

行政院國家科學委員會
尖端型專題研究計畫年度進度報告
虛擬之自動化半導體廠-子計畫六：
虛擬半導體廠之智慧型3D瀏覽系統(2/3)
Virtual Fab: Intelligent 3D Navigation System
計畫編號：NSC 89-2218-E-004-001
報告期限：87年8月1日至88年7月31日
主持人：李蔡彥 Email: li@cs.nccu.edu.tw
執行機構及單位名稱：國立政治大學資訊科學系

一、中文摘要

本子計畫於第一年的研究中已順利發展出一套智慧型的自動導覽系統。而第二年度的研究目標有二：第一、延展第一年自動導覽系統的功能；第二、發展能動態產生並處理大型場景的網路虛擬實境系統。以第一個目標而言，我們的具體成果包括一個能讓使用者於線上安全地修改視點運動路徑的智慧型觀察者模組，及改善使用者瀏覽效率的智慧型人機介面模組。而在第二個目標上，我們設計了一個虛擬場景的編輯工具，以有效管理虛擬環境中的模型，並能依據線上的組態動態產生虛擬場景。另外，我們也針對大型場景設計了一個線上場景管理軟體模組，以根據使用者視點的運動型態，動態載入所需的幾何模型。我們並以合作半導體廠的模型為例，測試此一軟體系統的有效性。綜言之，本子計畫目前的進度已依照預定計畫完成。

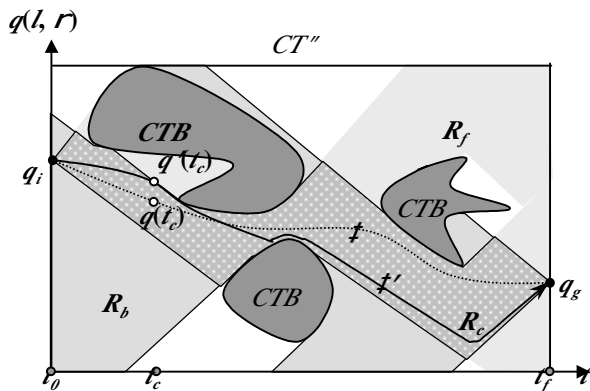
二、緣由與目的

虛擬半導體廠的目的，在建立一個模擬的軟體系統，讓使用者透過簡易的操作，便能達到資訊擷取、製程模擬、效能評估、物件追蹤、及教育訓練等目的。而本子計畫的主要研究目標便是在提供一個智慧型的圖形人機介面，以支援上述目的。然而，以一般桌上型個人電腦的配備

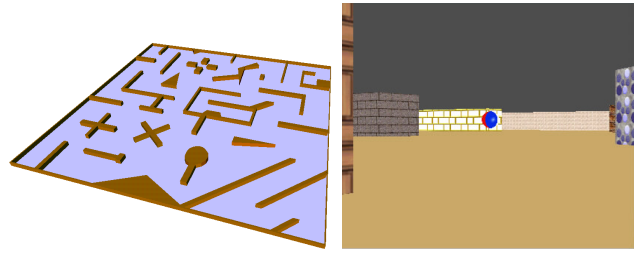
而言，要讓一般使用者能以互動的方式直接操控 3D的人機介面，並非易事。而本子計畫的目的，便是希望能在開放式的架構上，以運動計畫演算法為核心技術[5]，透過智慧型瀏覽模組的研發，提升3D人機介面的易用及有效程度。

本子計畫在第一年的研究裡，已為固定場景建立一個具有智慧型瀏覽功能的3D自動導覽系統。這是一個以VRML網路虛擬實境架構為主的自動導覽系統。[12][14]這個系統讓使用者在所欲參觀場景的平面圖上，點選所欲前往的參觀點，系統便會透過本計畫開發的導覽路徑計畫器及智慧型觀察者運動計畫器[1][2]，即時計算出個人化的瀏覽路徑，並由具有即時動畫模擬功能的虛擬導覽員帶領，前往所要參觀的地點。在參觀的過程中，虛擬攝影機除了能保證看得到導覽員外，還能由使用者以參數設定跟隨導覽員的方式。[8][10]

在第二年的研究目標裡，我們根據第一年的研究經驗，對所發掘的延伸性問題，作了進一步的研究。目前的自動導覽系統，雖然能根據使用者的意願來產生個人化的導覽路徑，並自動帶領參觀虛擬工廠，毋須使用者介入控制3D介面；但是參觀時攝影機的運動仍有許多變化的空間，系統選定的運動軌跡不見得能讓使用者完全滿意。因此，如何以線上互動的方式讓



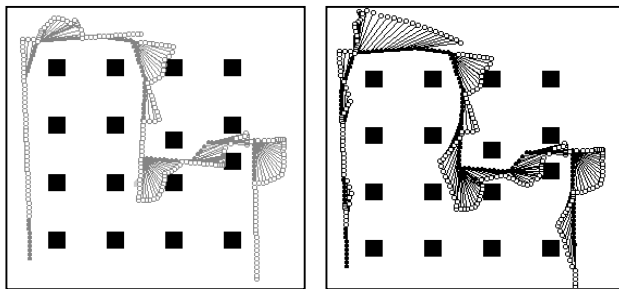
圖一：線上修改路徑所允許的區域(R_c)之示意圖。(τ 為原計畫攝影機路徑, τ' 為使用者修改後的路徑)



圖三：瀏覽實驗所使用的 3D 迷宮一景

表一：智慧型瀏覽輔助模組的實驗結果

	w/ planning	w/o planning
total execution time(sec)	243	421
no of navigation steps	2498	3941
Preprocessing time (sec)	2.5	0
avg. time for computing the next step (ms)	18.9	7.4



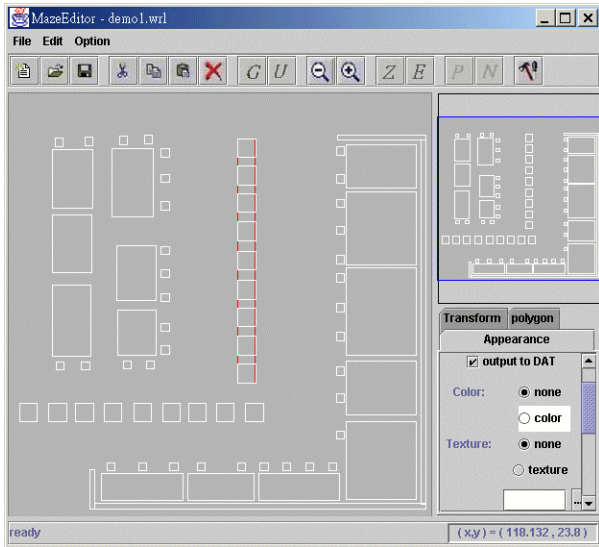
圖二：線上修改視點規劃路徑的範例。圖(a)為運動計畫器計算出之路徑，圖(b)為使用者以互動方式修改的結果。(實心圓為目標物，空心圓為觀察者)

使用者進一步影響瀏覽的過程，是本年度的研究重點之一。另外，一般虛擬半導體廠的規模龐大，如要將整個虛擬場景同時載入，勢難達到即時互動的顯示效果。因此如何根據使用者的操控模式及瀏覽過程，有效地管理大型虛擬場景的資料流，以提升互動式顯示的效率，亦是本年度研究的重點之一。

三、研究結果

(一) 線上瀏覽輔助：此研究的目的是希望在瀏覽的過程中，使用者能以即時互動的方式，控制或改變瀏覽的結果。根據原始運動路徑的產生方式，我們設計了兩種型態的智慧型瀏覽輔助模式。

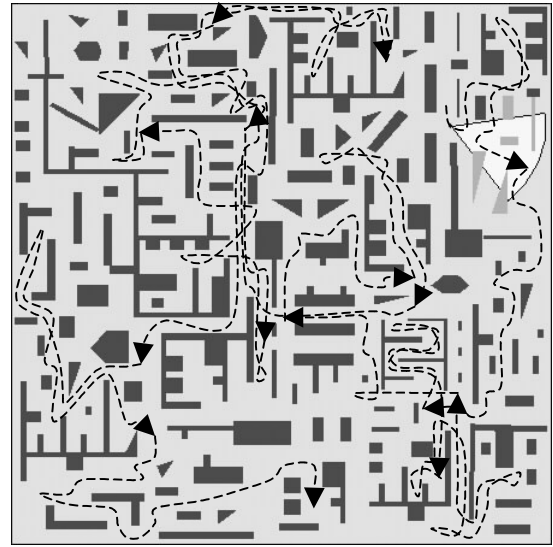
第一種是以自動導覽系統所產生的導覽路徑為基礎[10]，在導覽執行的過程中，我們允許使用者以滑鼠拖曳的方式，任意修改視點的路徑；而此路徑藉由線上計畫器的輔助，將仍能保證維持智慧型觀察者的限制特性（即與導覽員之間一直保持清楚的視線）。換言之，以圖一所示的「Configuration-Time, CT」空間裡， R_f 代表在最大速度限制下由啟始組態能到得了的區域， R_b 代表能到得了目標組態的區域；兩者的交集(R_c)帶表示我們希望限制路徑(τ)所能通過的區域。由於線上計畫必須在每一個控制迴圈內計算一次，因此所允許的計畫時間非常有限。而運動計畫的問題已知是計算複雜度很高的問題[3]，因此增加了這個線上問題的挑戰性。我們所使用的計畫方式是以漸進式的倒退搜尋(Incremental Backward Search)法則，重複使用先前已搜尋過的空間，以將搜尋所需花費的時間分散到各個控制迴圈中。實驗的結果（如圖二所示）顯示，每一控制迴圈所需的平均線上計畫時間不超過60ms，因此此線上運動計畫器可以平順地融入使用者的控制迴圈中，它不但讓使用者能即時修改參觀路徑，亦能將瀏覽路徑規範在原計畫路徑的四周。



圖四：設計軟體的圖形化使用者介面

第二種瀏覽輔助模式是以運動計畫軟體於3D瀏覽可能發生困難的地方，自動產生輔助性的避碰路徑，以使瀏覽更加平順。此類瀏覽控制方式與傳統的控制相近，但傳統以2D滑鼠操控3D場景的控制方式，常因更新頻率的不足，而無法精確的在狹窄的通道上順利的前進。這也是3D虛擬環境一直無法普及的根本問題之一。我們所提議的方法，是在使用者介面的控制迴圈中，攔截滑鼠的拖曳事件，以估算使用者的運動意圖（即希望前往的位置及方向）。如果此運動過程將與環境中的障礙物碰撞，系統就會自動呼叫運動計畫器，以計算出一個可行的避碰路徑，帶領使用者避開障礙物。由於此運動計畫必須整合在使用者的控制迴圈中，因此計畫器的效率將是此方法的成敗關鍵。

我們所使用的「隨機化街圖運動計畫器」是在環境固定的前提下，先在搜尋空間中以前處理的方式分析自由空間的連接性，建立代表性的街圖，以作為後續多次路徑計畫查詢的依據。[4]在線上做路徑計畫查詢時，我們先將啟始及目標組態先連上這個街圖後，再於街圖中搜尋一條可行的路徑。由於搜尋街圖時無須作耗時的碰撞偵



圖五：大型虛擬場景及使用者瀏覽路徑範例

測，因此計算效率可以達到即時的效果。在實作方面，我們將此運動計畫器整合入一個以Java3D實作的VRML瀏覽器中（如圖三所示），並完成了使用者的使用分析。實驗是由十個具有不同電腦使用經驗的使用者進行測試，內容則是計算完成特定目標瀏覽工作所需花的時間。實驗結果如表一所示。使用者的瀏覽效率，在有運動計畫輔助的情況下，平均可加快73%。

（二）大型場景線上管理：大型虛擬場景的管理，是虛擬實境系統普及後必將面臨的重要課題。我們所提議的網路式虛擬實境系統，將虛擬場景中的幾何模型及場景組態儲存在資料庫中，而在使用者需要瀏覽時，才自資料庫中查詢出所需的模型，送至使用者端的機器上顯示。但是由於場景的規模龐大，而使用者一次能看得到的區域有限，並且顯示用的記憶體亦有限，因此如何利用空間與時間的區域性（locality），有效的將最需要的資料即時傳至使用者機器，是本項研究所欲達到的目標。

目前的此研究的成果大致可區分為兩項。第一、我們開發了一套場景設計及管理的工具軟體（圖形介面如圖四所示）。虛擬工

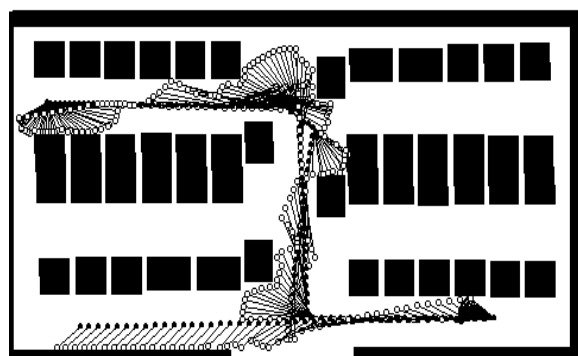
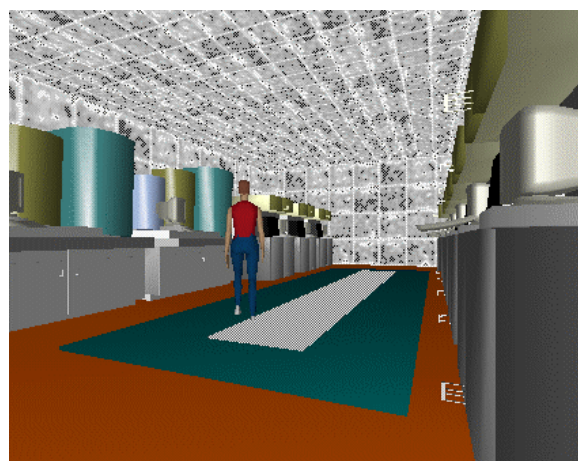
廠的設計者，可以透過這個以Java語言實作的工具軟體，產生3D模型與場景平面圖的關係，並將所設計的虛擬場景透過JDBC的介面存入關連式資料庫中。這個工具軟體提供了物件導向的設計觀念，並支援一般2D向量繪圖軟體常用的功能，例如群組 (Grouping)、剪貼、自動產生VRML 3D模型、及插入特定VRML模型等功能。另外，此工具軟體配套輸出2D及3D的格式，因此無需經由額外的編輯，便可直接於自動導覽系統中使用。

第二、我們設計了一個使用者的運動預測及線上模型管理的軟體模組。這個模組包含三個部分：可見度的分析、模型快取機制的建立、及運動預測及模型先取的機制。[13]此模組開發的目的，除了漸進式的依照使用者的位置取出必須的幾何模型外，更希望透過先取(Prefetch)的機制，將網路存取的負載平均分配到各個畫格裡，以達到平順顯示的目的。在可見度分析方面，我們採用前處理的方式，計算出視點在任一位置時，所能看見的物件集合，以於線上迅速地計算出所需載入的模型。另外，在模型管理方面，由於這些模型具有空間上的區域性 (Spatial Locality)，因此我們根據優先度設計了有效的快取(Cache)機制，將常用的模型留在有限的快取緩衝記憶體裡。然後，再根據使用者操控滑鼠的形式，預測未來可能的位置，在時間許可的情況下，進行模型先取 (Prefetch) 的動作，以減低轉換場景及動態載入模型所帶來的介面不流暢問題。大型場景及瀏覽路徑的實驗範例如圖五所示。我們以模擬的方式進行模型管理的實驗，結果顯示有快取及先取的機制，將有效減少載入模型所需的平均時間及變化的標準差。

四、成果自評

在第二個年度的研究計畫裡，我們所獲致的成果包括：

1. 可依照使用者意願而產生或改變導覽路



圖六：3D 虛擬半導體廠及自動導覽路徑的範例

徑的自動導覽系統。

2. 輔助使用者進行3D瀏覽的運動計畫模組。
3. 能供使用者設計並管理虛擬場景的軟體工具。
4. 虛擬半導體廠的實體模型及線上瀏覽範例。
5. 大型場景動態產生及資料流管理的軟體模組。

另外，本子計畫的初步成果，亦已整理發表於知名國際學術研討會。
[7][9][11]

五、參考文獻

- [1] C. Becker, H. Gonzalez-Banos, J.-C. Latombe, and C. Tomasi, "An Intelligent Observer," in *Proceedings of International Symposium on Experimental Robotics*, pp. 94-99, 1995.
- [2] S. Drucker and D. Zelter, "Intelligent Camera Control in a Virtual Environment," in *Proceed-*

- ings of Graphics Interface '94*, 1994.
- [3] J.E. Hopcroft, J.T. Schwartz, and M. Sharir, "On the Complexity of Motion Planning for Multiple Independent Objects: PSPACE-Hardness of the Warehouseman's Problem", *International Journal of Robotics Research*, 3(4): 76-88, 1984.
 - [4] L. Kavraki, P.Svestka, J. Latombe, and M. Overmars, "Probabilistic Roadmaps for Fast Path Planning in High-Dimensional Configuration Spaces," in *IEEE Transaction on Robotics and Automation*, 12:566-580, 1996.
 - [5] J.C. Latombe, "Robot Motion Planning," Kluwer Academic Publishers, 1991.
 - [6] S. M. LaValle, H. H. Gonzalez-Banos, C. Becker, J.-C. Latombe, "Motion Strategies for Maintaining Visibility of a Moving Target," in *Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1997.
 - [7] T.Y. Li, and C.W. Chiang, "Data Management for Visualizing Large Virtual Environments," in *Proceedings of the 1999 International symposium on Multimedia Information Processing*, P163-168, Taipei, Taiwan, 1999.
 - [8] T.Y. Li, J.M. Lien, S.Y. Chiu, and T.H. Yu, "Automatically Generating Virtual Guided Tours," in *Proceedings of the Computer Animation '99 Conference*, Geneva, Switzerland, May 1999.
 - [9] T.Y. Li and Hung-Kai Ting, "An Intelligent User Interface with Motion Planning for 3D Navigation," in *Proceedings of the IEEE Virtual Reality 2000 Conference*, P177-184, New Jersey, 2000.
 - [10] T.Y. Li and T.H. Yu, "Planning Tracking Motions for an Intelligent Virtual Camera," in *Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1999.
 - [11] T.Y. Li and T.H. Yu, "Incorporating User Interaction in the Planning of Intelligent Tracking Motions," in the *Proceeding of the Sixth International Conference on Automation Technology*, P1185-1192, Taipei, Taiwan, 2000.
 - [12] S. Ressler, A. Godil, Q. Wang, G. Seidman, "A VRML Integration Methodology for Manufacturing Applications", in *Proceedings of Virtual Reality Modeling Language (VRML99)*, 1999.
 - [13] S. Teller, and C. Sequin, "Visibility Preprocessing For Interactive Walkthroughs," in *ACM Computer Graphics (Proc. of SIGGRAPH'91)*, 25(4):61-69, 1991.
 - [14] VRML97 Specification, <http://www.vrml.org/Specifications/VRML97/>