

# 人體肢節三維動作捕捉之電腦視覺技術

學生：吳政峰

指導教授：陳稔博士

國立交通大學資訊工程學系

## 摘要

本論文目的在於改進人體動作捕捉(Motion Capture)需要以光點輔助的限制，希望經由影像處理的技術來完成人體動作的捕捉。

本論文使用二台以上攝影機分別以不同角度拍攝，並做好攝影機的校正，使影像上的二維坐標點位，經計算成三維世界座標中的點位。透過影像處理，求得各肢節的方向向量，利用事先測量好的肢節長度重定肢節點位置，再利用逆向動力學(Inverse Kinematics)將重定肢節後偏差的肢節端點及角位修正回來，完成人體動作捕捉。

文中說明如何建立逆向動力學(Inverse Kinematics)的數學模式，及如何加入限制來讓人體動作捕捉能更加精確。最後用實驗驗證所提方法，分別以二張合成人體肢節數據及二組同步序列的拍攝真實人體影像做測試，說明本文方法的標準度

# Computer Vision for 3D Human Motion Capture

student : Jheng Feng Wu

Advisors : Dr. Zen Chen

Department ( Institute ) of Computer Science and Information Engineering  
National Chiao Tung University

## ABSTRACT

This thesis addresses the vision-base human motion capture without the need of placing the markers over the human joints.

Tow or more TV cameras are required to shoot the human motion from different viewpoints. Through the two or more views computer vision techniques are applied to find the 3D positions and orientations of the end\_effectors including the head, two hands, and two foot tips, Together with the initial 3D orientation of limbs. Assuming the lengths of human limbs are known, a 3D human stick figure can be constructed using the forward kinematics (FK). Due to the impression in the 3D limb orientations, there is a need of the application of the inverse kinematics (IK) to the constructed stick figure in order to bring the constructed stick figure to the correct configuration .

In the thesis, the mathematical formulation of the inverse kinematics is given . The modification of the Cyclic Coordination Decent (CCD) method is presented. Finally synthesis data and real image sequences are used to demonstrate the major features of the method.

## 誌 謝

首先要感謝 陳 稔教授兩年來的悉心教導，這段期間培養出我獨立思考的能力，在學習態度、研究方法上也得到長足進步。每每在研究過程中遭遇困難時，老師總能積極給予幫助。因為有來自老師的援助，這篇論文才得以順利完成，在此向老師獻上無盡的謝意。

感謝實驗室全體的成員，周宏隆學長、孫樹國學長，以及方彥翔學長傳承自身經驗，不吝於給我指教，曾宣達同學則經常與我切磋琢磨，還有顧正偉學弟、徐錦祥學弟、紀文原學弟、蘇詠迪學弟，朱祐吾學弟，都曾在研究期間給予意見，謝謝你們陪我走過這一段日子。

感謝我的父母親及親愛的家人，你們無怨無悔的支持與付出，讓我能全心全意關注我的研究，在生活上無後顧之憂。你們所給我精神上的支持與鼓勵，這一切都是使我能義無反顧向前邁進的動力。

感謝我的女朋友則儀，陪我走過最艱難的一段。因為有你關心，才使我勇敢地實踐了我自己。

感謝其他許許多年的朋友。紙短情深，在此無法一一致謝，僅以本篇論文獻給你們，再次說聲謝謝！

吳政峰 於交大  
July, 2004

# 目 錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
誌謝	iii
目錄	iv
表目錄	vi
圖目錄	vii
一、 緒論	1
1.1 研究動機與目標	1
1.2 相關研究	1
1.3 研究方法介紹	2
1.4 論文組織	3
二、 基本理論	4
2.1 投影原理	5
2.2 相機參數校正	6
2.3 三度空間中的線段方向	7
2.4 三度空間中的點位置	8
三、 逆向動力學 (Inverse kinematics)	10
3.1 人體骨架模型	10
3.2 肢節點位置的重定	10
3.3 建構正向動力學的人體肢節點座標系及肢節角度	13
3.4 逆向動力學(Inverse kinematics)問題描述及定義	14
3.5 解決逆向動力學的方法：Linearized solution	15
3.6 逆向動力學解法：CCD (Cyclic Coordinate decent)	18
3.7 加強 CCD 方法	23
3.7.1 人體肢節角度限制	23
3.7.2 角度變化容忍度	26
3.7.3 隨時更新位置和方向的權數	27
四、 人體影像擷取	29
4.1 場影變化的偵測	29
4.1.1 去除光線變化	30
4.1.2 去除雜訊	31
4.2 肢節偵測	32
五、 實驗數據與結果	32
5.1 模擬解決 IK 問題結果	33
5.2 實際解決 IK 問題結果	42
六、 結論與未來工作	52

6.1 結果討論	52
6.2 未來工作	52
參考文獻	53



## 表 目 錄

表 3.1	關節活動角度限制的測量	23
表 3.2	有加角度變化容忍度與沒有加角度變化容忍度比較	26
表 3.3	權數固定與權數更新比較	27
表 5.1	End_effector 位置誤差與方向誤差收斂比較	33
表 5.2	有加角度變化容忍度與沒有加角度變化容忍度比較	40



## 圖目錄

圖 1.1	研究流程	2
圖 2.1	WCS、CCS 及 ICS 間的關係	4
圖 2.2	平行投影示意圖	5
圖 2.3	透視投影示意圖	5
圖 2.4	相機校正用影像	6
圖 2.5	求解三度空間線段方向示意圖	7
圖 2.6	求解三度空間點位置示意圖	8
圖 3.1	制定人體骨架規格圖	10
圖 3.2	重定肢節點位置重定示意圖(a)	11
圖 3.2(續)	重定肢節點位置重定示意圖(b)	12
圖 3.2(續)	重定肢節點位置重定示意圖(c)	13
圖 3.3	定義人體肢節點區域座標系	13
圖 3.4	逆向動力學多重解示意圖	15
圖 3.5	解逆向動力學疊代過程	15
圖 3.6	外力與力矩關係示意圖	16
圖 3.7	利用 Jacobian Transpose 解逆向運動學疊代過程	17
圖 3.8	Jacobian Transpose 發生歧點(singularity)示意圖	17
圖 3.9	CCD Method 定義	18
圖 3.10	CCD Method 疊代順序樹狀圖	21
圖 3.11	CCD Method 流程圖	22
圖 3.12(a)	為模擬出正確的人體動作	28
圖 3.12(b)	為所要修正的人體動作	28
圖 3.12(c)	為經過修正後的結果	28
圖 4.1	攝影機所拍攝之影像(a)-(d)	29
圖 4.2	場影變化偵測	30
圖 4.3	去除陰影	31
圖 4.4	component Labeling 示意圖	31
圖 4.5	去除雜訊	32
圖 5.1	(a)模擬出正確的人體動作	34
	(b)角度加入雜訊的人體動作	34
	(c)修正完後的結果(隨時更新權數)	34
	(d)修正完後的結果(固定權數)	34
圖 5.2	頭部位置誤差收斂比較圖	35
	(a1)隨時更新權數	35

	(a2)固定權數 . . . . .	35
圖 5.2(續)	頭部 X 軸方向角度誤差收斂比較圖 . . . . .	35
	(b1)隨時更新權數 . . . . .	35
	(b2)固定權數 . . . . .	35
圖 5.2(續)	頭部 Y 軸方向角度誤差收斂比較圖 . . . . .	35
	(c1)隨時更新權數 . . . . .	35
	(c2)固定權數 . . . . .	35
圖 5.2(續)	頭部 Z 軸方向角度誤差收斂比較圖 . . . . .	36
	(d1)隨時更新權數 . . . . .	36
	(d2)固定權數 . . . . .	36
圖 5.2(續)	左手位置誤差收斂比較圖 . . . . .	36
	(a1)隨時更新權數 . . . . .	36
	(a2)固定權數 . . . . .	36
圖 5.2(續)	左手 X 軸方向角度誤差收斂比較圖 . . . . .	36
	(b1)隨時更新權數 . . . . .	36
	(b2)固定權數 . . . . .	36
圖 5.2(續)	左手 Y 軸方向角度誤差收斂比較圖 . . . . .	37
	(c1)隨時更新權數 . . . . .	37
	(c2)固定權數 . . . . .	37
圖 5.2(續)	左手 Z 軸方向角度誤差收斂比較圖 . . . . .	37
	(d1)隨時更新權數 . . . . .	37
	(d2)固定權數 . . . . .	37
圖 5.2(續)	右手位置誤差收斂比較圖 . . . . .	37
	(a1)隨時更新權數 . . . . .	37
	(a2)固定權數 . . . . .	37
圖 5.2(續)	右手 X 軸方向角度誤差收斂比較圖 . . . . .	38
	(b1)隨時更新權數 . . . . .	38
	(b2)固定權數 . . . . .	38
圖 5.2(續)	右手 Y 軸方向角度誤差收斂比較圖 . . . . .	38
	(c1)隨時更新權數 . . . . .	38
	(c2)固定權數 . . . . .	38
圖 5.2(續)	右手 Z 軸方向角度誤差收斂比較圖 . . . . .	38
	(d1)隨時更新權數 . . . . .	38
	(d2)固定權數 . . . . .	38
圖 5.2(續)	右腳位置誤差收斂比較圖 . . . . .	39
	(a1)隨時更新權數 . . . . .	39
	(a2)固定權數 . . . . .	39

圖 5.2(續)	右腳 X 軸方向角度誤差收斂比較圖 . . . . .	39
	(b1)隨時更新權數 . . . . .	39
	(b2)固定權數 . . . . .	39
圖 5.2(續)	右腳 Y 軸方向角度誤差收斂比較圖 . . . . .	39
	(c1)隨時更新權數 . . . . .	39
	(c2)固定權數 . . . . .	39
圖 5.2(續)	右腳 Z 軸方向角度誤差收斂比較圖 . . . . .	40
	(d1)隨時更新權數 . . . . .	40
	(d2)固定權數 . . . . .	40
圖 5.3	人體動作捕捉，時間 T=1 . . . . .	42
圖 5.4	將人體從背景中擷取出來，時間 T=1 . . . . .	42
圖 5.5	標示 End_effector 及肢節向量，時間 T=1 . . . . .	42
圖 5.6	IK 修正 End_effector，時間 T=1 . . . . .	43
圖 5.6(續)	IK 修正 End_effector，時間 T=1 . . . . .	44
圖 5.7	人體動作捕捉，時間 T=10 . . . . .	45
圖 5.8	將人體從背景中擷取出來，時間 T=10 . . . . .	45
圖 5.9	標示 End_effector 及肢節向量，時間 T=10 . . . . .	45
圖 5.10	IK 修正 End_effector，時間 T=10 . . . . .	46
圖	IK 修正 End_effector，時間 T=10 . . . . .	47
5.10(續)		
圖 5.11	人體動作捕捉，時間 T=18 . . . . .	48
圖 5.12	將人體從背景中擷取出來，時間 T=18 . . . . .	48
圖 5.13	標示 End_effector 及肢節向量，時間 T=18 . . . . .	48
圖 5.14	IK 修正 End_effector，時間 T=18 . . . . .	49
圖	IK 修正 End_effector，時間 T=18 . . . . .	50
5.14(續)		
圖 5.15	一序列 Motion Capture 的骨架圖 . . . . .	51