

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

網路虛擬環境中自主式數位演員之實現(2/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2213-E-004-001-

執行期間：92年08月01日至93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

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 6 月 1 日

行政院國家科學委員會
專題研究計畫期中進度報告
網路虛擬環境中自主式數位演員之實現(2/3)
**Realizing Autonomous Digital Actors
in a Networked Virtual Environment**

計畫編號：92-2213-E-004-001

報告期限：92年8月1日至93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

一、中英文摘要

(一)、中文摘要

3D電腦動畫及虛擬實境，是數位內容技術發展過程中亟待突破的一環。原因之一便是電腦動畫產生的方式過於繁複耗時。自主式數位演員的概念是以人工智慧結合電腦動畫的技術，簡化動畫產生程序及所需時間，進而達到即時動態模擬的目的。本研究計畫提議以三年的時間，建立數位演員及虛擬人群的運動模型，以演化方式產生自主式數位演員的特徵參數，並於開放式的虛擬環境中展示。在第一年的研究裡，我們已達到即時自動產生數位演員在高低不平環境中行走運動的目標。在第二年的研究裡，我們除了延伸數位演員的運動能力及增加環境的困難度外，主要是以在虛擬環境中模擬大量的虛擬人群的運動為目標。我們所發展的數位演員個體，目前已具備正走、側走、跑步、及跳躍等的程序性動畫產生方式，並能在梅花樁之類的複雜地形上運動。另外，我們分別以運動規劃及演化的方式模擬人群的運動，並已獲至相當的成果。此初步研究成果亦已整理成論文，於各國際研討會中發表。

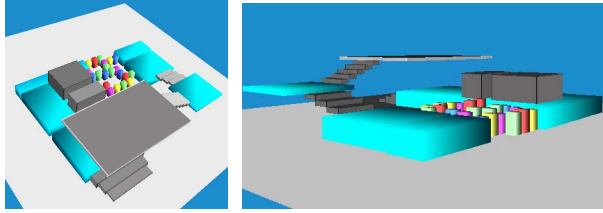
(二)、英文摘要

In the development of digital content technologies, 3D animation and virtual reality are among those that urgently need technology breakthrough. Part of the reasons is due to the high cost induced by the complex and time-consuming production process in making a computer animation. The concept of Digital Actors (DA) is on applying Artificial Intelligence (AI) techniques in computer animation in order to make animation production

more cost effective. We propose to use three years to establish a motion behavior model for a single digital actor and for virtual crowds in order to evolve characteristic parameters for digital actors. We will also design an extensible networked virtual environment to enable experiments with these digital actors in a plug-and-play manner. In the first year, we have achieved the goal of designing a humanoid motion planner to automatically generate collision-free walk motions for a digital actor in a 3D space. In the second year, we extend this planner to consider more versatile locomotion and more difficult environments and aim to generate the motion simulation of a large crowd of digital actors in a virtual environment. Our digital actors now are equipped with the locomotions of frontal walking, side walking, running, and dumping on a complex environment with deep gaps. In addition, we use the approaches of motion planning and generic algorithm to generate the motions of virtual crowds and have obtained good preliminary results that have been published in several international conferences.

二、緣由與目的

在網路與多媒體的領域裡，電腦動畫與網路虛擬實境方面的3D技術是亟待突破且極具挑戰性的一環。在電腦繪圖軟硬體技術日新月異的情況下，3D互動式電腦繪圖已成為下一代人機界面的發展趨勢。雖然目前的動畫設計工具已有長足的進步，但這些設計工具的學習曲線較高，因此人才取得不易，且設計過程繁複，以致製作成本過高，難以達到經濟效益，因此其應用範圍受到相當的侷限。特別是即時性動畫的相關技術，要能跳脫目前線上遊戲2D動畫或3D罐裝動作的

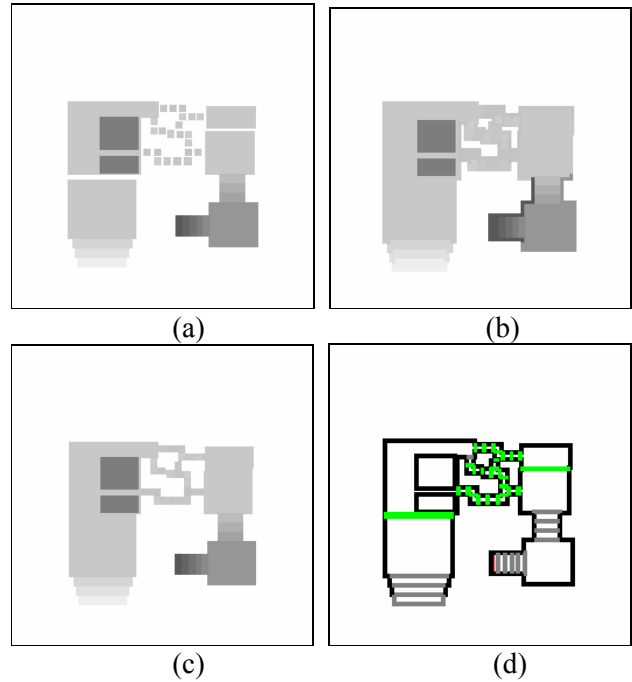


圖一、包含梅花樁地形之多層虛擬場景範例

現況，勢必需要開發新的動畫製作技術，以提高動畫設計師的生產力，使其能以少量的高階輸入，即能產生多樣化的即時動畫。

虛擬人(Virtual Human)的研究是近年來電腦動畫研究的熱門課題[2]。完整的虛擬人模擬包含下半身的行走運動、上半身的抓取運動、臉部表情、及衣服等部分[8]。本計畫的重點將放在虛擬人的身體運動，特別是自動產生下半身行走運動的部分。這部分的相關研究包含純粹以機構學(Kinematics)的方式產生運動[1][4][12]或加入動力學(Dynamics)的模型[5][6][9][15]。其取捨在於計算時間與擬真程度。近年來的研究多放在以運動抓取(Motion Capture)的方式取得罐裝動作後，再利用內差或變形的方式，套用在不同的模型上，並產生適應環境的新動作[14]。由於是真人運動的重現，這個方式的好處在於其運動的可變度及自然度高；但缺點是無法產生事先未抓取的運動類型。單一虛擬演員的運動模擬已十分複雜，如要同時模擬大型的人群運動，則計算複雜度更是龐大。

本計畫的目的在以三年的時間，發展一套隨插即用的自主式數位演員技術及適合其運作的網路虛擬環境實驗平台。在第一年的研究裡，我們已經設計出一個在一般3D空間中具有自主性行動能力的數位演員，此演員能接受高階指令，並根據環境的設定，自動產生達到指定目標的運動。但此運動僅侷限於正向的行走運動，對環境的假設亦較強烈。在今年的研究裡，我們進一步延伸此研究成果，將假設逐漸放寬，並讓演員的運動能力逐漸加強。例如，增加側走及跑步等運動選擇，並進一步考慮環境中包含深溝的部分（如梅花樁）。環境地形的範例請參見圖一。在人群模擬的部分，我們採用了兩種不同的方式，嘗試自動產生大群虛擬人群的模擬運動。這兩種方式分別為多人運動計畫演算法及使用虛擬力場的基因演算法。此兩類研究方法的問題定義與解法如下一節所述。



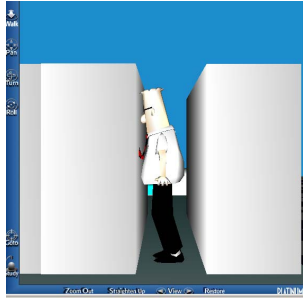
圖二、(a) 圖一範例的高度圖 (Height map), (b) 經過 dilation 運算的高度圖, (c) 在經過 erosion 運算的高度圖 (d) 經過 closing 運算後被修補的不穩定區域

三、研究方法：

本研究的目標在實現數位演員自主運動的能力。如前一節所述，今年的研究方向分成兩部分：個體運動能力增強及虛擬人群模擬。以下謹就這兩類問題的定義及研究方法作進一步的說明。

(一)、**數位演員運動能力之增強**：我們假設給定的輸入資料為環境中物體的幾何描述（包含形狀、厚度及高度）及數位演員的機構學參數 (Kinematics Parameter)，如腳長、腳寬、身體厚度及關節限制資料等。我們的目標是設計一個計畫系統，讓使用者至需透過高階的指令（如去樓上的第三會議室）設定動畫劇本，虛擬數位演員便能自己推理出合理的運動規劃，達到所設定的目標地。

由於人體運動計畫的計算複雜度高，我們的運動計畫器採分離式計畫的方式，其運作的架構分為兩個部分：全域路徑計畫器(Global path planner)及區域運動計畫器(Locomotion planner)。在輸入上述問題後，先由全域路徑計畫器根據人體的粗略模型（如圓柱體）及運動能力（如可跨越的高度等）計畫出一條可行的路徑，再交由區域運動計畫器產生避碰的人體下半身運動。

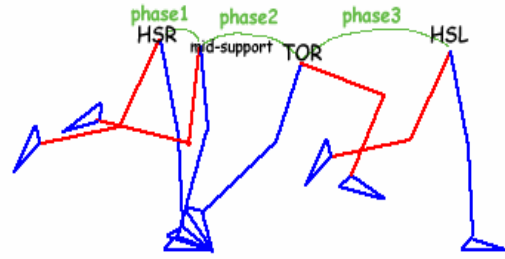


圖三、以側走能穿過較狹小的空間

在全域路徑計畫器上，與去年的成果相比，今年的主要特色在於考慮較複雜的身溝地形，並能根據地形自動選用多種數位演員具備的運動方式。考量深溝地形的的方式主要在於將[8]中可達區域 (reachability map) 以影像處理中的Closing運算元 (dilation及erosion) 加以計算，以填補細窄深溝在搜尋時造成的阻絕。使用效果的範例如圖二所示。這些填補的區域在搜尋時將被以不穩定區域 (instability map) 的方式對待，僅提供以穿越為目的的運動。另外，在多種運動選擇的部分，主要的延伸在於將每一種運動視為計畫空間中的一層(障礙物的定義根據運動走向而定)，進而依據運動轉換可能的限制建立不同層之間連接性。在搜尋時系統會根據使用者對的偏好自動選擇可行的運動型態。

在區域運動計畫上，我們作法的特色是以程序性動畫模擬的方式，根據運動特徵及原理，制訂適當的關鍵格及關鍵格之間的內差方式。除了正面行走運動外，我們進一步考慮側走、跑步、及跳躍等進階動作。側走運動的優點是運動方向的剖面較小，因此能穿越叫窄的空間，如圖三的範例所示。但是由於必須限制膝蓋的彎曲，因此運動的模擬反而較正面運動更容易指定適當的關鍵格。

在跑步運動的模擬上，我們根據文獻及觀察，以三個關鍵格制訂出三個運動階段(phase)如圖四所示。第一、著地階段：由前腳的腳跟或腳尖著地的瞬間開始，一直到前腳膝蓋的彎曲(壓縮)程度最大為止。在這個階段中，主要是藉由膝蓋的彎曲，來儲存飛行階段所需的跳躍力。第二、起跳準備階段：由膝蓋彎曲程度最大的瞬間開始，直到起跳的後腳腳尖離地的瞬間結束。此階段中，後腳逐漸延展，將段膝蓋彎曲時，肌肉所儲存的能量轉換成飛行所需要的動能。第三、飛行階段：由後腳腳尖起跳離地開始，直到前腳著地為止。在這階段中，身體懸浮於空中，骨盆的運動軌跡遵守斜向拋射的運動方程式。另

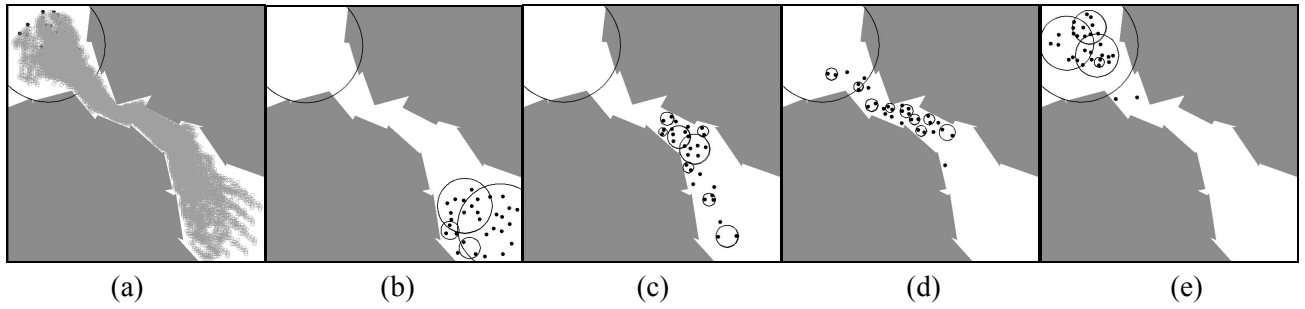


圖四、程序式跑步模擬的關鍵格設定

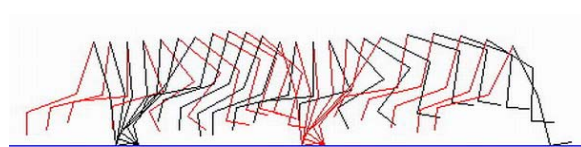
外，簡易的跳躍運動與跑步運動相類似，主要的差異在於飛行階段的時間較長，而準備的階段較為誇張。

(二)、**虛擬人群的模擬**：虛擬群體的模擬在機器人學與電腦動畫的領域都可看到不少研究成果。此類研究的差異，主要在於每一個體所被賦予的能力不盡相同。例如，機器人學的研究多賦予個體機器人有限的感知能力，並多希望以計畫方式達到目標地。而電腦動畫領域方面的研究則多以虛擬力的方式模擬群體運動，這些成果多用在具有群體運動特性的動物(如鳥及魚)上。今年度本研究根據以上兩種方向，分別提出我們的創新作法，希望能有效分析不同作法之間的利弊得失，以提供人群模擬自動化的參考。在第一個方向上，我們提出一個以動態編隊方式組織人群的多人運動計畫器。而在第二個方向上，我們將用虛擬力場模擬人群的機制，化為基因演算法的問題，以自動推演出適合不同環境及人群行為的控制參數。

運動計畫問題的計算複雜度，對所計畫物體的自由度相當敏感(指數成長)。因此，當計畫的人數變多時，計畫搜尋空間的成長速度十分驚人。針對高維運動計畫問題，過去的研究主要分為集中式(centralized)及分離式(decoupled)兩種作法。集中式的方法具完整性，但搜尋空間龐大。分離式的方法一次僅計算部分維度，事後再做協調安排。分解後的問題相對較容易，但整體缺乏完整性。我們認為人群運動的特性在於整體的自由度高，但個體自由度的分離性也相當高。因此，根據這個特性，我們設計了一個以動態編隊的方式組織人群運動的計畫器。這個計畫器運作的原理是以階層球樹的方式組織人群，並將個體的自由度凍結；除非必要，編在同一隊的群組會以同一速度運動，以減少人群內部自我碰撞的機會。如圖五的範例所示，而隨著人群的運動，如果環境的限制導致人群與障礙物碰撞，則編隊



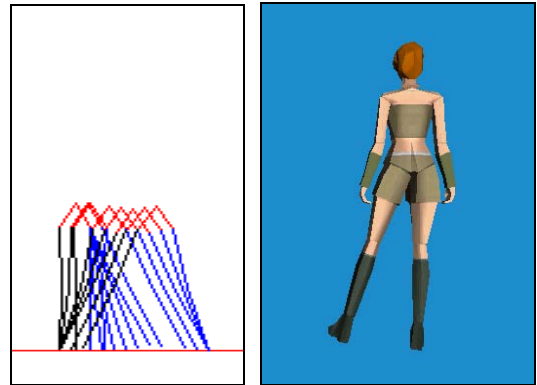
圖五、以動態編隊方式通過狹小區域的範例



圖七、一般跑步及助跑跳躍的程序式模擬

會動態逐步解放至單一個體，以通過任何狹小通道，並能於通過此類區域後檢討重編隊伍，以達適應地形及簡化計算的目的。

第二個研究方向在將傳統以虛擬力場模擬人群的機制，以基因演算法的方式找出最符合期望的人群行為。文獻中對群體行為的模擬，可藉助多種虛擬力的計算，以達到即時模擬的目的。這些虛擬力包含分離力(Separation)、同向力(Alignment)、凝聚力(Cohesion)、領導力(Leading)、及障礙排斥力(Collision)。單一個體的運動計算方式，係將這五個力以線性組合方式計算出一個虛擬力向量，再用以改變個體位置，展現出群體運動的特徵。然而，這五個力的線性組合方式通常是一個十分關鍵的經驗化步驟，會根據不同的人群行為，甚至是不同的環境而需要不同的參數組；而找到適當的參數組是一個十分繁瑣的問題。因此，我們提議將人群模擬的問題數量化，以虛擬力的係數做為自變數，而將期望的人群模擬表現量化，做為應變數，再透過基因演算法的方式，針對不同的行為及不同的典型場景，自動找尋出能最佳的係數組。目前我們所採用的基因模型是由五個虛擬力的組合係數所構成的50個位元。目標行為模式包含漫無目標移動、密集移動、包圍移動、追隨移動、排隊模式、目標移動、及定點疏散等。而典型環境則包含空曠地形、單點狹小瓶頸、交叉巷道、雜亂障礙等環境。透過基因演算法的方式，我們希望為每一個行為模式在每一種環境下找出最佳模擬參數。而基因演算法的適應函數，則在不同行為模式下，根據人群運動的客觀量測數據(如平均密



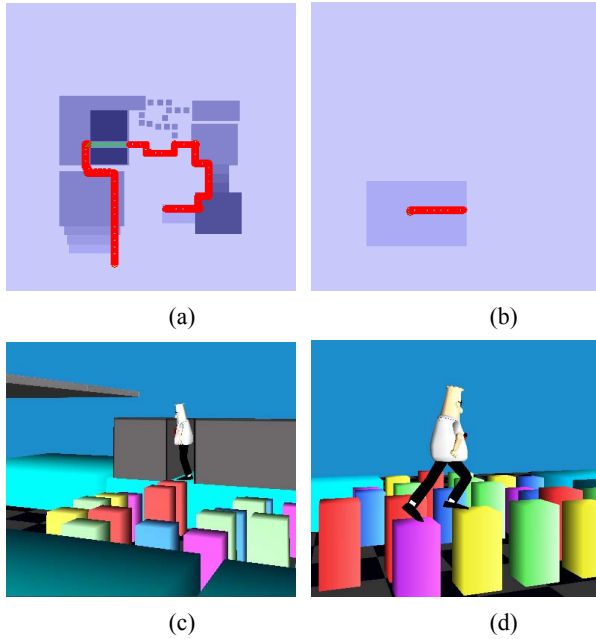
圖六、程序式側走運動的模擬結果

集度及距離變異量等) 制訂而成。

四、研究結果：

我們已經實做完成上述不同研究目標所需之軟體系統，並取得初步的成果。

在全域路徑計畫器及區域運動計畫器方面，我們已將前一年所開發的系統，延伸至能考慮多種下半身運動及梅花樁之類的困難地形。此系統是以Java配合VRML呈現3D模型的方式設計[3][13]，並可以在一般瀏覽器中操作及觀看即時的動畫效果。人體下半身程序式動畫模擬的成果包含側走運動及跑步運動，其模擬範例如圖六及圖七所示。以程序式方式模擬動畫的優點在於能根據人體模型、環境限制、及計畫目標即時產生適應地形的動作。另外，在全域路徑的計畫上，我們所設計的計畫器，能根據地形的限制，找出適當的下半身區域運動。如圖八所示，在此複雜的地形裡，我們只給於系統目前的位置(圖八(a))及希望到達的點(圖八(b))。數位演員所計畫出來的路徑，除了以正常的行走運動上下階梯外，還必須以跳躍、側走等方式通過壕溝及狹巷(圖八(c))。對於梅花樁之類的地形，系統亦能自動計算出適合的腳步走法(圖八(d))。



圖八、(a) 及 (b) 為在圖一範例地形中所計畫出的第一層及第二層的路徑，(c) 為在狹小通道時所採取的側走運動 (d) 為踩在梅花樁上的行走運動。

在人群運動計畫的研究上，我們實做了三個不同型式的計畫器，並根據不同的人群個數比較其計畫效率。這三個類型的計畫器分別是分離式計畫器，傳統的集中式計畫器、及本研究所提出的動態編隊計畫器。從實驗數據中可以看出，分離式計畫器的計算複雜度成長較慢。但在人數為180人時，由於其缺乏完整性，因此便無法找出適當的路徑。傳統的集中式計畫器雖然在初期計算時間較短，但其計算複雜度成長迅速；因此在人數為200人時便無法在等待時間內找出路徑。相對的，本研究所提出的具動態編隊特性的集中式計畫器無論在人數為多少時都能有最佳的表現，並且能將模擬的人數上限提升至280人。此計畫器所產生的人群運動模擬，請參見圖九的範例。另外，以基因演算法方式找尋適當的人群模擬參數，我們也已驗證了人群量化模型的適當性及基因演算法則實做的正確性。目前我們正進行不同行為及環境組合的實驗，以找出最後的模擬參考參數組。

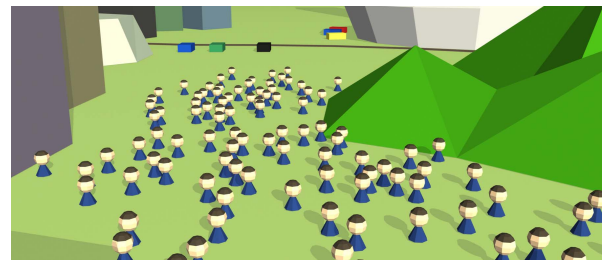
五、 成果自評：

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. 建立數位演員下半身的側走、跑步及跳躍的

表一、三種不同類型的計畫器對不同人群大小在計算時間上的比較

N	Decoupled	Centralized RPP w/o Sphere Tree	Centralized RPP w/ Sphere Tree
10	6.67	0.93	0.28
20	15.29	2.85	0.72
30	23.60	6.76	1.21
40	29.52	13.45	1.51
50	43.03	26.49	3.36
60	62.49	47.84	3.71
70	89.10	70.28	4.46
80	122.87	110.39	13.40
90	127.44	175.04	17.73
100	204.683	239.59	27.99
120	275.21	447.09	56.84
140	526.91	810.07	71.15
160	2224.05	1570.83	170.89
180	---	2359.68	262.44
200	---	---	309.91
220	---	---	784.93
240	---	---	1594.19
260	---	---	1365.34
280	---	---	2502.34



圖九、人群運動計畫器所產生出的人群模擬

運動模型。

2. 設計適合數位演員多種運動及複雜地形的全域路徑計畫模組。
3. 設計以動態編組為基礎的人群運動計畫器，並以實驗方式證實其有效性。
4. 設計人群模擬之行為模型及環境模型，並以基因演算法求取最佳人群行為模擬之表現。

本計畫所獲致的初步成果，已整理發表於知名國際學術研討會[8][9][10]。在未來數個月中，研究重點將放在對不同的環境及行為模式下，求取最佳的人群模擬參數組。而在下一年度的研究重點，將放在建立一個可延展的多人虛擬環境系統，以將數位演員的觀念，實現在即時動畫環境系統中。

六、参考文献

- [1] A. Bruderlin and T. W. Calvert, "Goal-Directed, Dynamic Animation of Human Walking," *Proc. of ACM SIGGRAPH*, 1989.
- [2] T.K. Capin, I.S. Pandzic, N. Magnenat-Thalmann, D. Thalmann, "Integration of Avatars and Autonomous Virtual Humans in: Networked Virtual Environments", *Proceedings of ISCI 98, IOS Press*, pp. 326 – 333, Amsterdam, Netherlands, 1998.
- [3] EAIspec,
URL:<<http://www.web3d.org/WorkingGroups/vrml-eai/>>
- [4] M. Girard and A.A. Maciejewski, "Computational Modeling for the Computer Animation of Legged Figures," *Proc. of ACM SIGGRAPH'95, Computer Graphics*, 19(3), pp. 263-270, 1985.
- [5] Q. Huang, K. Kaneko, et al., "Balance Control of a Biped Robot Combining Off-line Pattern with Real-time Modification," *Proc. of IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation*, pp.3346-3352, April, 2000.
- [6] H. Ko, *Kinematic and Dynamic Techniques for Analyzing, Predicting, and Animating Human Locomotion*, PhD Thesis, Computer and Information Science, University of Pennsylvania, 1994.
- [7] J.C. Latombe, *Robot Motion Planning*, Kluwer, Boston, MA, 1991.
- [8] T.Y. Li, P.F. Chen, P.Z. Huang, "Motion Planning for Humanoid Walking in a Layered Environment," in *Proceedings of the 2003 International Conference on Robotics and Automation*, 2003.
- [9] T.Y. Li, H.C. Chou, "Motion Planning for a Crowd of Robots," in *Proceedings of the 2003 International Conference on Robotics and Automation*, 2003.
- [10] T.Y. Li, and P.Z. Huang, "Planning Humanoid Motions with Striding Ability in a Virtual Environment," in *Proceedings of the 2004 International Conference on Robotics and Automation (ICRA2004)*, 2004.
- [11] Z. Shiller, K. Yamane, Y. Nakamura, "Planning Motion Patterns of Human Figures Using a Multi-Layered Grid and the Dynamics Filter," *Proc. of 2001 IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1-8, May 2001.
- [12] K. Sims and D. Zeltzer, "A Figure Editor and Gait Controller for Task Level Animation," *SIGGRAPH Course Notes*, 4, pp. 164-181, 1988.
- [13] The VRML2.0 (VRML97) Specification, International Standard ISO/IEC 14772-1, Dec. 1997. URL:<<http://www.vrml.org/Specifications/VRML97/>>
- [14] A. Witkin and Z. Popovic, "Motion Warping," *Proc. of ACM SIGGRAPH'95, Computer Graphics*, pp.105-108, 1995.
- [15] K. Yamane and Y. Nakamura, "Dynamics Filter – Concept and Implementation of On-Line Motion Generator for Human Figures," *Proc. of IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation*, pp.688-695, April 2000.