


基於行為模式之多機器人協調控制

學生：孫柏秋

指導教授：宋開泰 博士

國立交通大學電機與控制工程學系

摘要



對於一個多機器人系統而言，機器人間彼此間是否有好的協調與溝通將直接影響到團隊任務執行的效果，為此本篇論文提出了一個基於行為模式之多機器人協調控制架構，其目的在於促使整個機器人團隊藉由良好的協調來自主並有效率地完成如合作搬運目標物或合力驅逐入侵者等需要團隊合作之任務。除了合作式之協調控制架構本體外，本論文對於其中各個行為模式之功能皆有詳細的設計及描述，並透過全向式影像系統之視覺回授及 RF 無線傳輸模組之無線通訊功能來實現此一架構的功能。論文中將會以機器人團隊之隊形維持的模擬結果及合作搬運的實驗成果來驗證此架構之可行性。

Behavior-Based Multi-Robot Coordination Control

Student: Po-Chiu Sun

Advisor: Dr. Kai-Tai Song

Department of Electrical and Control Engineering
National Chiao Tung University

ABSTRACT

For a multi-robot system, the coordination and communication of robots directly affect the performance of multi-robot team performance. For this reason, this thesis proposes a hybrid behavior-based coordination control architecture. The goal is to promote the whole robot team to complete the cooperative task, such as cooperative load pushing or formation maintenance. Besides the adaptive coordination control architecture itself, detailed functional design and description of formation behaviors are also presented. Vision feedback ability by omnidirectional image system as well as wireless communication of robots by RF wireless modules has been realized to complete functionality of this architecture. In this thesis, simulation results of multi-robot formation maintenance and experimental result of cooperative box-pushing task are described to verify the feasibility of this architecture.

誌謝

謹向我的指導教授宋開泰博士致上感謝之意，感謝他二年來對於我的專業指導及在生活上的關懷，以他豐富的學識與經驗，配合實務的應用，使得此論文得以順利完成。

感謝與我共同奮鬥的同學崇民、松峙、鎮源及維祥的相互鼓勵及提攜，並感謝實驗室嘉豪、任詔、奇謚和孟儒學長在實作及理論上的指點，以及學弟晉懷、忠憲、宏宜、鎮謙和富全在生活上帶來的樂趣，使我可以在研究閒暇之餘，能與你們共同分享各種經驗。

最後，感謝我的父母，由於他們的辛苦栽培，並在生活上給予無窮的關懷及照料。且由於他們無怨無悔的犧牲與支持，才使得我得以順利地完成此論文，在此我願以此論文獻給我最感激的父母親。



目錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
誌謝	iii
目錄	iv
圖例	vii
表格	xi
第一章 緒論	1
1.1 研究動機	1
1.2 相關研究回顧	2
1.3 問題描述	6
1.4 章節說明	7
第二章 多機器人協調控制架構與行為設計	8
2.1 基於行為模式之基本機器人控制理論	8
2.2 基於行為模式之多機器人協調控制架構	10
2.3 個別行為功能設計	15
2.3.1 隨機探索 (Wandering)	15
2.3.2 閃避障礙物 (Obstacle Avoidance)	15
2.3.3 閃避機器人隊友 (Inter-Robot Collision Avoidance)	16
2.3.4 趨近目標物 (Target Approaching)	17
2.3.5 前往目的地 (Goal Approaching)	18
2.3.6 原地等待 (Waiting)	19
2.3.7 靠近隊長 (Master Approaching)	20
2.3.8 隊形維持 (Formation Maintenance)	21
第三章 視覺回授與全向式影像系統	25

3.1	硬體描述.....	26
3.2	環境影像擷取.....	27
3.3	色彩辨識處理.....	28
3.4	相對距離及角度估測.....	30
3.5	與PC端之資料溝通.....	34
3.6	結果與測試.....	35
第四章	機器人通訊與RF無線傳輸模組.....	36
4.1	元件特性.....	36
4.2	微控器介面電路設計.....	42
4.3	多機器人無線通訊協定.....	44
第五章	模擬結果.....	46
5.1	模擬環境一.....	46
5.2	模擬環境二.....	50
5.3	模擬環境三.....	54
5.4	模擬環境四.....	57
5.5	模擬環境五.....	62
5.6	模擬結果與討論.....	66
第六章	實驗結果.....	68
6.1	機器人系統描述.....	68
6.2	三台機器人之協調隊形維持實驗.....	70
6.2.1	實驗說明與描述.....	70
6.2.2	實驗結果與討論.....	73
6.3	三台機器人之合作搬運實驗.....	76
6.3.1	實驗說明與描述.....	76
6.3.2	實驗結果與討論.....	79
第七章	結論與未來展望.....	81



7.1 結論.....	81
7.2 未來展望.....	81
參考文獻.....	83



圖例

圖 1-1	Obstruction of way by a mobile robot group.....	2
圖 1-2	Formation of robots changing shapes.....	3
圖 1-3	Graph modeling for a group of 5 robots.....	4
圖 1-4	為了計算移動向量大小所定義的三個區域.....	5
圖 1-5	在各種不同隊形下邊維持隊形邊閃避障礙物的機器人團隊.....	6
圖 2-1	Subsumption Architecture.....	8
圖 2-2	Schema-based Architecture.....	9
圖 2-3	Adaptive Behavior-based Multi-robot Coordination Control Architecture.....	14
圖 2-4	機器人與障礙物之相對位置示意圖.....	16
圖 2-5	機器人與機器人之相對位置示意圖.....	17
圖 2-6	機器人與目標物之相對位置示意圖.....	18
圖 2-7	機器人與預定目的地之相對位置示意圖.....	19
圖 2-8	Follower Robot 與 Leader Robot 之相對位置示意圖.....	21
圖 2-9	以 Master 為基準之座標系上各座標位置示意圖.....	22
圖 2-10	以 Slave 為基準之座標系上各座標位置示意圖.....	23
圖 2-11	ψ_{LF} 之推導關係圖.....	23
圖 2-12	Follower Robot 與預定隊形位置之相對位置示意圖.....	24
圖 3-1	全向式影像系統實體圖.....	25
圖 3-2	全向式影像系統原理示意圖.....	25
圖 3-3	DSP 影像平台系統架構圖.....	27
圖 3-4	原始環境影像.....	27
圖 3-5	Detection Window 之各項參數示意圖.....	28
圖 3-6	色彩範圍尋找工作流程圖.....	29
圖 3-7	Robot 3 擷取之原始環境影像.....	30

圖 3-8	經由二值化過程後之環境影像.....	30
圖 3-9	目標物(黃色部分)在經過二值化流程後已被正確地框選出來.....	30
圖 3-10	實際空間座標點在全向式影像系統之影像平面上的投影關係.....	31
圖 3-11	Robot 1 之影像平面距離(Pixel)與實際空間距離(m)之關係圖.....	32
圖 3-12	Robot 1 之影像平面距離與實際空間距離之二次近似曲線.....	32
圖 3-13	黃色目標物與Robot間之相對角度 θ 定義圖.....	33
圖 3-14	全向式影像系統輸出至PC端之資料格式.....	34
圖 4-1	RF 無線傳輸模組實體圖.....	37
圖 4-2	雙通道模式示意圖.....	37
圖 4-3	雙通道模式下同時接受兩個獨立通道所傳送之資料示意圖.....	37
圖 4-4	RF 無線傳送、接收模組之初始組態設定時序圖.....	38
圖 4-5	ShockBurst 模式下的資料傳送速率示意圖.....	39
圖 4-6	ShockBurst 模式下之 RF 傳送模組資料傳送時序圖.....	39
圖 4-7	RF 無線傳輸模組之傳送端資料處理程序流程圖.....	40
圖 4-8	RF 無線傳輸模組之接收端資料處理程序流程圖.....	41
圖 4-9	RF 模組之微控器介面電路圖.....	43
圖 4-10	RF 模組與微控器介面電路實體圖.....	43
圖 5-1	模擬環境一之場景圖.....	48
圖 5-2	模擬環境一之各機器人軌跡圖(由開始至隊形組成，虛線部分為靠近隊長之軌跡).....	48
圖 5-3	模擬環境一之各機器人軌跡圖(隊形維持過程).....	49
圖 5-4	模擬環境一之各機器人模式狀態變化.....	49
圖 5-5	模擬環境一之各機器人行為狀態變化.....	50
圖 5-6	模擬環境二之場景圖.....	51
圖 5-7	模擬環境二之各機器人軌跡圖(由開始至隊形組成，虛線部分為靠近隊長之軌跡).....	52

圖 5-8	模擬環境二之各機器人軌跡圖(隊形維持過程).....	52
圖 5-9	模擬環境二之各機器人模式狀態變化.....	53
圖 5-10	模擬環境二之各機器人行為狀態變化.....	53
圖 5-11	模擬環境三之場景圖.....	55
圖 5-12	模擬環境三之各機器人軌跡圖(由開始至隊形組成，虛線部分為靠近隊長之軌跡).....	55
圖 5-13	模擬環境三之各機器人軌跡圖(隊形維持過程).....	56
圖 5-14	模擬環境三之各機器人模式狀態變化.....	56
圖 5-15	模擬環境三之各機器人行為狀態變化.....	57
圖 5-16	模擬環境四之場景圖.....	59
圖 5-17	模擬環境四之各機器人軌跡圖(第一次開始至隊形組成，時間 $t = 0 \sim 80$ 秒).....	59
圖 5-18	模擬環境四之各機器人軌跡圖(第一次隊形維持過程，時間 $t = 80 \sim 128$ 秒).....	60
圖 5-19	模擬環境四之各機器人軌跡圖(第二次隊形組成，時間 $t = 230 \sim 312$ 秒).....	60
圖 5-20	模擬環境四之各機器人軌跡圖(第二次隊形維持過程，時間 $t = 312 \sim 364$ 秒).....	61
圖 5-21	模擬環境四之各機器人模式狀態變化.....	61
圖 5-22	模擬環境四之各機器人行為狀態變化.....	62
圖 5-23	模擬環境五之場景圖.....	64
圖 5-24	模擬環境五之各機器人軌跡圖(由開始至隊形組成，虛線部分為靠近隊長之軌跡).....	64
圖 5-25	模擬環境五之各機器人軌跡圖(隊形維持過程).....	65
圖 5-26	模擬環境五之各機器人模式狀態變化.....	65
圖 5-27	模擬環境五之各機器人行為狀態變化.....	66
圖 6-1	三台機器人實體.....	68
圖 6-2	機器人之硬體系統架構.....	69
圖 6-3	機器人之硬體裝置架構圖.....	69
圖 6-4	DSP 馬達控制系統架構圖.....	70

圖 6-5	三台機器人之協調隊形維持實驗場景圖.....	71
圖 6-6	朝向角差 ψ_{LF} 與兩個相對角度 θ_{FL} 及 θ_{LF} 之相對關係圖.....	72
圖 6-7	相對角度之無線傳輸協定.....	72
圖 6-8	三台機器人之協調隊形維持實驗.....	75
圖 6-9	協調隊形維持之三台機器人軌跡.....	75
圖 6-10	三台機器人之合作搬運實驗.....	78
圖 6-11	合作搬運之三台機器人軌跡.....	79
圖 6-12	合作搬運之三台機器人狀態模式.....	80



表格

表 1-1	四種基本行為及其權重大小.....	5
表 3-1	在 Color Threshold 模式下所找出的各顏色 YUV 範圍.....	28
表 4-1	機器人無線通訊協定之訊息代碼.....	44
表 4-2	不同 Master 情況下之 Slave 相對關係.....	45
表 5-1	五個模擬之任務內容及結果比較.....	67
表 6-1	三台機器人之硬體規格.....	69

