

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

智慧型 3D 瀏覽介面中即時運動計畫演算法的設計(1/2)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2213-E-004-006-

執行期間：94 年 08 月 01 日至 95 年 07 月 31 日

執行單位：國立政治大學資訊科學系

計畫主持人：李蔡彥

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 5 月 27 日

行政院國家科學委員會 專題研究計畫期中進度報告

智慧型3D瀏覽介面中即時運動計畫演算法的設計(1/2)

Designing Real-Time Motion Planning Algorithms for Intelligent 3D Navigation Interface

計畫編號：94-2213-E-004-006

報告期限：94年8月1日至95年7月31日

主持人：李蔡彥 Email: li@nccu.edu.tw

執行機構及單位名稱：國立政治大學資訊科學系

中英文摘要

(一)、中文摘要

應用於3D線上遊戲的即時3D動畫及虛擬實境技術是數位內容技術亟待突破的一環。這類技術的主要挑戰來自於擬真度與操控性往往無法兩全的困境。隨著電腦硬體計算速度的快速提升，圖像繪製的速度已有長足的進步，但在即時動畫產生與操控介面的技術上，卻仍有許多改進的空間。根據我們過去的研究成果及文獻記載，智慧型3D瀏覽介面的設計，確能提升使用者操控3D場景的效能。因此，我們提議以兩年的時間，以運動計畫演算法為核心技術，建立一套智慧型的3D瀏覽介面，將電腦的部分計算能力運用於輔助人機介面的控制及即時動畫的產生上。第一年的研究裡，我們以第一人稱的視點運動為主要目標，重點將放在如何在平面場景中產生可動態調適的操控輔助介面，並提升由電腦所產生輔助路徑的品質。此初步研究成果已達到計畫原定目標，並正將成果整理成論文，於各國際研討會中發表。

(二)、英文摘要

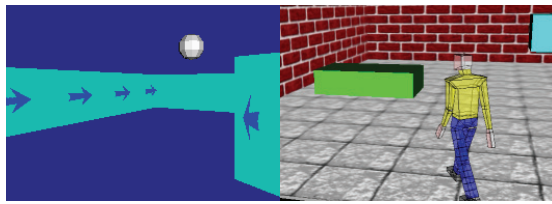
3D animation and virtual reality technologies for the application of 3D on-line games are among those key digital content technologies that urgently need breakthrough. The main challenge lies on the tradeoff between realism and controllability. As computation power increases rapidly in recent years, graphics rendering performance has been greatly improved. However, the technologies for real-time animation generation and intelligent control interface still have much room for improvement. According to our previous work and the lit-

erature, by using an intelligent 3D navigation interface, one can greatly improve the navigation efficiency in a 3D scene. Therefore, we propose to use two years to design an intelligent 3D navigation interface based on motion-planning algorithms and use some portion of computation power to assist navigation control and generate real-time human animation. In the first year, the target will be the first-person viewpoint motion. The focus will be on how to design an adaptive intelligent navigation interface and improve the quality of generated viewpoint path in a planar scene. We have achieved the goals of the proposal in the past ten months and are in the process of preparing the experimental result for publications in international conferences and journals.

一、緣由與目的

近年來，發展快速的電腦3D圖學技術，除了代表電腦硬體技術日新月異之外，也意味使用者對電腦3D應用的需求與期望。互動式虛擬環境就是其中一種被廣泛應用的3D圖學技術。虛擬實境是由電腦模擬出來的互動式三度空間，讓使用者能夠化身為虛擬人物，進入其中體驗擬真的虛擬世界，與世界中的事物產生互動。近年來較為普及的是在個人電腦上便能執行的非沉浸式(non-immersive)虛擬環境，只需透過一般的電腦螢幕視窗加上滑鼠鍵盤等輸入裝置，即可進入虛擬世界中。

通常我們稱使用者在虛擬環境中所操控的虛擬人物為「化身」(avatar)。常見的化身型態分為第一人稱與第三人稱兩種類型，如圖一。在第一人稱化身的設計上，使用者操控的是化身視點



(a) 第一人稱視點 (b) 第三人稱視點

圖一、兩種不同的化身控制方式

(viewpoint)，隨著視點的移動，所呈現出來的畫面就如同真的在虛擬環境中移動一般，不過無法看見化身本身的模型。對於第三人稱的化身，操作的則是人形化身的模型(humanoid model)。在操控過程中，除了場景的變化之外，也能夠看見化身的模型。在不同的應用中，對化身種類的選用會有不同的偏好，例如在一般全球資訊網中的虛擬環境系統，絕大多數是使用第一人稱類型的化身，因為目的是提供簡單的場景瀏覽(walkthrough)，只要能夠順利的瀏覽就行了。但是當化身本身的運動對虛擬環境的使用者具有意義時，就需要使用第三人稱的化身，像是3D遊戲或是虛擬工作訓練這類型的應用。本年度的研究是以第一人稱化身的智慧型控制為主。

在過去文獻中，有一些研究使用了「運動計畫」的方式協助使用者在虛擬環境中進行瀏覽[7][1][2][6]，其中[7][1]這兩個研究，是替使用者產生了整體導覽的路徑，讓使用者直接順著這些路徑進行瀏覽；[2]與[6]則是由使用者自由的在虛擬場景中瀏覽，當視角卡住時，才啟動路徑規劃協助使用者脫困。特別是[6]在這個研究中，使用一種更有效率的漸進式街圖法的運動計畫法則[4]，更適合互動式虛擬環境中即時應用的條件。[8][3]則是提出使用「虛擬力場」來協助使用者在虛擬環境中瀏覽。力場的概念是在障礙物周圍部署排斥力，當化身靠近障礙物時將他推開，減少碰撞到障礙物的機會。這些研究也都被證實能夠提升使用者在虛擬場景中瀏覽的效率。

我們發現，目前這些研究所提的方法，都尚未將適性化的因素考慮進去。事實上，空間理解能力的強弱、對控制介面的熟悉程度、一些個人的偏好、不同的場景，都有可能影響到使用者在虛擬環境中操控的行為。特別在我們檢視了[3]這個研究中力場的運作方式後，發現力場在使用的時候，會受許多參數所影響，這些參數多半是經驗化所得來的，而且在不同場景中也不盡相同。如果參數設定不當，整個輔助的操控機制反而會適得其反。因此我們選擇了[3]這個研究作為

基礎，探討適性化的虛擬力場是否能夠為使用者帶來更適當的協助。另外，在[6]這篇文獻中，由於該研究所設計的運動計畫器在效能上表現不錯，對變動的場景也有適應能力，所以也被應用到智慧型的化身控制介面上。不過該計畫器由於先天的限制，有時候替使用者產生的路徑有繞遠路的情況。我們利用虛擬鏈結的概念，強化街圖內部連結性，盡量產生出最短路徑，減少繞路的情況發生，使這個機制更臻完美。

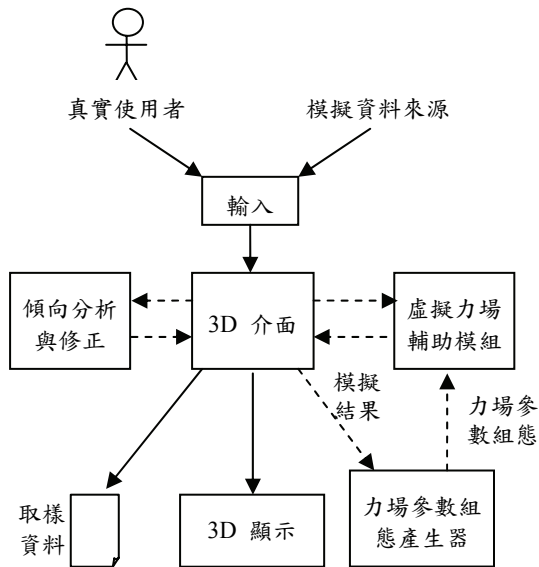
二、研究方法：

本研究的目標在過去研究的基礎之上，改進第一人稱智慧型人機介面的控制。此智慧型控制介面的運作方式包含以虛擬力場[3]及運動計畫的方式[4]輔助使用者在虛擬環境中控制室點的運動。以下我們謹就此兩類作法，提出我們的改進方式。

(一)、**虛擬力場的問題描述**：虛擬力場是由虛擬空間中的物體邊緣產生排斥力所形成的一種人工位能場。根據場景資料建立力場後，由瀏覽器讀入使用者對滑鼠的操作，瀏覽器會根據這個操作預定一個目標點，由使用者的操作行為與目前位置決定力場的影響，再依照影響力改變原本的目標點；使用者在下一個時間就會往這個新的目標移動。

在[3]中指出，虛擬力場施予使用者推力的大小，可以透過 (l, k, m, n) 四個固定的參數(稱為一組參數組態)調整。但是在實驗中發現，這些參數的效果和場景的變換及使用者的特性都有關係，並沒有一個絕對的標準。即使要找到一組適合大部分使用者的參數，也只能靠大量的實驗累積，從經驗中求得，但還是沒有辦法滿足全部的使用者。因此，我們將問題定義為，對使用者 U 在場景 S 中，找出一組最合適的力場參數組態 (l, k, m, n) ，使得使用者 U 能夠以最快的速度完成所交代的移動任務。我們設計了兩套不同的機制：「模擬實驗」及「動態調整」，分別為離線及線上兩種模式。

(二)、**以「模擬實驗」搜尋最佳化虛擬力場參數**：我們將使用者的瀏覽行為取樣；透過取樣資料，在離線狀態下(off-line)，利用程式模擬使用者在不同參數組態下的瀏覽情況，並找出到達終點所走步數最少的那組最佳參數組態，做為該位使用者下次進入此虛擬場景的力場參數組態。一次模擬實驗中我們只使用一組固定的力場參數

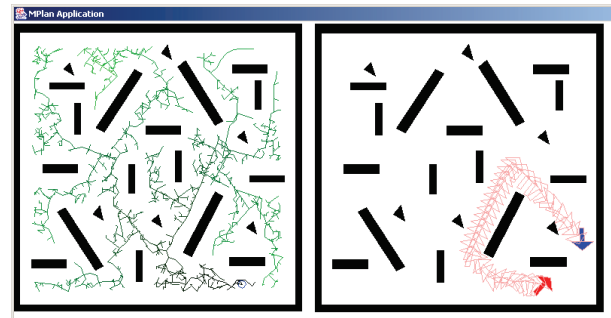


圖二、適性化力場輔助操控系統架構

組態；而在一次模擬實驗過程裡，我們將取樣資料中的每一筆操控紀錄循序輸入3D介面中，系統會先作傾向分析與修正，再經過虛擬力場輔助後，才會改變下一個視點的座標並更新3D顯示畫面。在設定範圍內全部的力場參數組態都測試完之後，所有模擬結果中表現最好的組態即是該使用者在此場景下最佳的力場參數組態。

(三)、以「動態調整」搜尋最佳化虛擬力場參數：使用者不需要先取樣後再離線分析，系統會在瀏覽的過程中根據使用者的反應直接調整力場參數組態。這個方法在實做上是採用類似模擬實驗的方法，不過取樣和模擬的範圍縮小，以達到即時的模擬及調整。輔助的虛擬力場會持續的根據使用者在虛擬環境中的操控行為，即時擷取一小段歷史資料，並且在互動介面一個迴圈的時限內，對這些片段取樣的資料作模擬實驗，找出最佳的參數組態，並透過力場參數組態產生器，將此組態在下一個迴圈提供給虛擬力場模組使用。

(四)、使用「虛擬鏈結」的概念改善RRF演算法繞遠路的問題：RRF是一種利用RRT與RRT-Connect演算法所改良的漸進式隨機街圖演算法[4][6]。此路徑計畫演算法在[6]中用來輔助使用者在操控第一人稱視點時，能順利避開障礙物。雖然RRT有快速拓展的優點，但是由於其樹狀結構及隨機生長的特性，使得它在運動路徑規劃的應用上，有一些先天上的限制。在RRT-Connect演算法中，當起始組態與目標組態



圖三、RRF繞遠路的情況。左邊為街圖投影，右邊為路徑，紅色箭頭為起始組態，藍色為目標組態。由於街圖中RRT生長情況，使得繞遠路的情況發生。

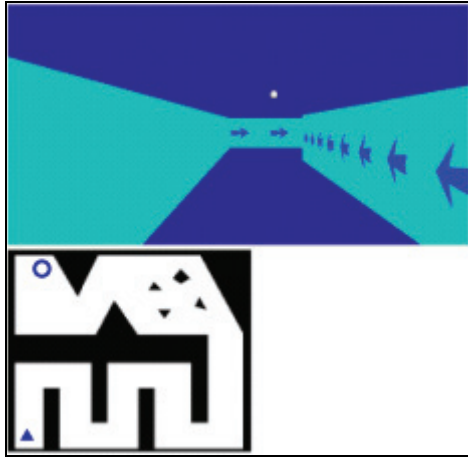
連結成同一棵RRT之後，所能取得的路徑與這兩顆RRT生長的過程與連結發生的地點有很大的關係。這使得我們只能夠保證能找出一條路徑，但不一定是最短路徑。RRF是由RRTs組成的，加上在查詢過程中，讓新的RRT與嘗試連上已經存在的RRTs，因此RRT的形狀會一直改變。當我們把這種由RRTs所構成的街圖拿來重用時，發現繞遠路的這種情況會變的比較頻繁，因為一但產生繞路RRF結構後，之後再重用就有很大的機會繼續產生繞路的路徑。圖三便是一個繞遠路的例子。

我們所使用的虛擬鏈結是一種強化樹狀結構(tree)內部連結的鏈結。它不像一般樹中的鏈結是垂直連接子節點(child)與父節點(parent)，而是橫向的連接不同分支上的節點。因為有了這些鏈結，樹狀的結構，就等於是被轉換成圖形(graph)的結構。虛擬鏈結的目的，是為了放寬原本RRT在起始組態和目標組態在連起來後，只能沿著原本兩顆RRT所生長的情形找出一條路徑的限制，讓起始與目標組態連上後，可以在一個由原本的樹狀結構和虛擬鏈結組成的圖形上面做路徑搜尋的動作。在強化過後的圖形上搜尋，就有更多機會可以得到品質較好的路徑。

三、研究結果：

針對上述兩個研究目標，我們已完成所需軟體模組的設計，並取得初步的成果。

(一)、產生具可適性的虛擬力場：在模擬實驗和動態調整的實驗裡，我們找了十位使用者。這十位使用者中，有兩位對VRML虛擬環境操作熟悉(A、B)，兩位對3D遊戲操控非常熟悉(C、D)，有三位則是對電腦操作熟悉(E、F、G)，但是不常接觸3D及VRML虛擬環境操作。剩下三位使



圖四、虛擬力場調整的實驗場景。場景中所標示的箭頭是為了指引使用者瀏覽方向。地圖中三角形為起點，圓形為終點。

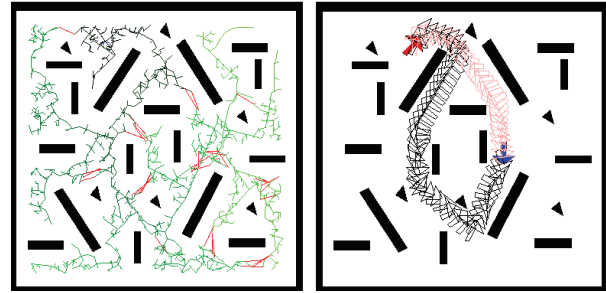
表一、四種情況下抵達終點花費步數與比例(單位：步)。預設力場、模擬實驗和動態調整三欄的百分比是和無力場輔助模式下比較的結果。

User	無力場		預設參數		模擬實驗		動態調整	
	Step	%	step	%	step	%	step	%
A	779	100	407	52.2	328	42.1	325.6	41.8
B	902	100	416	46.1	320	35.5	424.7	47.1
C	1838	100	491	26.7	548	29.8	555.7	30.2
D	1199	100	458	38.2	607	50.6	614.1	51.2
E	834	100	510	61.2	406	48.7	439.9	52.7
F	1715	100	840	49.0	792	46.2	585.8	34.2
G	1338	100	950	71.0	716	53.5	735.4	55.0
H	4111	100	987	24.0	771	18.8	803.9	19.6
I	7129	100	2143	30.1	1096	15.4	2150.4	30.2
J	1927	100	1061	55.1	725	37.6	963.4	50.0
Avg	2177.2	100	826.3	45.4	630.9	37.8	759.9	41.2

用者中，兩位很少使用電腦，一個月約1-2次(H、J)，一位則是從來不用電腦(I)。實驗場景如圖四，我們對每個使用者分別做模擬實驗和動態模擬兩部分的測試。

在模擬實驗的部分，我們先讓使用者在沒有力場輔助的情況下取樣，再進行模擬實驗的分析。分析完後，我們請使用者分別使用預設力場參數和模擬實驗分析找出來的最佳參數，各進行兩次瀏覽，並且紀錄所走的步數和時間，最後取兩次的平均。實驗紀錄為表一的無力場(取樣過程)、預設力場參數及模擬實驗三欄。其中有两个使用者C、D在調適後反而走的比預設的參數組態差，不過整體平均比預設組態好將近8%。使用者I(不曾使用電腦)甚至從預設組態下的2143步(110秒)下降到1096步(54秒)。

在動態調整的部分，我們任意取了三組不同



圖五：RRF 路徑的改善。左邊紅色線段為 RRF 中的虛擬鏈結，右邊淡紅色路徑為改善後，黑色路徑為改善之前。

表二、虛擬鏈結花費時間與產生的數量。加入虛擬鏈結多花的時間為原本的 22.5%，[建立鏈結時間/(總時間-建立鏈結時間)]

計畫次數	總結點數(個)	時間(ms)		虛擬鏈結數量	
		總時間	建立鏈結	精簡前	精簡後
5	336	94	16	0	0
10	657	171	31	2	2
50	1505	500	109	39	18
100	1826	953	203	80	27
200	2387	1701	358	158	41
500	3575	4457	438	359	60

的起始參數組態。我們讓每一個使用者，對每一組參數組態分別作三次瀏覽，最後再將三個組態所測得的九次瀏覽所花費的步數和時間求平均。實驗紀錄為表一的動態調整一欄。有四位使用者A、C、D、H使用動態調整結果和模擬實驗的結果，所走的步數相差在1%之內，使用者F甚至只要走586步(37.7秒)比使用模擬實驗所需792步(54.3秒)快了 8%。

(二)、改善RRF演算法繞遠路的問題：實驗所用的路徑計畫器是以[6]中的路徑計畫器為基礎加入上節所提的虛擬鏈結概念作修改。實驗所採用的工作空間為二維，機器人在工作空間有三個自由度(x, y, θ)，而組態空間的大小為 $128*128*100$ 。所採用的場景為圖五中的場景。首先我們針對加入虛擬鏈結後所需要負擔的運算時間做了一些評估。我們以隨機產生機器人的起始與目標組態的方式，分別連續做了不同次數的運動計畫的查詢，觀察加入虛擬鏈結前後所花費的時間。另外我們也觀察了虛擬鏈結在精簡前後的數量。

表二的總時間為隨機計畫 n 次中，在街圖建立過程所花的總時間，包含街圖中RRT的成長、合併、以及虛擬鏈結產生的時間。從數據我們可

以估算出，新的RRF需要負擔比原本多約22.5%的時間來建立虛擬鏈結。而從精簡前後的虛擬鏈結數量比例，可以發現新的精簡演算法能有效的控制虛擬鏈結數量。

四、 成果自評：

本研究計畫至目前為止，已經依照預定的進度，完成了以下工作：

1. 以實驗模擬的離線方式搜尋最適合使用者的虛擬力場參數。
2. 設計動態模擬的方式線上調整適合使用者及場景的虛擬力場參數。
3. 以實驗方式證明以上兩種設計能提昇使用者操控3D場景效率。
4. 以虛擬鏈結觀念改善RRF演算法所搜尋到的路徑品質。

本計畫所獲致的初步成果，將整理發表於知名國際學術研討會。在未來數個月中，研究重點將放在針對實驗結果作進一步的分析，以瞭解這些機制能發揮效能的原因，進而設計更有效的方法提昇執行效能。另外，我們也將展開下一年度研究重點的先期研究工作，將智慧型界面的機制延展到第三人稱的控制介面。

五、 參考文獻

[1] T.Y. Li, J.M. Lien, S.Y. Chiu, and T.H. Yu, "Automatically Generating Virtual Guided Tours," in *Proc. of the Computer Animation*

Conference, p.99-106, 1999.

- [2] T.Y. Li, and H.K. Ting, "An Intelligent User Interface with Motion Planning for 3D Navigation," in *Proc. of the IEEE Virtual Reality Conference*, p.177-184, 2000.
- [3] T.Y. Li and H.C. Chou, "Improving Navigation Efficiency with Artificial Force Field," in *Proc. of IPPR Conference on Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 2001.
- [4] T.Y. Li and Y.C. Shie, "An Incremental Learning Approach to Motion Planning with Roadmap Management," in *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, p.3411-3416, 2002.
- [5] B. Salomon, M. Garber, M.C. Lin, D. Manocha, "Interactive Navigation in Complex Environments Using Path Planning," in *Proc. of the Symposium on Interactive 3D Graphics*, p.41-50, 2003.
- [6] Y.C. Shie, Roadmap Management for Incremental Motion Planning, Master's Thesis, National Chengchi University, Taiwan, 2002.
- [7] E.A. Wernert and A.J. Hanson, "A Framework for Assisted Exploration with Collaboration," in *Proc. of the Conference on Visualization '99*, p.241-248, 1999.
- [8] D. Xiao and R. Hubbard, "Navigation Guided by Artificial Force Fields," in *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, p.179-186, 1998.