

在虛擬環境中模擬行走之認知學習過程

Simulation of the Cognition Process of Navigation in Virtual Environment

劉治宏

國立政治大學資訊科學系

94703029@nccu.edu.tw

李蔡彥

國立政治大學資訊科學系

li@nccu.edu.tw

摘要—人群模擬技術在電腦動畫及虛擬環境的研究及應用中已有相當的基礎。對於由電腦控制的數位演員在虛擬環境中運動，過去的研究多以幾何推理或虛擬力驅使的方式計算，較少能模擬運動過程中的認知學習過程。本研究嘗試建立個體對環境的認知學習過程的計算模型，模擬各種不同理解能力及行動能力的數位演員在公共場所（如車站）中的運動方式。數位演員在不熟悉的環境下，會利用環境中地標和指標來達到運動至目標地的目的。而此認知學習的結果將轉換成認知地圖，幫助該數位演員下一次經過同一區域時運動規劃的參考。我們以實驗方式瞭解一般人在虛擬環境中行走時的行為，進而設計一個能以認知地圖為基礎自動行走的動畫角色，說明本系統所設計的認知地圖模型，能產生符合一般人預期在公共空間中的行走行為。在我們的初始成果中，數位演員能夠根據環境中的指標，前往其目的地並建立認知地圖供日後使用。

關鍵詞— 虛擬環境、認知地圖、行人模擬、虛擬生命、智慧型角色

一、研究動機與研究問題

電腦動畫所產出的數位內容已廣泛地應用於日常生活中，在商業上的應用包含遊戲、電視、電影等視聽娛樂；而在軍事、工業以及醫學等各項領域，更能藉由電腦動畫的模擬，有效地模擬真實世界中不易重現的事物。

在諸多電腦動畫的研究議題裡，群體模擬（Crowd Simulation）方面的研究已累積了多年的研究成果，且在近年來廣泛應用在許多電影的製作裡。群體模擬是一種人群結群、互動的過程[2]。如圖一所示，W. Shao 和 D. Terzopoulos 在 2005 年提出的行人模擬[10]已能為紐約火車站的虛擬環境設計出一個極為擬真的旅客行為模擬。但是以往在虛擬環境中之人群模擬，都是假設這些數位演員充分了解虛擬環境之幾何資訊



圖一、W. Shao 和 D. Terzopoulos 之車站行人模擬[10]

（如環境中障礙物之位置、環境中特定地點的位置等），再以區域規則的方式選取行進方向或對整體環境(Global)直接進行路徑規劃(Motion Planning)後，進而產生人群模擬的結果。

有別於上述文獻中的研究，我們的研究假設數位演員不完全知道環境之整體資訊，而必須靠親自體驗來自我學習，以模擬行人（數位演員）對環境的認知學習過程。不同的個體在未知的環境中，藉由與環境中的人和物的互動，讓該個體能夠透過協助到達所欲前往的目的地。與人互動的行為，可以包含問路、跟隨人群而移動等；而關於與物的互動行為，則包含環境中的指示、特別的標記物等。在認知學習的過程當中，數位演員逐漸以自己的經驗取代對於環境中人與物的依賴。

舉例來說，一個人在第一次搭火車來到台北車站，他想要轉乘捷運，卻毫無頭緒時。他可能會先去觀察周遭，是否有相關的指示；另外一種可能是，他會嘗試去向周遭的人詢問。以上兩種

方法都可從環境中獲得所需之資訊，而這個過程是可以重複發生。到了目的地以後，人會嘗試把結果記憶下來，以便下次參考。然而隨著人的差異，如：方向感、記憶力等等，這些因素都會影響人的決策。所以有的人可能下次即可很順利的自行前往轉乘捷運，有的人只依稀記得大致的地點，有的人甚至還是全然不知該如何前往。

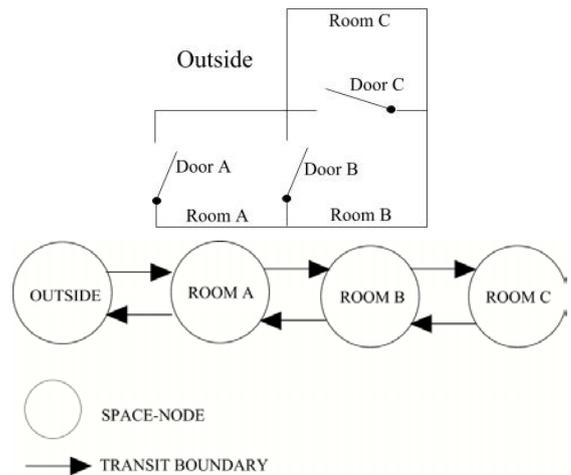
我們以台北車站做為本研究模擬的場景。台北車站是一個人潮集中且內部動線複雜的地方。該車站是一棟地上六層、地下三層的建築，其中一樓東南西北側各設有三個出口，地下一樓可以連通到台北地下街、誠品地下街、站前地下街與新世界購物中心等；地上二樓則是剛開幕的微風美食街。除了眾多商圈外，台北車站更是三鐵共構之車站。故對於第一次來訪的人而言，要能正確快速前往該車站的任何一處，都不是件容易的事情。因此特別以台北車站為選定的虛擬環境，在此虛擬環境中模擬人群對環境的認知。

二、文獻回顧及探討

在過去文獻的研究結果中，[7]的作者已經能做出數位演員在多層複雜之 3D 虛擬環境中的自主行走。此研究所採用的方法是將 3D 的高度投影在多個 2D 平面上，以減少了 3D 空間中路徑規劃的複雜度，在根據各個平面上及平面間的幾何分析，為數位演員規劃行走的路徑。

Shao 和 Terzopoulos 在[10]中，已做出了逼真的行人模擬。該篇論文提供了數位演員之間的人群互動模型，及與虛擬環境互動的模型。另外，Funge 等人在[5]的論文中，也提出了認知模型(Cognitive Modeling)在 Computer Graphics 模擬階層上的重要性，並以一些實例說明人工智慧如何提高動畫的擬真性，達到即時互動的目的，但這些例子多僅考慮兩個個體之間的互動，且未能模擬個體對環境認知學習的過程。

Ruddle 在[9]中提到，每一次的尋路行為，都會在環境中留下軌跡，並以實驗說明過多的軌跡會降低尋路的效率。在[6]中，作者將環境切成許多格點，每個格點上都有一個方向向量；每當數位演員經過時，數位演員行進的方向向量也



圖二、環境轉換成空間結構圖[8]

會對環境的向量做出影響。

三、尋路行為實驗

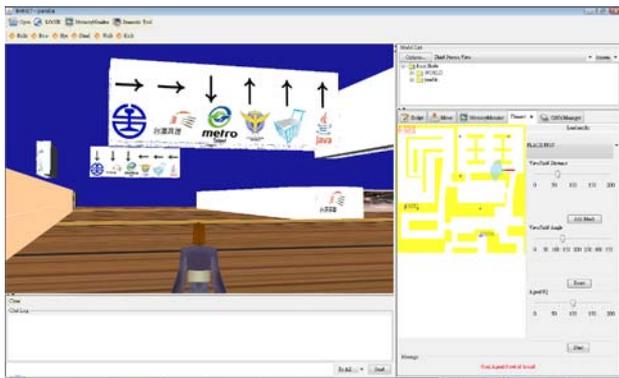
(一)、問題定義

我們從日常生活中經驗觀察得知，環境中的指標和地標影響人的尋路行為甚遠。以室內環境來說，指標的重要性又大於地標。因此，我們設計了兩個簡單的實驗來觀察指標和地標對人的影響。隨著經驗的累積，人們會能逐漸依賴自我之認知地圖，來完成尋路的行為。

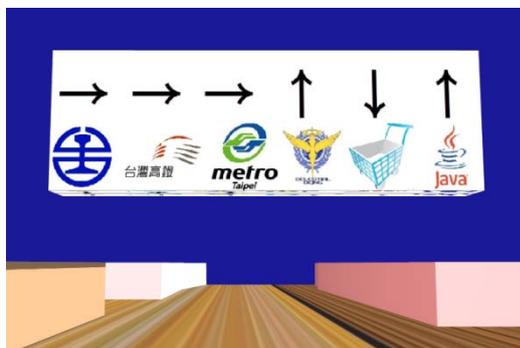
空間上的認知地圖[4]是指體內一種對環境觀察並隨著時間成長的資訊，而這種資訊是沒有辦法像環境一樣可以直接用幾何的方法量測。在[8]提出了一種實作認知地圖的方法，並且提供了一些存取此地圖的方法，將認知地圖公開化以便輔助使用者在虛擬環境中瀏覽。

[8]的方法是將整個環境依照功能分成不同的空間節點，不同的空間節點之間以單一方向之轉移邊界相連，如此整個環境就形成了一個空間結構圖（如圖二所示）。

而轉移邊界又可分為移入轉移邊界及移出轉移邊界；而這些邊界是自動產生並記錄在空間節點內的。也就是說，每當從一個空間節點 A 經過轉移邊界 B 到空間節點 C，空間節點 A 會自動記錄 B 是他的移出轉移邊界，而空間節點 C 會記錄 B 是他的移入轉移邊界。



圖三、實驗環境的介面，可以看到左方的 3D 虛擬環境與右方的平面圖。(在實驗時平面圖不會顯示)

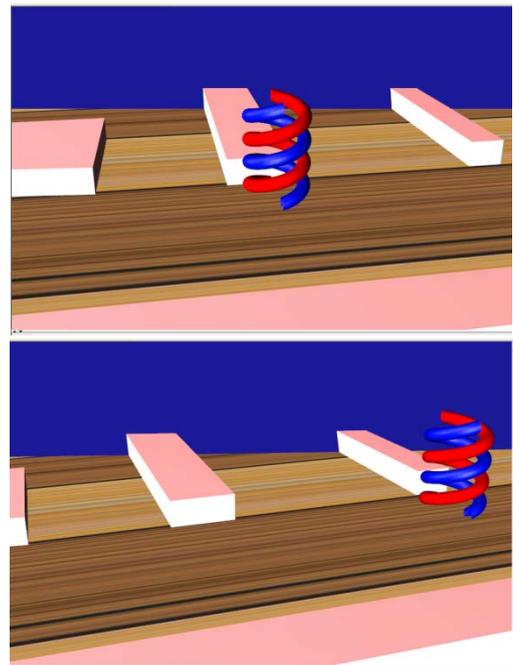


圖四、實驗環境中指標的範例，每個地點上方的箭頭代表在該路口，前往該地點所需遵循之方向

此外，他提供使用者隨時可對環境中感興趣之景點，進行快照的功能，並將其存入該景點所在之空間節點中。如此，隨著使用者探索環境的程度越高，他的認知地圖就會越顯完整。然而，每個人的個人特質不同，在建立認知地圖時，能夠取得的資訊也不盡相同，所得的結果差異會更加明顯。這也就是為什麼有些人到陌生的地方，很快就可以掌握住方向；有些人始終無法辨認出自己所在何方。一旦完成一次尋路以後，人會把這次所得到的認知地圖放進腦海中，以便下次參考。

(二)、系統實作

本實驗是在本實驗室開發的 IMNET 系統下進行。IMNET 是一個包含伺服器端與客服端多



圖五、實驗環境中地標的錯置，將地標放在不同的路口，希望能觀察受試者是否因此走向不同路口，來觀察地標對人的影響。

人登入之虛擬環境系統。此系統包含了本實驗室自行開發的 3D 瀏覽器 IM-Browser、支援 OSGI Framework 功能、具彈性使用者介面修改和易擴充 Plug-in 的特點[3]。為了配合實驗的需求，我們實作了支援鍵盤輸入的 Plug-in 和顯示 3D 虛擬環境之 2D 對應位置的 UI 模組。使用鍵盤操作和近全螢幕的 3D 虛擬環境提供了受試者接近市售一人稱射擊遊戲的操作介面，盡可能減低受試者不習慣實驗介面的因素。而該 UI 模組本身還包含 2D 路徑規畫之功能，也就是給定起點和終點，此模組能規畫出一條路徑，而規劃的結果亦可與實驗結果之路徑進行比對。我們實驗環境的平面圖如圖三所示。

(三)、先導實驗設計

為了瞭解一般行人在尋路過程中的行為及認知地圖的影響，我們設計了以下兩個實驗，讓受試者在虛擬環境中進行尋路，並觀察他們的行為特徵。

● 實驗一

給定兩條路徑 A 和 B，分別各走五次。路徑

表一、受試者尋路行為所花之時間(單位:秒)

路徑 次數	路徑 A					路徑 B					路徑 B'				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
受試者 1	115	68	41	43	40	177	58	57	59	57	58	59	57	59	58
受試者 2	93	43	44	40	40	150	118	58	57	64	85	58	57	54	54
受試者 3	110	105	92	45	43	180	126	57	58	56	57	59	56	58	58
受試者 4	112	43	42	44	40	164	60	58	60	57	59	60	58	60	58
受試者 5	116	47	44	45	44	93	65	62	57	58	58	57	58	58	57
平均	109	61	53	43	41	153	85	58	58	58	63	59	57	58	57

A 的環境包含了指標（如圖四）和地標的資訊，而路徑 B 只包含了地標。我們每隔固定時間記錄受試者在虛擬環境中的幾何位置（座標和視角方向）和其視野仰角（觀察受試者有無抬頭觀看指標）。

我們比較同一個人在路徑 A 和 B 第一次尋路行為的時間長短，以瞭解路標對人的影響。因為對同一個體來說，認路的本領是一樣的，所以比較不會有個體之間的偏差。我們預測在路徑 A 所花的時間會比在路徑 B 的少，而隨著同一路徑行走次數增加，最後所花的時間會逐漸相同，因為認知地圖已經建立了。

而不同的受試者也可以觀察同樣在第一次尋路行為中所花的時間，以及不同的受試者約需花多少次的尋路，方能建立他的認知模型。因為在虛擬環境中，人物的移動速度是固定的，不會因為生理上的不同而有不一樣的結果，如果人能憑著自己的認知地圖去尋路，那麼在虛擬環境中所花的時間也應該接近。

● 實驗二

延續實驗一的內容，我們新增一條路徑 B'，其起點與終點皆與路徑 B 相同，唯一的差異是，路徑 B' 的部分地標是錯置的（如圖四所示）。我們希望能藉此觀察是否因為地標位置的改變，而使受試者偏離正確的路徑。

(四)、實驗結果

本實驗由五名政治大學資訊科學系的學生參與，使用鍵盤和滑鼠做為虛擬環境中移動之工

具，並以解析度為 1440x990 的螢幕呈現虛擬環境。

表一是我們兩個實驗所得到的數據。在實驗一環境有提供指標的情況下，我們的受試者都能順利找到指定的目的地。從表一中路徑 A 行走所費秒數之數據可以看出，多數的受試者在陌生環境中經過一次參考指標之尋路行為後，在往後四次的尋路行為都可以依賴自我認知前進到目的地。當認知地圖建立前，因需參考環境中指標資訊，所費行走時間約為 109 秒，但在認知地圖建立後，所費時間約為 41 秒。

我們以在沒有指標資訊的路徑 B 中所花的時間做為對照，比較有無指標資訊的差別。所有的受試者在第一次之尋路行為皆為自由探索。因此除了受試者 5 一開始即猜對目的地的方向，其他受試者皆花了 150 秒以上的時間來尋找到目的地。受試者在第二次以後的尋路行為所花的時間皆明顯降低，隨著個人之感知不同，受試者在最後都能依靠自身之認知地圖行走到目的地。從路徑 B 中，隨著尋路行為次數增加，受試者最後所花時間都接近 60 秒，可以代表受試者依靠自我認知地圖來尋路。此外我們也發現，受試者對環境熟悉以後，許多十字路口，受試者會以平順的方法直接轉向。和對環境不熟時，在路口停下來參考指標後再決定前進方向有顯著的不同。

在路徑 A 和路徑 B 中，最後受試者所花時間相等之所以能代表受試者依靠自我認知地圖來尋路的原因是，在虛擬環境中，我們的角色移動的速度是一樣的，而不會有個體生理造成運動

速度的差異。在同樣一條的路徑上，若所花之時間越短，則代表他越少依賴環境之資訊行走。

在實驗二中，路徑 B'與路徑 B 是相同的，唯有途中地標位置不同，因此受試者在路徑 B 中的學習效果，讓路徑 B'所花的時間都很相近。然而除了受試者 2 的第一次外，我們並沒有得到所有受試者會受地標影響，而無法走到其目的地的結果。我們推測可能是環境設計的關係，正確和錯誤路口的順序可能會影響人的認知。另一項可能是路口距離過近，有受試者表示，他的確是在注意地標，但是並沒有發現有兩個路口，所以並沒有被誘導。

四、認知模型設計及實驗

根據上述實驗的觀察結果，我們進一步設計虛擬數位演員在虛擬環境中行走的認知學習模型，並進行初步的實驗。在目前虛擬環境的設計中。我們暫時不考慮地標對數位演員的影響。

(一)、內部元件設計：

我們先就此模擬系統中所設計的內部元件，做進一步的說明系統運作的方式。

- **數位演員：**我們設計的數位演員，具有自己的屬性，如：方向感、混亂程度、視野範圍、移動速度、對環境的熟悉程度。這些屬性將會使其在尋路以及認知時的而有所差異。
- **指標：**指標設置的地點通常是在分歧的路上，尋路人在地圖上的指標都有包含了方向這個資訊，在這裡我們以角度來表示方向，也就是說指標代表在這個分歧點，欲前往特定目的地需要轉往的絕對方向。
- **認知地圖：**我們參考[6]所提出的認知地圖，建立以台北車站地下一樓為藍本的環境，並依照各區域之性質將環境切割成不同的空間，代表一個空間結點，並將各空間結點依照環境連接起來。我們以一個 $N*N$ 的二維陣列 CM 來表示數位演員的認知地圖 (N 為空間單元的個數)， $CM[i][j]$ 的值代表在 i 空間中，從 i 空間到 j 空間所需經過的連接點的編號。如前所述指標只會出現在分歧的路

Input：起點 S 和目的地 G 所在的空間結點

Output：產生的路徑

Navigation(S, G){

 O is the path found by agent.

 while S != G{

 if there exist a path from S to G

 P := traverse CM to find the the vertex and edges from S to G

 append P to O

 else if S 的連接點>2

 Follow the Sign leads to G and walk until left S.

 else

 walk along S to the other exist

 N' := 離開 S 以後新到的區域

 E := 從 S 到 N' 所經過的 Edge

 CM[S][N'] = E

 S := N'

 append walk path to O

 }

 return O

}

圖六：認知模型下尋路行為模擬的演算法

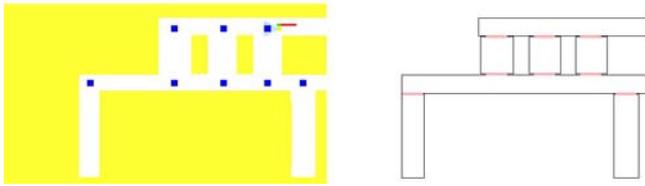
上，因此我們可以將切割的空間分成兩類：一類是只有兩個與其他空間的連接點，另一類則是大於兩個連接點的空間。

(二)、尋路行為模擬設計

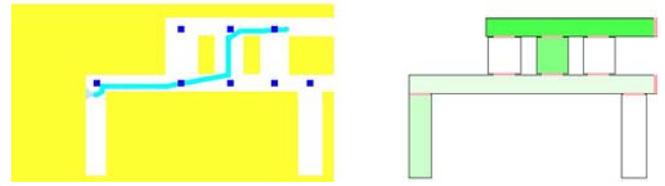
為了簡化問題，我們設定起點和終點為空間節點，而不去細分空間節點代表之空間的明確座標位置。有了以上這些資訊，我們可以設計認知模型及相對應的尋路行為演算法如圖六所示。

首先，我們假定數位演員一開始能看見他欲前往之目的地的指標來簡化問題，否則數位演員必須要啟動更複雜的資訊蒐集機制，才能找到適當的起始點。數位演員在環境中得知自己所在之空間結點與其欲前往之目的地之空間結點後，他會先在自己的認知地圖內搜尋自己是否有這一條路徑（目前所在位置到目的地這兩點為端點）的記錄。

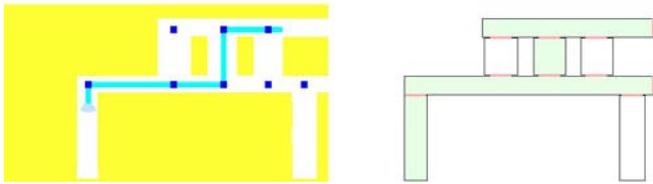
如果這兩點之間並沒有存在任何的認知地圖時，數位演員會判斷目前所在的空間結點中是否只有兩個連接點。如果超過兩個，則代表該空間結點有許多分歧，依照一開始的規定我們一定會看到如何前往目的地之指標，則數位演員會遵照著指標開始行走，並將每次的尋路的結果記錄到自己的認知地圖中。如果該空間恰好只有兩個



圖七、環境與指標（藍色方塊）和環境空間切割的示意圖，紅色圓圈代表起點，深藍色圓圈代表數位演員之目的地。



圖九、經由數位演員之認知地圖所產生之軌跡，右方可見綠色較深，代表數位演員對該區域更加熟悉。



圖八、經過藉由指標引導產生之軌跡，以及右半部部分區域的綠色深淺代表數位演員對該區域的熟悉程度。

連接點，則數位演員會直接前往不是入口方向的連結點。在此演算法中，數位演員走到某個空間節點發現從這個點到目的地存在認知地圖內時，他也會將前面這一部分的結果存回認知地圖內，而後面的尋路行為則與後面有認知地圖的方法一樣。

數位演員在進入一個空間節點或者是穿越一個連接點時，都會增加數位演員對該空間節點或者是連接點的熟悉程度。而數位演員在決策時，也可以藉由各個空間節點或連接點的熟悉程度，來決定是否參照其認知地圖中之資訊。若認知地圖內兩空間結點間有超過一條的路徑時，亦可參照熟悉程度來決定選擇對應的路徑來當成這次行走的依據，因為一般來說，我們會選擇最熟悉的路徑來行走。

（三）、實驗結果

在目前的實作中，我們是假設數位演員踏入一個空間結點時，就一定會記錄下對應的資訊到其認知地圖中。圖七左半部代表的是環境的平面圖以及數位演員的起始位置，右半部則是代表了該數位演員的認知地圖。一開始認知地圖全部都是白色，代表其對環境毫無認知。圖八則是顯示

了數位演員對環境毫無認知時，藉由藍色矩形代表的指標導引到其所欲前往之目的地。淺藍色代表的是他的移動軌跡，右半部部分區域呈現綠色則是代表他對環境的了解程度，越深的綠色代表越了解。圖九左半部則是代表數位演員對同一段路徑存有認知地圖時的移動軌跡，其軌跡跟圖八相比較為平順的原因是因為我們從認知地圖中擷取出來的各座標點以 NF1 的方法[1]規劃出各點之間的路徑。此乃根據先導實驗的結果，人對於熟悉的空間，可以快速的朝向目的地行走，而不需要依賴環境提供的資訊。

在未來的計畫中，我們考慮參考數位演員的一些生理資訊，如：方向感。來決定是否輕易的更新其認知地圖；或者進入一個空間結點時，數位演員都會根據自己的生理屬性或是對該節點的熟悉程度，影響其認知地圖中該節點回想的機率，藉此決定這一點需要參考路標還是依照自己的認知來行動。另外當數位演員在接近路標時，我們亦可以調整其移動速率來模擬觀看路標的效果。

五、結論及未來研究方向

在陌生環境中，指標提供人相當大的協助；而地標則幫助人更加了解環境，並讓人驗證自己的尋路行為。在本研究中，我們首先設計了先導實驗來取得路標和地標與人在尋路行為上的關係。接下來，我們設計了一個認知模型，藉由擴展累積認知地圖的資訊，來模擬行人的尋路學習行為。數位演員從原本依賴虛擬環境中之資訊來運動，並在運動過程中逐漸累積、更新自身認知地圖的資訊，因此每次行走對數位演員都是一種學習。最後，認知地圖的資訊會越來越完整，數

位演員將逐漸轉往依賴自身之認知地圖來運動，進而模擬人在陌生環境中的認知學習過程模擬。

我們實作出的結果相當初步，還有許多行為模擬沒有加入，例如：虛擬演員查看路標的動作、遵照路標轉彎時路徑皆為直接轉向，並沒有像真人一樣平滑的轉向。未來我們希望能加上前述機率的元素讓模擬產生的結果更加擬真，找出地標與認知地圖的關係也是目標之一。另外，我們也希望能將時間加入到模型中。一般來說，在尋路行為中，若是沿途出現的景物能夠與腦中的認知地圖吻合，則人就不會慌張。倘若到目的地所花的時間比預期的還多，人就會開始懷疑自己是否走錯路，進而出現一些慌張的現象。將目前單人環境延伸至多人，探討人與人互動與認知模型的關係。在環境無法提供資訊的情況下，能夠提供資訊的就只有其他行人了，因此人的影響與認知模型也是息息相關的。

致謝

此研究在國科會 NSC 97-2815-C-004-007-E 及 NSC 97-2221-E-004-010-計畫的支助下完成，特此致謝。

參考文獻

- [1] J. Barraquand, B. Langlois, J.-C. Latombe, "Numerical Potential Field Techniques for Robot Path Planning," *IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics*, Vol. 22, No. 2, March, 1992.
- [2] D. Chao and T.Y. Li, "A Crowd Simulation Framework with Communication Mechanism and Customized Events," in *Proc. of 2007 Computer Graphics Workshop*, Kaohsiung, 2007.10.
- [3] Y.L. Chu., T.Y. Li, and C.C. Chen, "Realizing Customizable Animations in a Multi-user Virtual Environment using OSGi Framework," *Proc. of National Computer Symposium*, 2007.
- [4] R.M. Downs, and D. Stea, *Maps in Minds. Reflections on Cognitive Mapping*. Harper and Row, New York, 1977.
- [5] J. Funge, X. Tu, D. Terzopoulos, "Cognitive Modeling: Knowledge, reasoning and planning for intelligent characters," in *Proc. ACM SIGGRAPH 99 Conference*, Los Angeles, CA, August, 1999, in *Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series*, pp.29-38, 1999.
- [6] R. Jansen, N. Sturtevant, "A New Approach to Cooperative Pathfinding" in *Proc. of the 7th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent systems*, Volume 3.
- [7] T.Y. Li, and P.Z. Huang, "Planning Versatile Motions for Humanoid in a Complex Environment," in *Humanoid Robot*, edited by M. Hackel, *Advanced Robotic Systems*, Vienna, Austria, 2007.
- [8] R. Ramloll and D. Mowat, "Wayfinding in Virtual Environments Using an Interactive Spatial Cognitive Map," in *Proc. of the Fifth International Conference on Information Visualization*, 2001.
- [9] R.A. Ruddle, "The Effect of Trails on First-time and Subsequent Navigation in a Virtual Environment," in *Proc. of the 2005 IEEE Conference 2005 on Virtual Reality*, pp.115 - 122, 321.
- [10] W. Shao, D. Terzopoulos, "Autonomous Pedestrians," in *Proc. SIGGRAPH/EG Symposium on Computer Animation (SCA'05)*, Los Angeles, CA, pp.19-28, July, 2005.