)=0.00	P(5|1,G2)=0.00	P(5|1,G2)=0.00	P(5|5,G2)=0.00
2	P(1|3,G4)=0.00	P(1|4,G4)=0.00	P(1|5,G4)=0.00	P(1|5,G4)=0.00	P(1|5,G4)=0.00
	P(2|3,G4)=0.00	P(2|4,G4)=0.00	P(2|5,G4)=0.00	P(2|5,G4)=0.00	P(2|5,G4)=0.00
	P(3|3,G4)=0.00	P(3|4,G4)=0.00	P(3|5,G4)=0.00	P(3|5,G4)=0.00	P(3|5,G4)=0.00
	P(4|3,G4)=0.00	P(4|4,G4)=0.00	P(4|5,G4)=0.00	P(4|5,G4)=0.00	P(4|5,G4)=0.00
	P(5|3,G4)=0.00	P(5|4,G4)=0.00	P(5|5,G4)=0.00	P(5|5,G4)=0.00	P(5|5,G4)=0.00
3	P(1|3,G3)=0.00	P(1|3,G3)=0.00	P(1|4,G3)=0.00	P(1|5,G3)=0.00	P(1|2,G3)=0.00
	P(2|3,G3)=0.00	P(2|3,G3)=0.00	P(2|4,G3)=0.00	P(2|5,G3)=0.00	P(2|2,G3)=0.00
	P(3|3,G3)=0.00	P(3|3,G3)=0.00	P(3|4,G3)=0.00	P(3|5,G3)=0.00	P(3|2,G3)=0.00
	P(4|3,G3)=0.00	P(4|3,G3)=0.00	P(4|4,G3)=0.00	P(4|5,G3)=0.00	P(4|2,G3)=0.00
	P(5|3,G3)=0.00	P(5|3,G3)=0.00	P(5|4,G3)=0.00	P(5|5,G3)=0.00	P(5|2,G3)=0.00
:	:	:	:	:	:
21	P(1|3,G2)=0.00	P(1|1,G2)=1.00	P(1|1,G2)=0.40	P(1|4,G2)=0.00	P(1|2,G2)=0.17
	P(2|3,G2)=0.00	P(2|1,G2)=0.00	P(2|1,G2)=0.20	P(2|4,G2)=0.00	P(2|2,G2)=0.17
	P(3|3,G2)=0.67	P(3|1,G2)=0.00	P(3|1,G2)=0.20	P(3|4,G2)=0.00	P(3|2,G2)=0.67
	P(4|3,G2)=0.33	P(4|1,G2)=0.00	P(4|1,G2)=0.00	P(4|4,G2)=1.00	P(4|2,G2)=0.00
	P(5|3,G2)=0.00	P(5|1,G2)=0.00	P(5|1,G2)=0.20	P(5|4,G2)=0.00	P(5|2,G2)=0.00
22	P(1|3,G1)=0.00	P(1|2,G1)=0.00	P(1|2,G1)=0.00	P(1|1,G1)=1.00	P(1|1,G1)=1.00
	P(2|3,G1)=0.50	P(2|2,G1)=0.00	P(2|2,G1)=0.00	P(2|1,G1)=0.00	P(2|1,G1)=0.00
	P(3|3,G1)=0.50	P(3|2,G1)=0.00	P(3|2,G1)=0.00	P(3|1,G1)=0.00	P(3|1,G1)=0.00
	P(4|3,G1)=0.00	P(4|2,G1)=0.00	P(4|2,G1)=0.00	P(4|1,G1)=0.00	P(4|1,G1)=0.00
	P(5|3,G1)=0.00	P(5|2,G1)=0.00	P(5|2,G1)=0.00	P(5|1,G1)=0.00	P(5|1,G1)=0.00
23	P(1|3,G2)=0.00	P(1|3,G2)=0.33	P(1|2,G2)=0.00	P(1|1,G2)=0.00	P(1|3,G2)=0.00
	P(2|3,G2)=0.00	P(2|3,G2)=0.00	P(2|2,G2)=0.00	P(2|1,G2)=0.25	P(2|3,G2)=0.00
	P(3|3,G2)=0.75	P(3|3,G2)=0.00	P(3|2,G2)=1.00	P(3|1,G2)=0.50	P(3|3,G2)=0.00
	P(4|3,G2)=0.25	P(4|3,G2)=0.67	P(4|2,G2)=0.00	P(4|1,G2)=0.00	P(4|3,G2)=1.00
	P(5|3,G2)=0.00	P(5|3,G2)=0.00	P(5|2,G2)=0.00	P(5|1,G2)=0.25	P(5|3,G2)=0.00
24	P(1|3,G2)=0.00	P(1|3,G2)=0.25	P(1|3,G2)=0.00	P(1|2,G2)=0.00	P(1|2,G2)=0.29
	P(2|3,G2)=0.00	P(2|3,G2)=0.00	P(2|3,G2)=1.00	P(2|2,G2)=0.00	P(2|2,G2)=0.14
	P(3|3,G2)=0.80	P(3|3,G2)=0.25	P(3|3,G2)=0.00	P(3|2,G2)=0.00	P(3|2,G2)=0.57
	P(4|3,G2)=0.20	P(4|3,G2)=0.50	P(4|3,G2)=0.00	P(4|2,G2)=0.00	P(4|2,G2)=0.00
	P(5|3,G2)=0.00	P(5|3,G2)=0.00	P(5|3,G2)=0.00	P(5|2,G2)=0.00	P(5|2,G2)=0.00
25	P(1|2,G3)=0.00	P(1|3,G3)=0.00	P(1|3,G3)=0.00	P(1|4,G3)=0.00	P(1|4,G3)=0.00
	P(2|2,G3)=0.00	P(2|3,G3)=0.00	P(2|3,G3)=0.50	P(2|4,G3)=0.00	P(2|4,G3)=0.00
	P(3|2,G3)=0.00	P(3|3,G3)=1.00	P(3|3,G3)=0.50	P(3|4,G3)=0.00	P(3|4,G3)=0.00
	P(4|2,G3)=0.00	P(4|3,G3)=0.00	P(4|3,G3)=0.00	P(4|4,G3)=1.00	P(4|4,G3)=0.50
	P(5|2,G3)=0.00	P(5|3,G3)=0.00	P(5|3,G3)=0.00	P(5|4,G3)=0.00	P(5|4,G3)=0.50

表8：馬可夫決策期望損失

馬可夫決策預期損失表										
次數	Ia		Ib		Ic		Id		Ie	
	Decision	Expect Lossing	Decision	Expect Lossing	Decision	Expect Lossing	Decision	Expect Lossing	Decision	Expect Lossing
1	D1	250	D1	50	D1	0	D1	0	D1	330
	D2	150	D2	-50	D2	100	D2	100	D2	300
	D3	50	D3	150	D3	200	D3	200	D3	100
	D4	-150	D4	350	D4	400	D4	400	D4	-100
	D5	350	D5	750	D5	900	D5	900	D5	-600
2	D1	100	D1	250	D1	330	D1	330	D1	330
	D2	0	D2	150	D2	300	D2	300	D2	300
	D3	-100	D3	50	D3	100	D3	100	D3	100
	D4	300	D4	-150	D4	-100	D4	-100	D4	-100
	D5	600	D5	350	D5	-600	D5	-600	D5	-600
3	D1	100	D1	100	D1	250	D1	250	D1	50
	D2	0	D2	0	D2	150	D2	150	D2	-50
	D3	-100	D3	-100	D3	50	D3	50	D3	150
	D4	300	D4	300	D4	-150	D4	-150	D4	350
	D5	600	D5	600	D5	350	D5	350	D5	750
:		:		:		:		:		:
21	D1	100	D1	100	D1	260	D1	250	D1	201
	D2	0	D2	100	D2	320	D2	150	D2	34
	D3	-1	D3	400	D3	420	D3	50	D3	201
	D4	401	D4	400	D4	400	D4	-150	D4	350
	D5	600	D5	900	D5	1140	D5	350	D5	750
22	D1	100	D1	50	D1	50	D1	0	D1	0
	D2	0	D2	-50	D2	-50	D2	100	D2	200
	D3	-100	D3	150	D3	150	D3	200	D3	200
	D4	300	D4	350	D4	350	D4	400	D4	400
	D5	600	D5	750	D5	750	D5	900	D5	900
23	D1	0	D1	435	D1	50	D1	100	D1	100
	D2	100	D2	0	D2	-50	D2	0	D2	0
	D3	200	D3	-100	D3	150	D3	100	D3	-100
	D4	400	D4	265	D4	350	D4	300	D4	100
	D5	900	D5	600	D5	750	D5	600	D5	600
24	D1	100	D1	250	D1	150	D1	50	D1	178
	D2	0	D2	150	D2	50	D2	-50	D2	36
	D3	-40	D3	50	D3	-100	D3	150	D3	222
	D4	340	D4	-150	D4	300	D4	350	D4	350
	D5	600	D5	100	D5	600	D5	750	D5	750
25	D1	50	D1	100	D1	100	D1	250	D1	250
	D2	-50	D2	0	D2	50	D2	150	D2	150
	D3	150	D3	-100	D3	-50	D3	350	D3	50
	D4	350	D4	300	D4	300	D4	-150	D4	-150
	D5	750	D5	600	D5	600	D5	350	D5	100

下表9中分別比較二十五次預測中聯防成員利用貝氏決策、改良式貝氏決策和馬可夫決策三種決策模式的預測精準度。由資料中的第二十五次預判結果可看出貝氏決策方法預判率偏低且較不穩定；改良式貝氏決策預判效果上高於貝氏決策；馬可夫決策預判率相對的較爲穩定，且約略爲五成上下，高於貝氏決策及改良式貝氏決策的效能。

表9：聯防成員攻擊預測精準度

貝氏決策預測率

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
A	0.000	0.500	0.667	0.750	0.600	0.500	0.429	0.500	0.444	0.400	0.364	0.333	0.308	0.357	0.400	0.438	0.471	0.444	0.421	0.400	0.381	0.409	0.391	0.375	0.360
B	0.000	0.000	0.333	0.250	0.400	0.500	0.571	0.500	0.444	0.400	0.364	0.417	0.385	0.357	0.333	0.313	0.353	0.389	0.368	0.368	0.333	0.318	0.304	0.333	0.320
C	0.000	0.000	0.000	0.250	0.400	0.333	0.286	0.250	0.333	0.300	0.273	0.250	0.231	0.214	0.200	0.188	0.176	0.167	0.158	0.211	0.190	0.182	0.174	0.167	0.200
D	0.000	0.500	0.667	0.500	0.400	0.333	0.286	0.250	0.222	0.200	0.182	0.167	0.154	0.214	0.267	0.250	0.235	0.222	0.211	0.211	0.190	0.182	0.174	0.167	0.160
E	1.000	0.500	0.667	0.500	0.600	0.500	0.429	0.375	0.333	0.300	0.273	0.333	0.385	0.357	0.333	0.313	0.294	0.278	0.263	0.316	0.286	0.273	0.261	0.250	0.240

改良式貝氏決策預測率

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
A	0.000	0.500	0.667	0.750	0.600	0.500	0.429	0.375	0.333	0.300	0.273	0.250	0.231	0.286	0.267	0.313	0.353	0.333	0.316	0.300	0.333	0.364	0.391	0.375	0.360
B	0.000	0.000	0.333	0.250	0.400	0.500	0.571	0.500	0.444	0.400	0.364	0.417	0.385	0.357	0.333	0.313	0.353	0.389	0.368	0.368	0.333	0.318	0.348	0.375	0.360
C	0.000	0.000	0.000	0.250	0.400	0.333	0.286	0.250	0.333	0.300	0.273	0.250	0.231	0.214	0.200	0.188	0.176	0.167	0.158	0.211	0.190	0.227	0.217	0.208	0.240
D	0.000	0.500	0.667	0.500	0.400	0.333	0.286	0.250	0.222	0.200	0.273	0.250	0.231	0.286	0.333	0.313	0.353	0.333	0.316	0.316	0.286	0.318	0.304	0.292	0.280
E	1.000	0.500	0.667	0.500	0.600	0.500	0.571	0.500	0.444	0.400	0.364	0.417	0.462	0.500	0.467	0.438	0.412	0.444	0.421	0.474	0.429	0.409	0.435	0.417	0.440

馬可夫決策預測率

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
A	0.000	0.500	0.667	0.750	0.600	0.500	0.429	0.500	0.444	0.400	0.364	0.333	0.308	0.357	0.333	0.375	0.353	0.333	0.368	0.400	0.429	0.455	0.478	0.458	0.440
B	0.000	0.000	0.333	0.250	0.400	0.500	0.571	0.500	0.556	0.500	0.545	0.583	0.538	0.500	0.467	0.500	0.529	0.556	0.526	0.500	0.524	0.500	0.522	0.500	0.480
C	0.000	0.000	0.000	0.250	0.400	0.333	0.286	0.250	0.333	0.400	0.364	0.333	0.385	0.429	0.400	0.438	0.412	0.444	0.474	0.500	0.476	0.500	0.478	0.500	0.520
D	0.000	0.500	0.667	0.500	0.400	0.500	0.571	0.500	0.556	0.500	0.545	0.500	0.538	0.500	0.533	0.500	0.471	0.444	0.474	0.500	0.476	0.500	0.478	0.458	0.440
E	1.000	0.500	0.667	0.500	0.600	0.500	0.571	0.500	0.444	0.400	0.455	0.500	0.538	0.571	0.533	0.500	0.471	0.500	0.474	0.500	0.476	0.455	0.435	0.417	0.400

資料分析後，不同決策模式預測精準度詳如圖4。在總體平均準確度顯示馬可夫決策過程的準確度從一開始預測準確度略高於貝氏決策與改良式貝氏決策，當模擬次數增加，馬可夫決策仍保持穩定的預測效果，並不會因模擬次數增加造成預測率下降；貝氏決策因歷史資料增加，預測準確度呈現下降趨勢；改良式貝氏決策加入時間折扣觀念後，其預測準度優於貝氏決策，確實能改進貝氏決策在歷史資料增加所造成的缺點。

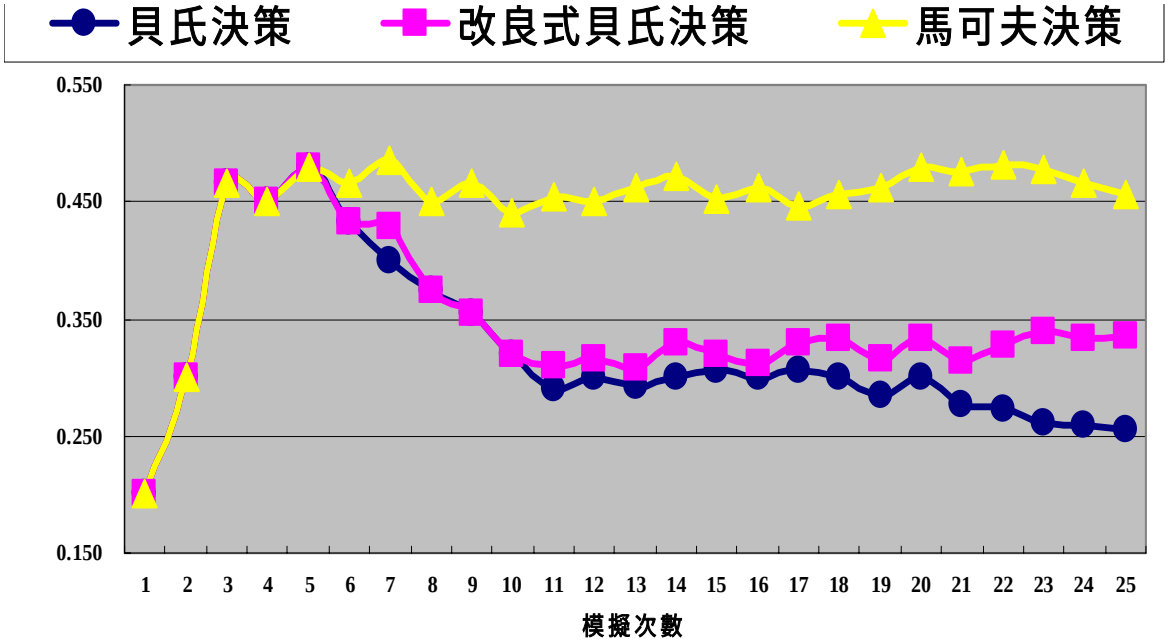

圖4：三種決策方法預測精準度比較

綜合上述，可比較出馬可夫決策在實際模擬過程中，其預測準確度約在五成，相較於貝氏決策方法二成預測率與改良式貝氏決策三成預測率有相當大的成長。此結果對於ACISF聯防體系成員來說，不僅能藉由區域聯防概念彌補各區域成員防護力量不均衡的現象，在成員本身防禦行動的決策準則上，亦能利用馬可夫決策幫助成員有效採取適合的防護行動，避免造成資源的無謂浪費。

六、結論

本研究植基於多重代理人來建構動態資安防護中心架構，藉由系統模擬方法來探討三種代理人防禦行動的決策模式(貝氏決策、改良式貝氏決策及馬可夫決策)進行預測效能之比較。貝氏決策考量所有攻擊歷史資料，模擬資料次數一增加則可明顯看出預測效能下降；改良式貝氏決策雖加入時間折扣率來進行公式修改，但並未考慮相鄰攻擊事件其間的影響關係，僅以歷史資料中相同的情況(相同全域威脅值情形下聯防成員所遭受到的攻擊威脅)來加權處理，預測效能確實勝過貝氏決策，但仍顯不足：馬可夫決策重視近期發生的攻擊事件，考量攻擊事件發生順序所可能造成的影響，能避免歷史資料過於久遠帶來的問題，相對於貝氏決策和改良式貝氏決策，馬可夫決策在攻擊事件的預防及預測準確度上均有明顯的優勢。因此就模擬結果來說，以馬可夫決策作爲仲裁代理人防禦行動的決策參考，確實能有效且穩定的幫助聯防成員針對攻擊入侵事件來實施最佳的防禦策略。

綜合上述，本研究中所達到的貢獻計有下列幾點：

一、以 ACISF 架構爲基礎，建立一個有效的聯防體系，體系規模則可隨時進行加入或退出，以「區域聯防」的方式來幫助平衡體系防護力量，讓資安資源得以充分利用。

二、體系內安全監控中心是以動態推派產生，符合分散式系統概念，幫助系統不會因爲單一主控端遭受駭客攻擊癱瘓而喪失其防護功能。

三、各聯防成員可藉由馬可夫決策有效針對未來攻擊事件進行防禦，避免因缺乏參考資訊，導致成員在防禦行動上無所適從，造成企業資源上各項成本的浪費。

四、以代理人來作爲入侵偵測的資訊蒐集，進行二十四小時的監控，能有效節省人力成本，其運作對網路效能亦不會造成負荷，改進傳統入侵偵測系統所造成的負擔。

本研究建立一個動態的資安防護中心架構，能有效幫助體系內各成員針對攻擊事件來作出預先準備，以減少資源成本的浪費。但在系統相關功能擴充上，有些部分在未來仍值得繼續深入研究，以幫助聯防架構能更爲良善，茲分述如下：

一、由於實際攻擊資料獲取不易，本研究僅以隨機模擬資料進行聯防架構之評估，建議後續研究能以 ACISF 架構爲基礎，蒐集各單位實際發生的入侵事件、警訊發佈以及防護行動的決策資料以驗證模式的真實性，期能在理論的基礎上，更能獲得實際經驗來驗證。

二、本研究聯防架構中各項代理人彼此間的訊息傳遞，並未考量資訊傳輸的安全性，造成各項聯防訊息可能被截取而喪失防禦先機。若能藉由整合加密技術、認證或簽章技術來提供一個更爲安全、嚴謹的作業環境，則是未來可行的研究議題。

三、安全監控中心除了蒐集聯防成員回傳的攻擊事件威脅值，針對攻擊事件發佈威脅值之外，亦可透過安全防禦知識庫，提供相關解決方案予成員參考，以形塑成爲更具智慧型的防禦監控系統。該知識系統發展與設計亦可成爲後續的研究議題。

四、針對連續攻擊樣本及隨機挑選數個攻擊樣本，以本研究提出之三種決策模式進行實驗，列爲本研究後續實驗課題，驗證其間計算所得「預測」結果的差異程度。

參考文獻

[1] IDC分析諮詢顧問公司，*IDC台灣第三季資訊安全設備（Security Appliance）追蹤報告*，2007，from http://www.idc.com.tw/report/News/Taiwan/news _Taiwan_ 061221.htm

[2] 地方政府資通安全服務中心，*地方政府資通安全服務計畫*，2007，http://www.sss.org. tw/

[3] 行政院研考會，*建置安全的資訊通信環境計畫*，2004，form http://www.rdec.gov.tw/np.asp?ctNode=8536&mp=22。

[4] 朱韻璇，*日內策略交易與人爲交易型態對國內股票型基金報酬率之差異分析*，2005，銘傳大學財務金融研究所碩士論文。

[5] 辛文義，*一個以警報爲基礎的聯合防禦系統*，2004，交通大學電機資訊學院碩士論文。

[6] 林俊良，*應用馬可夫決策過程探討當機機台最佳修復策略*，2003，雲林科技大學工業工程與管理研究所碩士論文。

[7] 陳坤茂，*作業研究*，台北：華泰文化股份有限公司，1998。

[8] 張瀞文，*322 事件看台股期貨市場之流動性風險與系統性風險及短期投資折扣率之估算--從 2004 年總統大選後*，，2004 政治大學金融研究所碩士論文。

[9] 許惠淑，*海運輻射陸網折扣係數之研究*，2001，交通大學運輸科技與管理學系碩士論文。

[10] 鄭真真，*UDIDT 下之多階段入侵偵測系統*，2002，東海大學資訊工程與科學研究所碩士論文。

[11] Boudaoud, K. and McCathieNevile, C.: “An Intelligent Agent-Based Model for Security Management,” *In Proceedings of the Seventh Internatival Symposium on Computers and Communications*, 2002: pp.877-882.

[12] Denardo, E. V., *Dynamic Programming*, Prentice Hall,Englewood Cliffs, NJ,1982.

[13] Ding, F.Y.: “A methodology for computation reduction for specially structured large scale Markov decision problems,” *European Journal of Operation Research*, (34), 1988: pp.105-112.

[14] Hegazy, I. M., Al-Arif, T., Fayed, Z.T. and Faheem, H. M., “A multi-agent based system for intrusion detection,” Potentials, *IEEE*, (22: 4), 2003: pp.28-31.

[15] Kuo M.H., “An intelligent agent-based collaborative information security framework,” *Expert Systems with Application*, (32), 2007: pp.585-598.

[16] Lam P.Y. and Chan C.B., “A Markov Decision Based Price Comparison Problem for Mobile Agent-based Internet Commerce System,” *(CEC'04)*, 2004: pp.34-41.

[17] Mariano Bosch and William Maloney, *Labor Market Dynamics in Developing Countries: Comparative Analysis using Continuous Time Markov Processes*, 2005.

[18] Puterman M. L., *Markov Decision Process:Discrete Stochastic Dynamic Programming*, Wiley, 1994.

[19] Samuelson, P.A., “A note on measurement of utility,” *The Review of Economic Studies*, (4), 1937: pp.155-161.

[20] Shi, C.S. and Su, C.T., “Integrated inventory model of returns-quantity discount contract,” *Journal of the Operational Research Society*, (55: 3), 2004: pp.240-246.

[21] Symantec Corporation, “Symantec Internet Security Threat Report : Trends for July-December 06,” (March: 6), 2007: pp. 9.

[22] The National Strategy to Secure Cyberspace, 2007, http://www.whitehouse.gov/pcipb/ .