

第五章 結論與建議

在本論文中，我們實作了能夠在虛擬都市環境中互動，相似於人類行為的虛擬代理人。論文的主要目的是規劃一個代理人在決策以及行為上的訓練平台，使用者可以藉由程式介面任意調整控制代理人的相關參數，使代理人在虛擬都市環境中呈現更真實的互動行為。代理人在使用者的操作或是本身自動化的隨機運行之下能夠在現存環境中獲得經驗，並依據所得的經驗來面對事件發生的可能。圖 5-1 為本文呈現代理人在環境中所發生的事件歸納表格，表格所列舉的事件為整體環境計畫中希望能夠達成的實際成果，事件的種類與數量未來並不限於此。

事件的規劃與結果是作為檢視決策流程之用，為確保代理人在環境中能正常發揮模組功效；模組的適用對象並不限於文中設定的環境變數，相同屬性的物件都可以套用並發揮功能。由於代理人能夠在環境中以既定的法則自動觸發事件並存取經驗，使用者可以觀察量身訂做的代理人在環境中會有什麼樣的互動結果，所得的數值可做為未來系統規劃的參考。

相關於都市模擬的研究大多因為硬體效能限制關係而簡化行人行為複雜度，儘管如此，以現階段的軟體與硬體水平距離即時模擬尚有一段距離，現存方法只能將結果朝向完全合理的概略值，而不是完整計算現實環境中所有的數值。系統即時運算效能也是我們考慮的要點，特別是當代理人在人群模擬中面對眾多與自己相同的腳色時，此時所需要的硬體資源花費是巨大可觀的。即時效能問題在短期之內會繼續存在，尤其是三維成像的互動部份，更不用討論複雜的內部決策過程，但我們相信隨著科技的快速發展，這些問題在未來將會有一個滿意的答覆。

Scenario	Description
• The reaction from obstacle	• Agent in principle would try to avoid obstacles in virtual environment.
• Gradient state in terrain	• Gradient state effects agent's moving speed and physical strength.
• Weather influence	• Weathers effect agent's physical and cognition mode.
• Emergent factors	• Emergency simulation causes agent arise their concentration to cope with.
• Building space	• Agent could navigate other space elements connect with virtual city.

圖 5-1: 詳細敘述代理人與環境之間所產生的互動情境

5.1 研究貢獻

行人模擬(pedestrian simulation)是包含在建築領域中都市模擬(city simulation)的一環，預先在電腦程式建造一個複雜精確的虛擬環境來作為我們在現實世界中特定目標或計畫的參考。目前所實際應用的範圍相當廣泛，在都市模擬、軍事模擬、消防演習、電影動畫...等等。由於各項模擬所提出的成果目的地都是針對虛擬人類來計畫，因此虛擬代理人如果在決策與行為等各方面能與真實人類相似，那麼模擬所得的參考價值就會越高。舉例來說，當虛擬代理人能夠與人類完全相像時，進行都市的大規模撤退模擬時就可以減少變數發生的機率，得到的模擬結果也具有較高的可信度。以軍事模擬來說，士兵利用擬真的模擬環境與市民來提前適應戰地環境事件的感受，使得士兵身處戰地時能快速進入狀況開始戰鬥，對於敵人的攻擊較能沉著反應。

在人群模擬中單一個體代理人代表著整體運作的基本單位，單一個體所能呈現的行為能力同時也代表著整體表現的真實與複雜度。代理人除了外在所呈現的生動肢體行為之外，內部決策過程更是外在行為的參考準則，可讓人信服的決策過程是被需要的。早期相關人群模擬研究中大多在探討如何發揮極致的即時系統效能，著重在個體決策與行為上的深度較少，近期的研究已經開始討論此項問題。本文提出適用於都市人群模擬的單一個體原型，作為未來多數代理人即時互動的基礎架構。代理人利用記憶機制動態建立事件的經驗，促進決策流程的深度與速度，並利用情緒模組評估方式來影響決策結果，使得代理人對於事件的反應不只是流於既定的法則，而是依據先前經驗評估總和發展出適應性的決策及行為結果。

情緒功能對於代理人來說不僅是行為上情緒化的表現，在決策選定的過程中也是一種有效的助力。除了使得代理人的決策結果能更貼近類似於人類，情緒功能也能影響或改善系統運行的效率；如何使得決策過程在特定環境中集中處理重要的函式而去除其他不必要的雜訊，或是依據經驗累積的程度來衝擊既定的決策架構，使決策結果具有更多的彈性空間。當代理人遭遇到未知的問題時情緒功能也提供了錯容性的運作方式，情緒模組會嘗試連結其他功能模組產生合作的機會來試圖解決問題，或是紀錄產生錯誤的資訊並加到累進制的記錄檔，作為未來可能的學習經驗。

在相關設計規劃方面，具有高度決策與情緒能力的代理人將是智慧型系統的一大助力。幫助人類減低或解決在規劃思考方面所需花費的時間，部分的工作將經由指定的方式使代理人自動完成，使得我們有更充裕的時間讓工作目標達到更高的標準層次。舉例來說，在一塊有限的區域規劃住宅等居住空間，利用具有高度決策能力的代理人快速列舉出土地可能的規劃分割方式，提供設計師參考來提升其他方面如空間規劃等時間。

5.2 後續研究

由於我們的模擬是架構在虛擬環境上，現階段成果尚有許多提昇真實度內容的空間。代理人將不僅只在有限區域中接觸少數特定的物件，更精緻的物件模型能夠被操作或影響代理人本身、更深更廣的決策過程強化代理人或群體規模真實度、更加詳盡精確的地理環境資訊提高數據成果的可靠性...等等。當然，隨著虛擬環境中條件或物件的增加，代理人所要面對的情節劇本將更加多元複雜。在都市模擬部份，模擬的範圍只限於都市平面圖的局部街廓，並且無法變更顯示平面圖的大小與細部規劃；未來動態即時都市平面圖可望帶來更多的應用可能，代理人也能動態地影響虛擬環境，例如當代理人將場景中的障礙物搬離之後，平面圖上的障礙物位置也能動態地改變。二維的平面圖甚至是可轉化為三維空間的顯示狀態，屆時使用者就可能在單一視窗下進行所有互動，以較直覺式的三維環境觀察代理人的互動行為。雖然本文有將部份三維場景實作出來，使用者可藉由代理人的視線角度瀏覽室內空間，但整體互動性仍嫌不足、有限的場景移動範圍、無法以第三人稱的角度觀察場景與代理人互動、以及場景中的單元尚未物件化使代理人無法改變現有的場景。

由於時間上的限制，代理人於自主性的行為方面是採取隨機在地圖上行走，當行走過程中遇到障礙物時立即轉向。雖然以此種方法可以使得代理人以自動化的過程取得經驗與結果，然而更合理與智慧的路線行走判別是被需要的。行走路線的產生如果可以更貼近真實人類行為，模擬所得的數據應會更有參考價值。先前一些回顧的文獻中已經有許多研究在探討這方面的問題，如何使得代理人所行走的路線軌道更加自然及聰明，或者是探討多人路線時如何協調眾多的決策判別、帶領群眾路線條件及隊形...等等。

多數代理人於場景中同時互動是未來可以實作與討論的方向，複雜的多角關係將使得系統架構面臨更多的研究細節。研究包括代理人除了完成自身的工作之外，如何與週遭同類型個體達成協調的決策關係；當眾多代理人需要對當前的事件作出判斷時，每個代理人的意見是否相同，如何去整合不同的意見；當場景發生事件時，事件的傳遞範圍如何去發生，經由個體與個體之間的訊息傳遞結果與速度是否會相同；由於群體的合作互動牽涉到多個研究領域，這將使代理人的合作關係更加複雜化。多人互動場景也必須考慮到硬體效能的問題，硬體效能也牽涉到個體之間碰撞範圍的精密度，尤其在三維環境所組成的架構下資源消耗甚多，代理人之間行為互動的自然與否是與電腦的計算能力成正比，其中三維模型複雜度也是影響的原因之一。

代理人決策模組的真實度尚可繼續提升，其中情緒模組還有許多可以添加的功能，在模擬程式實作過程中情緒模組對於決策流程的錯容性尚未驗證，目前此項特質只停留於理論階段，整合進本文實作程式部份將是後續的課題。記憶模組除了可以添加動態配置的存取範圍與深度，直接將記憶建構在網際網路空間存取也是可能的方向，藉以提昇資料負載量以及資料庫的複雜度，使得部分的系統架構於更新及維護上更具彈性；雖然記憶模組在模擬程式中會依照資料的衰敗時間而動態刪除，此項規則在記憶體有限而物件複雜的環境中將發生問題，因舊有的資料停留時間未到達而新進資料不斷建立之下會造成記憶體滿溢(memory leak)；如何設計記憶體的監督規則而保持空間平衡也是改進的議題。而在學習模組方面，我們現階段所採用的實作方法是簡易的回饋學習，代理人能夠從錯誤的經驗中記取教訓並改善行為，然而實際上回饋學習所能達到的效益不僅於此；在未來研究中可以改進的學習細節很多，包括當錯誤發生時如何去定義或搜尋事件的起源(應用於複雜的環境)、如何處理正面與負面的回饋信號(本實作中只有處理負面的回饋)、探索與開發回饋信號之間如何作出最有利的決策、如何避免決策進入進退兩難的窘境...等等。

我們的目的是在於使行人模擬結果能夠更貼近實際環境的運作方式，提高行人在虛擬環境中決策與外部行為的真實度，但模擬結果距離真實人類行為還有段不小的差距。在決策過程設計上雖然提供使用者介面來修改代理人參數的可能，但在模組中參數設定的客觀性尚嫌不足，大量的使用者行為觀察與統計是可能的提升方向，以及在模擬過程中規劃數個對於特定目標的數值測試，使得相關議題能得到確切的驗證。

