

人體下意識行為的程序式動畫模擬系統 Procedural Animation for Human Subconscious Motions

許家毓 李蔡彥

國立政治大學資訊科學系

摘要

使用電腦以程序的方式自動產生動畫，可以降低動畫的製作成本；但是以程序方式所產生的動畫較不自然，而且動畫程序庫的建構也較不容易。因此，雖然這類方式具有可重複利用以及可以適應新環境的優點，但仍未能被廣泛使用。本系統希望能透過人體低階行為的程序式動畫設計，增加人體各個部位常見反射動作的程序式模擬，並嘗試在主要動作中加入下意識動作的變化，以增加動畫的自然度與真實度，並反應不同動畫角色的行為特質。透過文獻上此類動作的分析，我們在現有 3D 瀏覽器的開發基礎之上，實做一個動畫模擬系統，我們並將以動畫模擬的例子，說明此研究的目前成果。

關鍵詞：程序式動畫、反射動作、下意識動作

Abstract

Using computer to generate animation automatically can lower the cost of production but, generally speaking, the generated motion is less natural and it is more difficult to design a library of motion procedures. Thus, although the approach of procedural animation has the advantage of being reusable and adaptable to environment changes, it is still not widely used. In the system we propose in this paper, we aim to design animation procedures for the motion of reflex movements and subconscious movements for a virtual human to react to the environment in a natural way. Through the analysis of these types of movements in the literature, we have implemented an animation system based on a 3D browser designed in our previous work. We will use simulation examples to show the effectiveness of our system.

Keyword : procedural animation, reflex movement, subconscious movement

1. 簡介

電腦動畫是目前數位內容產業中十分重要的一環，但動畫的製作成本卻居高不下。本計畫的目的在增進動畫的生產效能及品質，而最直接的

方式便是把現行以人工繪製的方式，改成是以電腦來自動產生動畫的方式。這樣不僅可節省大量人力成本，也可加快了動畫生產的效率。以第一部台灣自己創作出品的 3D 動畫長片《紅孩兒——決戰火焰山》為例，光動畫製作時間就花了二年，製作費約一億五千萬新臺幣；動畫製作時間比一般拍電影要來的長很多，而製作費更是驚人。

但截至目前為止，直接使用電腦所產生的動畫，只佔動畫片中的少數。我們認為其中最重要的原因，是由於電腦產生出來的動畫會讓觀賞的人覺得不夠真實。舉例來說，一個以下棋的人為主角的動畫中，我們可以使用動畫設計軟體或其他輔助工具，自動產生出這個人在下棋的動畫。但是，真實生活中每一個人下棋的樣子都不會是一模一樣的，而是需要融合個人行為特質，進而產生每一個人在下棋時特有的動作與風格。

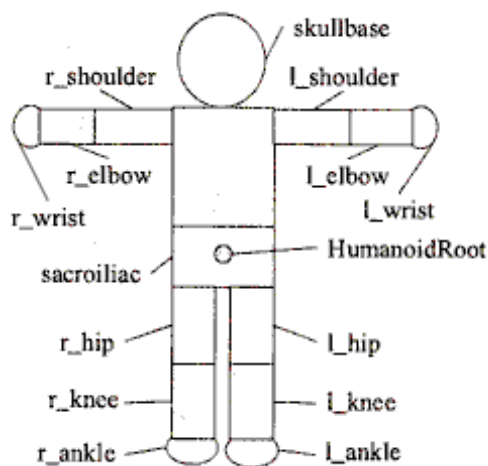
本研究的目標在模擬人體的下意識行為，如手部反射動作及停頓時的潛意識動作，以將之加入電腦自動產生的動畫中，使動畫更為生動真實，達到提高動畫品質及擬真程度的目的。

2. 文獻回顧與探討

在文獻中，使動畫看起來更加擬真的次要動作，可統稱為「低階行為(Low-Level Behavior)」[9]，其中包含了反射動作(Reflex Movement)以及下意識動作(Subconscious Movement)等。下意識行為不是一個人在做某件事情或某項動作時的主要動作，而是使得主要動作變的富有個人色彩的一種不自覺的動作。下意識行為可能會被人的多項內在因素所影響[1][8][11]，這當中包括了文化背景、年齡大小、當下的心情狀況等原因。進一步的說，如果動畫中加入了每個人的下意識行為，可以使得觀賞的人能夠直接的了解到虛擬演員所想要表達出的情感和帶給觀眾的感覺，而不是像一般電腦直接產生出來的動畫，只能讓虛擬人物做出既定的動作。

下意識行為所牽涉到的面向很廣，本研究的重點將放在反射動作及下意識動作，此兩類動作之涵意如下：

2.1 反射動作：



圖一、人體模型的關節架構圖

反射動作是人體對環境刺激快速的自然反應之一。人體經常需要依靠反射動作來應付外在的危險源，它的特色是不需要經過大腦的思考，直接地就由脊髓發出動作的指令，從觸碰到危險源到做出閃避動作，這中間的時間非常短暫，而且動作執行的速度非常快。簡單來說，反射動作會以讓人體最受威脅的部位以最快的速度遠離危險源，也就是以垂直危險源的方向快速的離開危險源。

2.2 下意識動作：

下意識動作是一種富有個人色彩的動作、沒有什麼道理的動作、甚至是連人都不自覺的動作，通常很難完整的歸類出一套理論來說明什麼樣的人會在什麼樣的情況之下做出什麼樣的下意識動作。大概地來說，來自不同的生活環境和成長過程的人，通常都會做出不同的下意識動作。

3. 問題定義

本系統的目的是希望能在電腦動畫自動產生的應用上，藉由幫虛擬人物加上產生人類反射動作及下意識動作的能力，使其在接觸危險源的情況下，做出正確的反射動作，並且在加入下意識動作後，能使動作更加自然。

3.1 人體模型

在這個系統當中，我們使用了符合 VRML Humanoid 標準的人體模型[5]，其關節及架構如圖一所示。任何符合 H-Anim LOA1 的模型，都能在我們的系統中使用。

3.2 反射動作

反射動作是在人體某部位接觸到危險源之後的迅速反應，而且不同部位接觸到危險源時的反應也不盡相同，所以我們必須能偵測人體與環境接觸的部位，並根據不同的部位，採取不同的動畫產生程序。而且由於人體各個部位運動的能力以及運動的方向都不太相同，因此在設定各個關節的轉動方向和幅度上也都是必須客製化的地方。

3.3 下意識動作

下意識動作因為沒有一套完整的理論來證明什麼人在什麼情況之下會發生什麼樣子的下意識動作，所以我們模擬下意識動作的重點，在於觀察人們通常都會做出什麼樣的動作而不自覺，以量化的方式來決定虛擬人物會做出何種下意識動作以及動作的明顯程度。

4. 系統設計

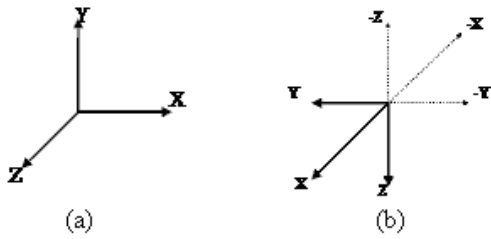
本系統結合了實驗室裡已經開發完成的 3D 瀏覽器 IMBrowser[10]來實作人體模型的反射動作與下意識動作，再利用這兩種動作進一步的套用在正在運動的人體模型之上，以在執行動作的人體模型上加上反射動作與下意識動作。這個瀏覽器是以 Java3D 為基礎所設計出來的 3D 即時動畫顯示模組。

4.1 反射動作

本系統所模擬之反射動作的方式是整合兩個現有程式模組，以使其可以在同一個資料型態下運作。這兩個程式模組分別是 IKAN 及 PQP。IKAN[6] (Inverse Kinematics using Analytical Methods) 是用來計算人體模型的反向機構學運動與 PQP (Proximity Query Package) [13]則是用來偵測人體模型與障礙物的碰撞。

4.1.1 整合 IKAN 模組

IKAN 模組是用來計算人體模型的四肢運動的反向機構學 (Inverse Kinematics, IK) 程式。當系統指定人體模型四肢上的尾端關節 (若移動的四肢是手臂則末端關節為手腕，若移動的四肢是腳則末端關節為腳踝) 到虛擬環境中的一個端點時，IKAN 模組可以算出人體手或腳上各個關節的旋轉角度與旋轉軸。將所計算出來的數據套在人體模型之上，便可以將手或腳移動到該指定的端點之上。整合 IKAN 模組的重點在於 IKAN 模組



圖二、
(a) IMBrowser 及 (b) IKAN 的座標系統

所使用的座標系統與現有的 3D 瀏覽器 IMBrowser 所使用的座標系統不同，所以必須要把從 3D 瀏覽器所取得的座標先經過座標轉換再放進 IKAN 模組裡來計算，計算完的結果也必須要再轉換回 3D 瀏覽器的座標系統後，才可以套用在人體模型之上。圖二所示分別為 3D 瀏覽器 IMBrowser 及 IKAN 所使用的座標系統。

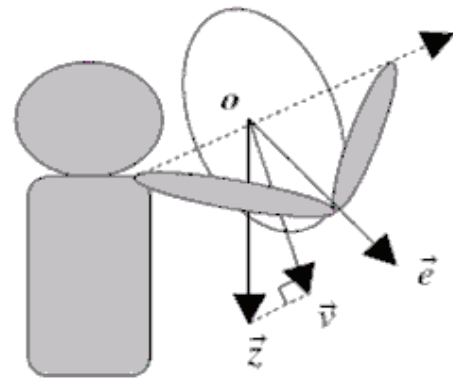
在使用 IKAN 模組計算人體模型四肢的動作時，我們尚需給定一個變數，以指定四肢本身的旋轉角度。很多論文將這個角度稱為 Swivel Angle。圖三及圖四分別說明 Swivel Angle 的定義方式及意義。

圖三當中的圓 o 為一通過手肘而且垂直於肩膀到手腕連線的一個圓，向量 v 為一從圓心到手肘連線的一條向量，而向量 z 為一從圓心出發垂直於地面的一條向量。圖四中的 θ 角即代表 Swivel Angle[7]。在本系統中，Swivel Angle 的指定方法是先假設有一個以四肢的上端關節為中心的正方體，並以人工方式決定四肢的末端關節移動到此正方體六個頂點上的 Swivel Angle 值；在每次移動四肢的末端關節時都以目前尾端關節的位置，用 Trilinear Interpolation 的方法內插得出所需要的 Swivel Angle 值。

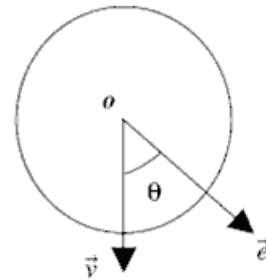
除了 IKAN 模組用來移動人體模型的四肢以外，在本系統裡面還實作了一個以移動四肢中間關節位置為目的的模組。當系統指定人體模型四肢的中間節要移動到虛擬環境中的一個端點時（若移動的四肢是手臂則中間關節為手肘，若移動的四肢是腳則中間關節為膝蓋），保持整個四肢的動作不變，只移動四肢的上端關節（若移動的四肢是手臂則上端關節為肩膀，若移動的四肢是腳則上端關節為髖關節），讓四肢的中間關節移動到系統指定的端點。實作這項模組的用意在於使得虛擬人物的反射動作可以更逼真。

4.1.2 整合 PQP 模組

PQP 模組是用來計算人體模型與障礙物間的碰撞情形。在每一次移動人體模型的四肢之後都必須要做一次碰撞偵測，以確定人體模型在這一一次的移動當中並沒有與障礙物相互碰撞，才可以再接續下一次的移動。PQP 模組的整合方式是，



圖三、定義 Swivel Angle 所在的圓



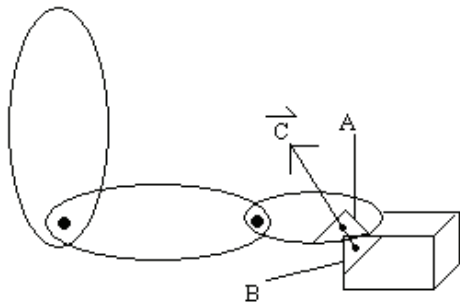
圖四、Swivel Angle 的計算

在一開始載入人體模型的檔案時，便把人體模型分成許多的小段，例如手掌、上段手臂、下段手臂、腳掌、大腿與小腿.....等區段，再把每一個區段和障礙物都製作成 PQP 模組裡的一種資料結構 PQPModel 之後，在每一次要檢查碰撞時就分別把每一個區段的 PQPModel 和障礙物的 PQPModel 一起放進 PQP 模組裡來檢查是否有碰撞。在檢查過後便知道人體模型是否跟障礙物有所碰撞，若有碰撞也可以知道是哪一個部位發生碰撞，進而做出人體模型不同部位在碰撞之後的不同反應。

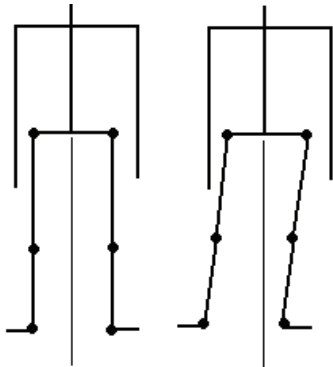
4.1.3 產生反射動作

在整合好這兩個模組 IKAN 與 PQP 之後，便可以開始針對主要動作中若發生與障礙物碰撞後的處理，也就是人體模型在執行主要動作時突然觸碰到危險源時所將發生的反射動作。

在我們的系統中，產生反射動作的作法是在人體模型執行既定動作的同時，每移動一次四肢就做一次的碰撞檢查，確認沒有碰撞之後再繼續下一步的動作。若是 PQP 模組檢查出碰撞發生，則計算出人體模型和障礙物表面發生碰撞的多邊形中心（在 PQP 模組之下是以三角形的陣列來表現出表面的形狀）。在計算出兩個表面三角形的中心之後，將人體模型表面碰撞三角形的中心座標位置減去障礙物表面碰撞三角形的中心座標位置以得到一條從障礙物表面到人體模型表面的向量（如圖五所示）。我們將這條向量當作是人體模型



圖五、離開障礙物之向量的計算



圖六、雙腳變換重心的計算

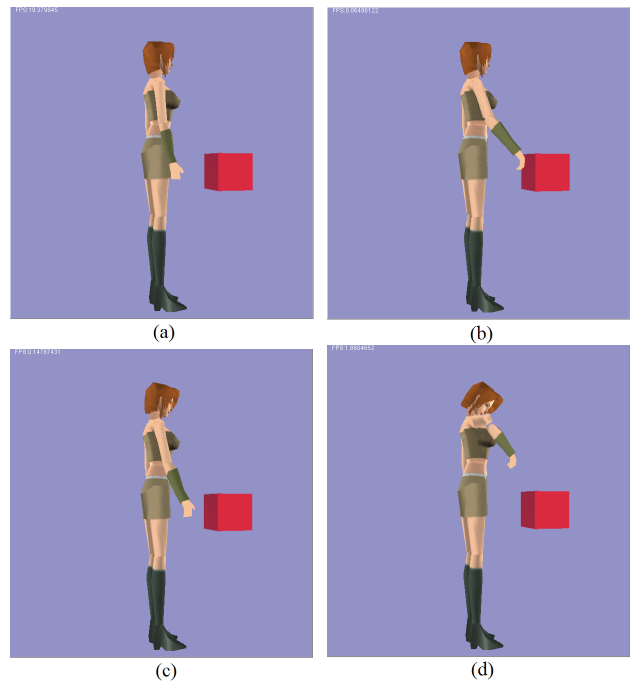
碰撞部位的離開向量。

圖五中的三角形 A 和 B 分別是人體模型表面的三角形與障礙物表面的三角形，A 與 B 碰撞之後產生的向量 C 即為人體模型四肢離開障礙物的方向向量。

在依照障礙物的危險程度將此向量的長度調整完畢之後，這個向量就是人體模型的四肢與障礙物碰撞之後的離開向量。若與障礙物碰撞的點在人體模型四肢的上端關節到中間關節之間，則選擇四支的中間關節來做為系統指定動作的端點；若與障礙物碰撞的點在人體模型四肢的中間關節到末端關節之間，則選擇四支的末端關節來作為系統指定動作的端點。在確定好離開向量與指定動作的端點之後，系統就可以取得指定動作端點的位置向量，加上離開向量便得到了人體模型四肢離開障礙物動作的最後一個位置向量。最後，在人體模型四肢的初始位置和離開動作的最後一個位置之間，依距離大小再安插入適當數量的端點，便可以得到一連串的端點。而這一連串的端點便是人體模型四肢在做出反射動作時的動作路徑。系統便依照這一條路徑使用 IKAN 模組來計算出在路徑的每一個端點上，人體四肢各個關節的轉動方向和幅度。

4.2 下意識動作

因為目前尚未可以找到有關下意識動作完整



圖七、靜止中觸摸熱源後的反射動作動畫

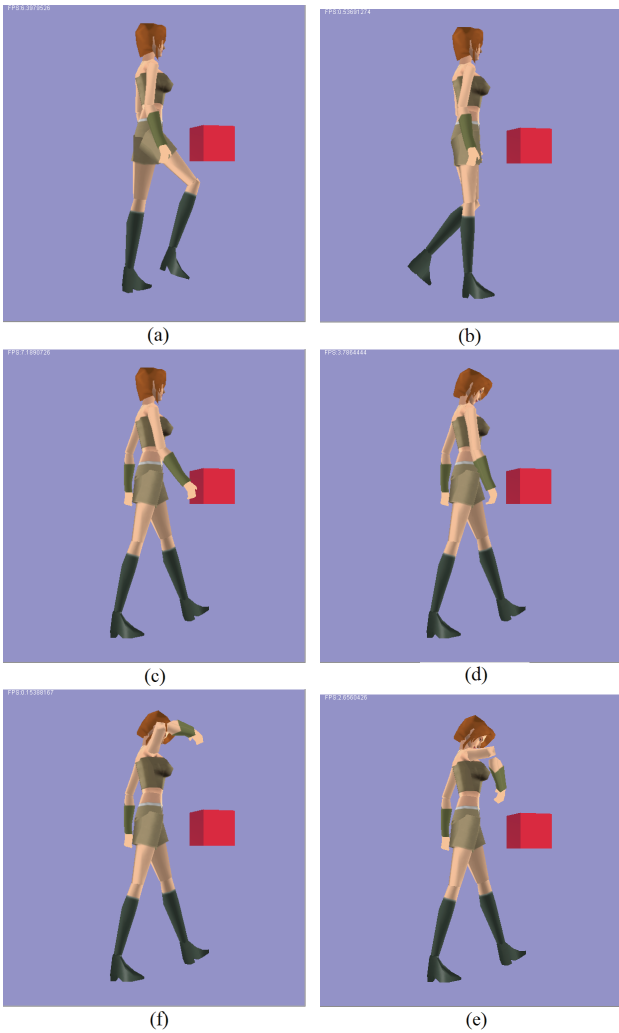
的文件來說明下意識動作的發生情境與種類，因此我們自行嘗試以觀察的方式來分類出下意識動作的種類。在本論文中，我們只選擇其中的兩項動作來進行實作，一項是雙腳變換重心的腳部細微動作，另外一項則是手部不自覺抓身體的動作。

4.2.1 雙腳變換重心

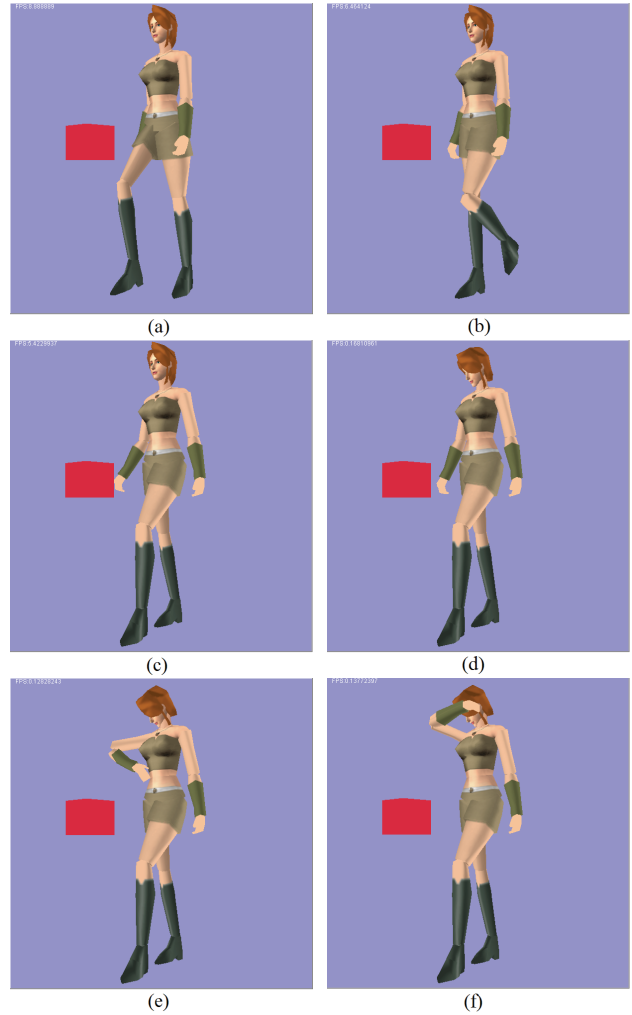
雙腳變換重心的腳部細微動作，其實作方式如下：先隨機決定要讓重心移動到哪一隻腳上，若是決定要將重心移動到人體模型的左腳上則先將目前人體模型左、右腳的腳踝作標記下，將人體模型的身體往左邊移動一小段距離。再將人體模型的左、右腳的腳踝移動回先前所記錄下來的左、右腳腳踝的座標。重複這個計算方式一直到當身體移動的幅度達到要求的值時便可停止。要移動重心到人體模型的右腳上，其規則跟上述方法相同，只是方向相反。(如圖六所示)。

4.2.2 手部不自覺抓身體

手部不自覺抓身體的動作，其實作方式為，在系統決定要執行手部抓取身體的動作時，先以亂數隨機選取要執行動作的手臂與被抓的身體部位。被抓的端點決定方式為，先以亂數隨機選取人體模型上半部的某一個部位，在那個部位上再隨機選取一個表面三角形(以選取執行動作的手臂可以直接觸碰到的三角形為選取的目標)，計算出這個三角形的中心座標，並且再從三角形的中



圖八、行走中觸摸熱源後系統自動產生的反射動作動畫



圖九、行走中觸摸較靠近身體中間的熱源後所產生的反射動作動畫

心座標跟任意一個頂點座標產生一個向量，以代表手部到達此端點之後要模擬出抓的動作的平移動作。在決定好端點座標語平移方向之後，就可以把這兩個資料放進系統當中，讓系統用 IKAN 計算出移動的路徑與抓的平移動作。

5. 結果與討論

圖七表示出將虛擬人物手掌移去碰發熱障礙物時，所產生出之反射動作的連續圖。在圖七中，(a)為剛開始的動作、(b)為碰撞發生的時候、(c)為發生的反射動作、(d)和(e)為反射動作發生後的後續動作。

圖八表示先設定虛擬人物一項既定的動作(如走路)後，再將發熱障礙物放置於虛擬人物的四肢會擺動經過的地方。在虛擬人物與發熱障礙物發生碰撞之後，系統所產生出來的反射動作連續圖如圖八。其中，(a)和(b)為走路動作、(c)為與發熱障礙物發生碰撞的時候、(d)為發生的反射動作、(e)和(f)為反射動作發生之後的後續動作。

圖九與圖八是一樣的情境但是不同的發熱障礙物位置，使得虛擬人物產生不一樣的反射動作與後續動作。圖八最後的手掌位置約在頭部的右邊，圖九最後的手掌位置約在頭部的左邊。

結果顯示，PQP 模組可以正確的檢查出碰撞發生的時間點與碰撞點，而 IKAN 模組也可以正常的運作，使得整個系統可以正確的產生反射動作，並且也可以根據障礙物的位置和與身體發生碰撞的部位一起當作參考來產生不一樣的反射動作。

6. 結論與未來發展

實作這個系統的目的在于要使程序式產生的人物動畫更生動與真實。在加入這個系統於現有的人體動畫上之後，若要探討整個人體動畫的真實性與生動性的話，幫助是有限的，畢竟只有實作出數量有限的動作。但是若只就程度上來看，加上這個系統對於人體動畫的真實性和生動度是有正面的效果的。在未來希望可以在實作出更多

的下意識動作以增進系統的能力，並且對於反射動作可以做更細微的調整，例如 Swivel Angle 的計算、探討不同部位觸碰不同危險源時的不同反應。另外，還可以就肢體間的動作做更進一步的分析；例如，探討人體軀幹與四肢間的協調與互動關係等。

7. 參考文獻

- [1] J. Allbeck, and N. Badler, "Toward Representing Agent Behaviors Modified by Personality and Emotion," in *Proceedings of AAMAS Workshop 'Embodied Conversational Agents: Let's Specify and Compare Them!*, Bologna, Italy, July 2002.
- [2] K. Ashida, S. Lee, J. Allbeck, H. Sun, N. Badler, D. Metaxas: "Pedestrians: Creating agent behaviors through statistical analysis of observation data," in *Proceedings of IEEE Conference on Computer Animation* pp. 84—92. Seoul. Korea, 2001.
- [3] A. Garcia-Rojas, F. Vexo, D. Thalmann, "Individualized Reaction Movements For Virtual Humans," in *Proceedings of Graphite 2006*, 2006.
- [4] D. Tolani, A. Goswami, and N. Badler. "Real-time inverse kinematics techniques for anthropomorphic limbs," in *Proceedings of Graphical Models* ,62(5), pp. 353-388, Sept. 2000.
- [5] Humanoid Animation Working Group, <http://www.h-anim.org/Specifications/H-Anim200x/ISO_IEC_FCD_19774/>
- [6] IKAN(Inverse Kinematics using Analytical Methods),< <http://hms.upenn.edu/software/ik/>>
- [7] T. Kang, J. He, S.I. Helms Tillery, "Determining natural arm configuration along a reaching trajectory," *Experimental Brain Research*, vol. 167, pp. 352-361, 2005.
- [8] L. Zhao, M. Costa, and N. Badler. "Interpreting movement manner," in *Proceedings of Computer Animation Conference*, pp.112–120, Philadelphia, PA, IEEE Computer Society. May 2000.
- [9] M. Gutierrez, F. Vexo, D. Thalmann, "Reflex Movements for a Virtual Human: a Biology Inspired Approach," *Proceedings of the 3rd Hellenic Conference on Artificial Intelligence, Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Springer Verlag, Samos, Greece, pp. 525 - 534, May 2004.
- [10] M.Y. Liao, and T.Y. Li, "A Scripting Language for Extensible Animation," in *Proceeding of 2003 Computer Graphics Workshop*, Taiwan, 2003.
- [11] N. Badler, D. Chi, and S. Chopra. "Virtual Human Animation Based on Movement Observation and Cognitive Behavior Models," in *Proceedings of Computer Animation Conference*, Geneva, Switzerland, May 1999.
- [12] P.L. Chen, T.Y. Li, and S.H. Li, "Autonomous Virtual Actors with Emotional Behaviors in a Multi-User Virtual Environment," in *Proceedings of 2004 Symposium on Digital Life and Internet Technologies*, Tainan, 2004.
- [13] PQP - the Proximity Query Package, <<http://www.cs.unc.edu/~geom/SSV/>>