

# 明新科技大學 校內專題研究計畫成果報告

## 智慧型機器人應用於土木工程檢監測之研究 The Study of Intelligent Robots in Inspections and Monitors for Civil Engineering

計畫類別：任務型計畫 整合型計畫 個人計畫

計畫編號：MUST-97 土木-04

執行期間：97 年 1 月 1 日至 97 年 9 月 30 日

計畫主持人：張家瑞

共同主持人：

計畫參與人員：廖國行總經理 全線通訊股份有限公司

黃遵成、劉佩君 營建工程與管理研究所

處理方式：公開於校網頁

執行單位：工學院 土木工程系

中 華 民 國 九 十 七 年 十 月 三 十 日

## 中文摘要

為能評估機器人技術於土木工程檢測之可行性，本計畫蒐集與彙整國內外產業用與服務用智慧型機器人的相關資料，透過世界專利資料庫瞭解各國機器人的技術佈局，掌握機器人市場與需求，由政策面、產品應用面、產業面與技術能量面等層次，瞭解機器人研發廠商、學術與研究單位等概況，整理分析各國目前在機器人產業的現況與未來發展方向。計畫執行中並透過專家訪談與資料收集，掌握機器人技術應用於土木工程之案例與成果，並分析近年國家營建自動化政策之發展及未來趨勢，將機器人於營建產業的研發工作按產業需求面、技術發展面、應用推廣面、執行策略面、問題限制面等予以具體列述及探討，彙整作為後續實體機器人研發參採。計畫並提出以道路工程為近程研發對象，發展應用於道路檢測之實體智慧型機器人。

關鍵字：智慧型機器人、土木工程、檢監測、營建自動化。

## ABSTRACT

The infrastructures need to be maintained and rehabilitated all over the world, including highways, bridges, etc. Each year, a great amount of resources is consumed on regular inspections, monitoring and evaluations, in order to properly maintain serviceability of the infrastructures. However, most of the inspection and maintaining processes are routine work, requiring immense man-hours. Therefore, to have a fast and effective automated method on inspections and monitors has become highly important. In this project, we proposed the idea of development of a robot-based inspection and monitor methods. By introducing robotics, sensors, artificial intelligence, an autonomous robot was studied for the feasibility of inspections and monitors for civil engineering via expert interviews. The aspects of demands, techniques, applications, strategies, and restrictions for the application of robots to civil engineering were inducted for further studies. Furthermore, in the light of present shortcomings of pavement inspections, the idea of robot development for pavement inspections was proposed.

Keywords: Intelligent Robot 、 Civil Engineering 、 Inspections and Monitors 、 Automation in Construction

# 目 錄

中文摘要	I
ABSTRACT	II
目錄	III
圖目錄	V
表目錄	VI
第一章 緒論	1-1
1.1 研究背景	1-1
1.2 研究目的	1-1
1.3 研究範圍與對象	1-1
1.4 研究重要性	1-2
1.5 研究流程	1-2
第二章 機器人科技回顧	2-1
2.1 機器人定義、起源與發展	2-1
2.2 國外機器人發展	2-1
2.3 國內機器人發展	2-8
2.3.1 台灣發展現況與分析	2-11
2.3.2 國內工業機器人評述	2-13
2.4 機器人專利	2-15
2.5 小結	2-20
第三章 與臺大土木系電腦輔助工程實驗室跨校合作現況	3-1
3.1 輪型機器人機構設計、組裝與測試	3-1
3.2 虛擬機器人之發展與測試	3-3
3.3 機器人感知元件與定位系統	3-4
3.4 迄今發表論文清單	3-6
第四章 智慧型機器人於土木營建產業之發展方向與策略	4-1
4.1 產業需求面	4-3
4.2 技術發展面	4-4
4.3 應用推廣面	4-4
4.4 執行策略面	4-8
4.5 問題限制面	4-10

第五章 結論與建議	5-1
5.1 結論	5-1
5.2 建議	5-4
參考文獻	參-1
附錄 明新科技大學 <u>97</u> 年度 研究計畫執行成果自評表	

## 圖 目 錄

圖 1-1	研究流程圖	1-3
圖 2-1	1998 至 2003 年主要國家產業用智慧型機器人年銷售量統計	2-4
圖 2-2	1998 至 2003 年主要國家產業用智慧型機器人運作數量累計	2-5
圖 2-3	1998 至 2003 年主要國家產業用智慧型機器人市值預估	2-5
圖 2-4	2002 至 2003 產業用智慧型機器人年裝置數量及 2004 至 2007 預測	2-5
圖 2-5	2003-07 年服務機器人專業領域應用市場現況/預測 (裝置數量)	2-7
圖 2-6	2003-07 年服務機器人專業領域應用市場現況/預測 (總金額)	2-7
圖 2-7	機器人相關專利成長趨勢圖	2-16
圖 2-8	機器人相關專利所屬國家分析	2-17
圖 2-9	依申請人國籍別區分之機器人專利申請件數	2-17
圖 2-10	依申請人國籍別之申請件數比率之機器人專利申請件數	2-18
圖 2-11	依應用領域別區分之各個申請市場佔有率	2-18
圖 2-12	服務型機器人應用領域 (國籍別累積件數)	2-19
圖 2-13	受矚目技術開發主題中累積之申請件數	2-19
圖 3-1	機器人硬體架構	3-2
圖 3-2	機器人感應器：(a)距離測量；(b)方向角測量	3-2
圖 3-3	機器人系統設計示意圖	3-2
圖 3-4	全向輪	3-3
圖 3-5	MicroSoft Robotics Developer Studio (MSRDS)開發環境	3-3
圖 3-6	Player/Stage 開發介面	3-4
圖 3-7	機器人於已知地圖之初始位置	3-5
圖 3-8	機器人於運動間之同步定位示意圖	3-6
圖 4-1	智慧型機器人分析架構圖	4-3

## 表 目 錄

表 2-1	世界各國產業用機器人現況及 2009 年預估值	2-3
表 2-2	主要國家地區工業機器人裝置/運作中數量及其預估量	2-4
表 2-3	2004 至 2007 年服務機器人預估裝置數量與價值	2-7
表 2-4	機械工業重點項目產值與發展目標	2-9
表 2-5	我國發展智慧型機器人產業目標	2-9
表 2-6	我國智慧型服務機器人 SWOT 分析	2-12
表 2-7	我國機器人進出口金額統計 (2001/01~2007/06) (單位：美元)	2-14
表 2-8	我國機器人進口前五大國家 (單位：千美元)	2-15
表 2-9	我國機器人出口前五大國家 (單位：千美元)	2-15
表 2-10	機器人受矚目技術一覽表	2-20
表 3-1	明新科技大學土木工程系與國立臺灣大學土木工程學系合作協議備忘錄	3-8
表 4-1	【智慧型機器人於營建產業應用研討會】議程	4-2
附錄	明新科技大學 97 年度 研究計畫執行成果自評表	

# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景

機器人產業為一高度技術整合、高關聯性且具備高附加價值的明星產業，是國家經濟與工業整體發展之關鍵性指標。機器人研發是許多技術的結晶，最初的工業用機器人至少包含機械工程、自動化控制、電子及感應器等技術，而近年的智慧型機器人更加入人工智慧、資訊軟體、通訊、安全系統、創意內容等相關技術。現今的機器人科技是一項集合光、機、電、自動化訊息於一身的高科技產業，由一個國家機器人發展水準的高低即可代表一個國家的綜合實力。

本計畫將回顧國內外機器人技術的發展近況，透過「智慧型機器人於營建產業應用研討會」的辦理，匯集營建產官學研專家的寶貴意見，將機器人於土木工程產業的研發推展工作按產業需求面、技術發展面、應用推廣面、執行策略面、問題限制面進行具體列述及探討，彙整作為實體機器人開發時參採。本文同時針對當前道路檢測技術可改善的空間，提出以智慧型機器人應用於道路檢測的構想並進行闡述。

## 1.2 研究目的

為能評估機器人技術於土木工程檢監測之可行性，本計畫收集與彙整國內外產業用與服務用智慧型機器人的相關資料，透過世界專利資料庫瞭解各國機器人的技術佈局，及「智慧型機器人於營建產業應用研討會」的辦理，透過專家訪談與資料收集，掌握各國將機器人技術應用於土木工程之現況案例與成果，掌握機器人市場與需求，由政策面、產品應用面、產業面與技術能量面等層次，瞭解機器人研發廠商、學術與研究單位等概況，整理分析各國目前在機器人產業的現況與未來發展方向。計畫並提出以道路工程為近程研發對象，發展應用於道路檢測之實體智慧型機器人。

## 1.3 研究範圍與對象

名古屋大學福田敏男教授認為，機器人的研究乃是從「自己想做出什麼樣的機器人」開始，亦即機器人的研究係屬統合型的學問，此與多數研究領域為分析型的知識一如道路鋪面材料的研究為從分析瀝青、粒料、黏結料的性質開始—有很大不同。日本機器人專家千葉大學古田貴之教授亦指出，「消費者乃是主導機器人發展的關鍵」，因此，如何開拓機

器人市場需要長時間廣泛收集資訊詳加思考，並與機器人應用領域的專家多方交換意見，規劃出務實的發展策略與實際可行的施行架構。參酌這些著名機器人研究學者之看法，本計畫的研究範圍與對象分為兩大領域：

1. 國內外機器人技術現況與未來發展等相關資料的收集與彙整：除掌握產業用與服務用智慧型機器人的資料外，依據收集文獻，著重於智慧型機器人技術與應用進行深入探討與評析。
2. 機器人應用於土木工程之檢監測：瞭解目前機器人應用於土木工程之國內外現況，掌握發展成果外，配合前項文獻資料收集成果，透過辦理「智慧型機器人於營建產業應用研討會」，將機器人於土木營建產業的研發推展工作按產業需求面、技術發展面、應用推廣面、執行策略面、問題限制面進行具體列述及探討，俾便彙整作為未來實體機器人開發時參採。

## 1.4 研究重要性

近年來政府明確地將機器人研發列為重要政策之一，大力補助機器人相關技術的研究經費，並以之作為產業界與學術界間的橋梁，促進產官學界的整合，企圖帶動台灣機器人相關技術的研發，並逐步將智慧型機器人商品化與市場化。我國電子資訊硬體產業在全球佔有舉足輕重的地位，精密機械與模具產業亦頗具規模，以此為基礎與世界機器人研究接軌，必可增進國內學術、研究機構與產業界相關研究的深度與廣度，將基礎研究與前瞻技術作有效整合，並爭取與國外團隊交流合作的機會，加速激盪出創新技術的研發。本計畫詳細說明機器人的起源與發展歷程，分析國內外機器人的發展現況，由於國內外將機器人用於土木工程的檢監測與資料收集仍處於啟蒙階段且應用尚未普及，本計畫提出將智慧型機器人應用於土木工程檢監測之構想，並將與臺灣大學土木工程學系電腦輔助工程實驗室（Computer-Aided Engineering Laboratory, CAE Lab.）跨校合作的現況作說明。

## 1.5 研究流程

本計畫之研究流程如圖 1-1 所示，研究方法及進行步驟為：

1. 機器人文獻資料收集：以次級資料的收集為主，包含專利檢索、技術文獻、展覽會議、相關研討會等，彙整國內外相關機器人產業之發展歷程、現況成果與未來趨勢，分析國內外在機器人產業推動上之政策目標、執行方法與相關績效，並針對北美、亞洲、歐洲等幾個全球主要市場進行政策面、產品應用面、產業面與技術能量面的發展比較

與研析。

2. 與臺大土木系電腦輔助工程實驗室跨校合作現況：階段性成果包含輪型機器人機構設計、組裝與測試；虛擬機器人之發展與測試；機器人感知元件與定位系統；以及彙整迄今發表之論文清單。
3. 進行機器人於土木營建產業應用之可行性研究：以機器人於土木工程應用為目標廣泛收集資料，配合「智慧型機器人於營建產業應用研討會」之舉辦，瞭解機器人應用於土木工程之產業需求、技術發展、應用推廣、執行策略、問題限制等課題，提出應用之發展方向與策略。
4. 針對土木工程之道路鋪面工程為例：針對當前道路鋪面檢測技術可改善空間，提出近程以智慧型機器人應用於道路檢測的構想並進行闡述。

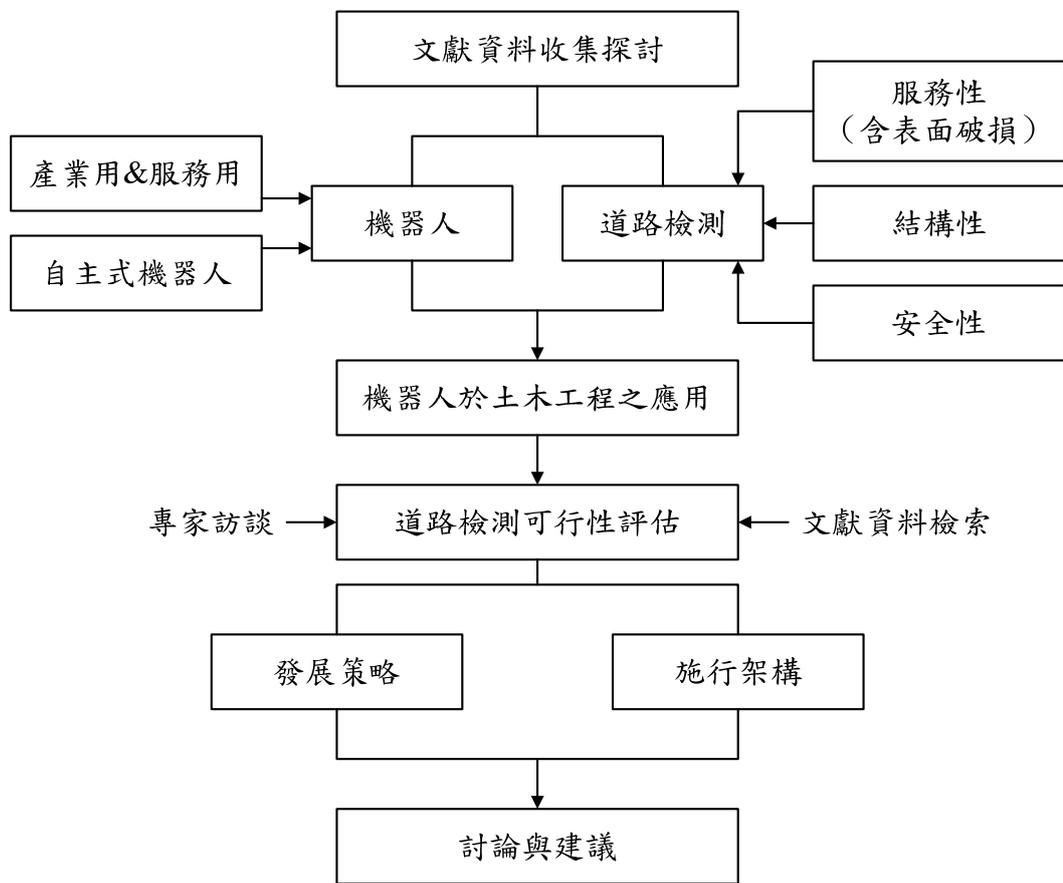


圖 1-1 研究流程圖

## 第二章 機器人科技回顧

### 2.1 機器人定義、起源與發展

一般人對機器人 (robot) 這個名詞的印象與理解通常是指一些類似人形 (anthropomorphic) 外觀的機械裝置，例如用於焊接的機器人手臂等。將機器人指稱為具有人類外觀的概念係源自機器人 (robot) 本身這個字，其來自於捷克字—robota，可廣義的譯為僕人般的勞動者 (menial laborer)。這個字最早出現於 1921 年 1 月 25 日捷克布拉格之 Karel Capek 的 R.U.R (Rossum's Universal Robots—Rossum 的通用機器人)，R.U.R 是由發明家 Rossum 所創造的一種工人，由一堆零件所構成且足夠聰明，能取代特定工作範圍內的人類，因此稱其具有通用性 (universal)，Capek 描述該工人為機器人 (robota)。隨著時代演進，機器人工程 (robotics) 發展突飛猛進，結合其他領域的知識與技術，依據機器人的智慧化程度發展出許多不同功能與類型的機器人，相關的名稱包含智慧型機器人 (Intelligent Robot, IR)、自主式機器人 (Autonomous Robot, AR) 與人工智慧機器人 (Artificial Intelligence Robot, AI Robot)，以下予以定義之。

智慧型機器人 (Intelligent Robot, IR) 是一種可自主運作的機械性生物，結合機械、自動化、電機、光學、電子、資訊軟體、通訊、安全系統、創意內容等相關技術，為一高度技術整合、高關聯性且具備高附加價值的明星產業，為國家經濟與工業整體發展之關鍵性指標。智慧 (intelligent) 表示 IR 不會無意識、重複性的運作；機械性生物說明 IR 是以機械而非生物元件所構成，IR 可透過一部電腦控制所有運作，這部電腦猶如一套神經系統或大腦，控制 IR 與他所處的世界進行互動，例如移動位置、改變運作模式等。此外，所謂的自主運作表示 IR 無須倚賴人為操作而可在所有適宜的狀況下自我運行與操作，IR 可自行適應所處環境的改變並持續達成目標或完成任務，此即所稱之自主性 (autonomy)。

讓機械智慧化運作的科學即稱為人工智慧 (artificial intelligence, AI)，人工智慧機器人 (AI robot) 即是將 AI 涵蓋之 7 大議題應用到機器人上，包含：知識呈現 (knowledge representation)、理解自然語言 (understanding natural language)、學習 (learning)、規劃與問題解決 (planning and problem solving)、推論/推理 (inference/reasoning)、搜尋 (search)、電腦視覺 (computer vision) 等。

### 2.2 國外機器人發展

機器人整合精密機械、電機電子、資訊通訊、自動化、光學等技術於一身，可代表一

個國家的綜合科技實力，就智慧型機器人產業整體而言，目前仍值事業化生命週期之萌芽期(少數產品如真空吸塵機器人與智慧型互動玩具等，可算是已進入成長期)，在此階段中，產業競爭因素主要在於技術能力、價格與服務內容等，隨著 21 世紀的社會結構逐漸轉變，朝向資訊化、高齡化、孤立化，智慧型機器人產業和資訊科技 (Information Technology, IT) 產業、生化產業同為領導未來的主要產業。

全球工業化國家與地區為因應國防軍事、勞動人力成本高漲、高齡化與醫療照護等需求，無論是政府或廠商皆投入龐大經費進行機器人研發。世界上第一台工業機器人早在 1962 年由美國所研製，機器人的發展至今已有 40 多年，隨著科技技術進步與人類需求日增，其應用範圍也從早期的工業製造延伸到現今的服務領域，新世代的機器人將不再只是存在科幻電影中的一個角色，而是真實地以多樣化的形式呈現在現實世界裡。以國外的經驗而言，美國在機器人 AI 技術方面領先，歐洲具有優良的系統整合技術，日本在機器人產業的發展已累積了多年的基礎，並擁有全球最大的機器人市場，其在智慧型控制技術上具有優勢，韓國則將智慧型機器人的發展列為其「次世代新興成長動力產業」之一，利用其 IT 技術的優勢，以連結網路的 Ubiquitous 機器人，也就是以所謂 UbiBot 為目標全力發展中，世界各國均發揮其各自的優勢，支援智慧型機器人之研發及產業化。

綜觀世界趨勢，截至目前工業用機器人仍是主流，機器人實際使用層面尚未積極，2005 年在日本愛知縣舉辦的萬國博覽會是近年來服務型機器人發展的一個重要歷程，所包含的意義除了創新應用技術的展示之外，更顯示了目前機器人的運用已經朝向多元化發展，不論是醫療照護或是娛樂教育等，讓人們對於機器人的印象從傳統工業用機器手臂演變成人類型的生活幫手，以下針對產業用機器人與服務用機器人之技術發展與歷程作介紹 [1]。

## 1. 產業用機器人

依據國際機器人聯盟 (International Federation of Robotics, IFR) 的資料顯示，各國產業用機器人的年組裝數量及可運作存量均逐年成長，IFR 更預測該成長量將以每年 5.6% 的速度持續提升，如表 2-1 [2]。另根據 IFR 及聯合國歐洲經濟委員會 (United Nations Economic Commission for Europe, UNECE) 在 2004 年出版的調查報告 (該報告亦成為聯合國的機器人白皮書)，由該報告可看出，各國在技術發展與應用推廣上逐漸增加挹注的資源比重，把機器人視為國家的下一個重點發展產業。

表 2-1 世界各國產業用機器人現況及 2009 年預估值 [2]

國家	每年的組裝數量				每年終的可運作存量			
	2004	2005	2006	2009	2004	2005	2006	2009
美洲	15,400	21,555	17,200	20,100	126,961	143,203	153,500	182,500
巴西	208	320			2,352	2,672		
北美(加拿大、墨西哥、美國)	15,170	21,136	16,500	19,100	123,663	139,553	149,400	176,000
其他美洲國家	22	99			946	978		
亞洲、澳洲	52,311	76,047	65,000	76,000	443,193	481,664	502,000	583,000
中國	3,493	4,461			7,096	11,557		
印度	369	450			619	1,069		
印尼	74	193			121	314		
日本	37,086	50,501	40,000	46,000	356,483	373,481	372,000	388,500
馬來西亞	250	243			1,452	1,695		
菲律賓	65	80			93	173		
大韓民國	5,457	13,005			51,302	61,576		
新加坡	244	424			5,443	5,463		
臺灣	3,680	4,096			11,881	15,464		
泰國	757	1,458			1,014	2,472		
越南	14	99			14	113		
其他亞洲國家	170	124			3,505	3,349		
澳洲/紐西蘭	652	913			4,170	4,938		
歐洲	29,409	28,863	28,200	33,800	279,019	297,374	307,700	345,400
奧地利	545	485			3,907	4,148		
比荷盧三國關稅同盟	536	1,097			8,749	9,362		
丹麥	296	354			2,342	2,661		
芬蘭	401	556			3,712	4,159		
法國	3,009	3,275	3,000	3,700	28,133	30,434	32,200	37,900
德國	13,401	10,506	10,700	13,000	120,544	126,725	132,300	142,700
義大利	5,679	5,425	5,100	6,200	53,244	56,198	58,900	66,400
挪威	61	115			724	811		
葡萄牙	211	144			1,488	1,542		
西班牙	2,826	2,649			21,893	24,081		
瑞典	833	939			7,341	8,028		
瑞士	310	442			3,539	3,732		
土耳其	24	207			196	403		
英國	785	1,363	800	1,200	14,176	14,948	14,700	14,300
中歐/東歐其他國家	419	1,149			8,372	9,337		
其他歐洲國家	73	157			659	805		
非洲	87	204	220	250	430	634	900	1,600
總計	97,207	126,669	110,620	130,150	849,603	922,875	964,100	1,112,500

針對「產業/工業用」機器人的統計數據：2003 年全球產業用機器人的安裝數量有 81,776 台，累計運作使用中的產業用機器人有 800,772 台；預估至 2007 年，全球多用途產業用機器人的年裝置數量累計將達到 106,300 台，運作使用中數量累計將達到 997,700 台的規模，如表 2-2、圖 2-1 至 2-4 [3]所示；安裝與使用產業用智慧型機器人數量名列前位的國家有日本、美國、德國、義大利、韓國、法國、西班牙等國家。

表 2-2 主要國家地區工業機器人裝置/運作中數量及其預估量 [3]

年度 國家地區別	每年安裝數量				年底作業存量			
	2002	2003	2004	2007	2002	2003	2004	2007
日本	25,373	31,588	33,200	41,300	350,169	348,734	352,200	349,400
美國	9,955	12,693	12,800	15,900	103,515	112,390	121,300	145,100
歐盟	26,096	27,114	28,800	34,400	233,769	249,200	266,100	325,900
其他歐洲國家	582	922	1,000	1,300	11,009	11,409	11,900	14,200
亞洲/澳洲	5,123	6,695	7,200	8,900	60,427	65,419	69,900	78,500
其他國家	1,466	2,764	3,200	4,500	11,216	13,620	16,500	27,200
總計	68,595	81,776	86,200	106,300	770,105	800,772	886,200	997,700

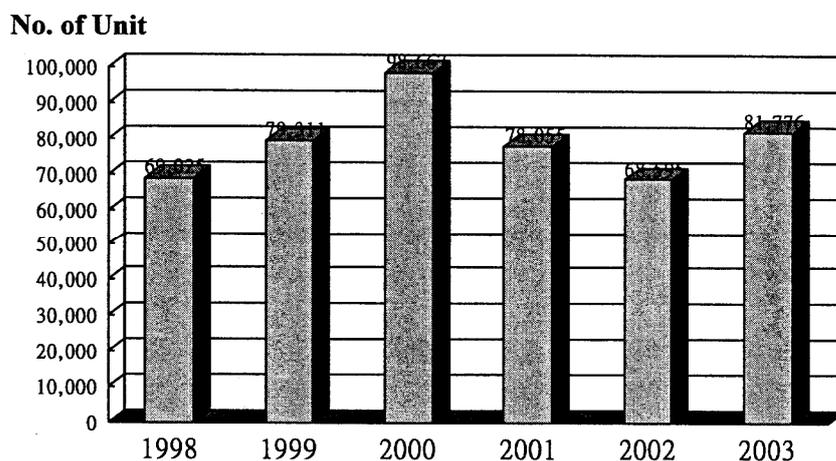


圖 2-1 1998 至 2003 年主要國家產業用智慧型機器人年銷售量統計 [3]

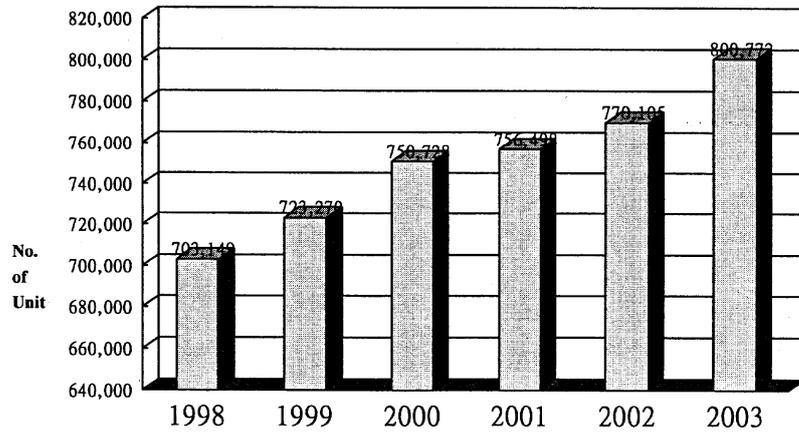


圖 2-2 1998 至 2003 年主要國家產業用智慧型機器人運作數量累計 [3]

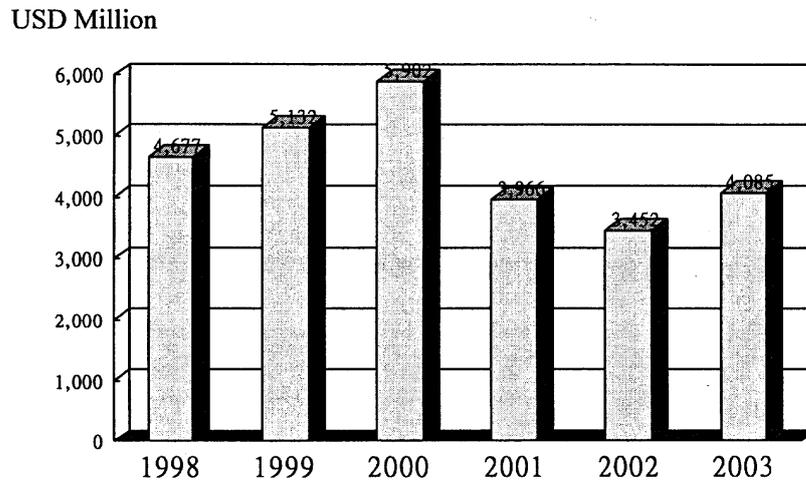


圖 2-3 1998 至 2003 年主要國家產業用智慧型機器人市值預估 [3]

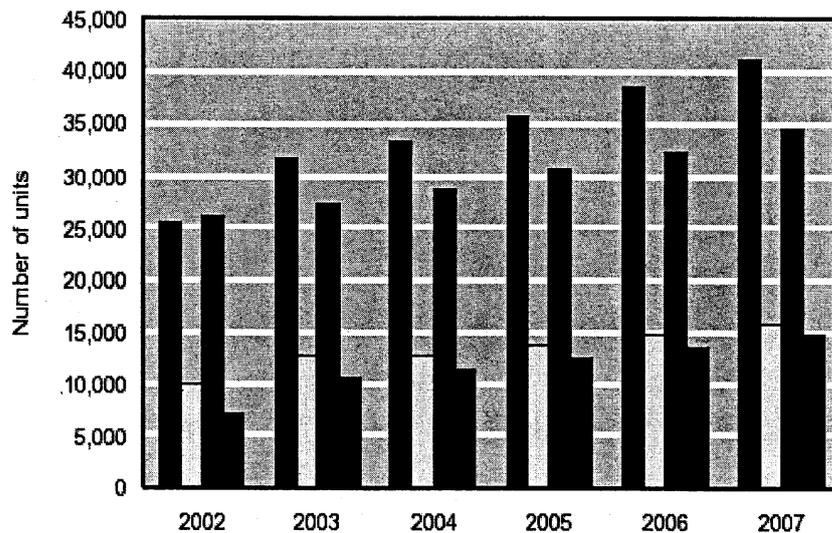


圖 2-4 2002 至 2003 產業用智慧型機器人年裝置數量及 2004 至 2007 預測 [3]

## 2. 服務用機器人

隨著機器人技術的發展，機器人的用途越來越廣，由傳統的工業領域逐漸擴展至

軍事、公安、醫療、服務等領域，於此同時，機器人的概念也越來越寬，已從狹義的機器人開始向機器人技術擴展。因此在「服務用」機器人方面，各國政府與相關研究機構投入於軍事安全、太空探測、醫療協助的比例相對較重，而運用在一般家庭的機器人服務則較分散，例如照顧殘疾和老弱病人，能為盲人引路、爬樹、砍樹、修剪整枝、採摘水果、打掃衛生、保衛建築物、治安警戒等等。依據週刊報導指出，美國目前研發最多的機器人是可用於災害救助和行星探測的高度智慧化機器人及自主式機器人（Autonomous Robot）。目前由美國國家科學基金會（National Science Foundation）、美國宇航局（National Aeronautics and Space Administration, NASA）和國家衛生院共同資助的研究包含以下 6 種不同類型的服務用機器人：機器人車輛、太空機器人、仿人機器人、網路機器人、生物醫學機器人和工業、服務業和個人化機器人。

綜整服務用智慧型機器人，依類型一般可分為 [4]：

#### (1) 專業服務用機器人

- 特殊用途機器人：下水道工作機器人、深海工作機器人、微型機器人、教育機器人、室內保全機器人、室外巡邏機器人、汽車/飛機清洗機器人、消防救援機器人、挖掘救災機器人、無人搬運機器人、奈米機器人、管路探勘機器人、導遊機器人、公共場所清潔服務機器人。
- 國防用途機器人：地雷探測機器人、無人駕駛機器人、太空探測機器人、反恐/防爆機器人、小型偵查機器人。
- 農業用途機器人：伐木機器人、採摘果實機器人、蔬果稼接機器人。
- 醫療用途機器人：機器人電動代步車、復健支援機器人、雷射治療機器人、外科手術輔助機器人。

#### (2) 個人/家庭服務用機器人

為目前最具市場潛力的類型，其裝置數量與銷售值亦居智慧型服務機器人前位，主要可分為以下類別：

- 家庭用途機器人：吸塵機器人、除草機器人、泳池清理機器人、窗戶清洗機器人。
- 娛樂休閒機器人：玩具機器人、教育訓練機器人、娛樂用途機器人。

有別於產業用智慧型機器人市場的成長趨緩，服務用智慧型機器人未來之成長潛力被大多數開發智慧型機器人的先進國家與研究機構所看好。IFR/UNECE 的資料顯示，在服務用智慧型機器人市場方面，單在 2003 年全球裝置台數已達 132 萬台，總價值約 37.9 億美元，預估 2004 至 2007 年服務用智慧型機器人的裝置台數累計將達 670.4 萬台，平均每年約裝置 167.5 萬台，市場規模約有 96.7 億美元，平均每年有約 25 億美元的市場，是一個極

具發展潛力的市場，如表 2-3、圖 2-5 至 2-6 [3]所示。

表 2-3 2004 至 2007 年服務機器人預估裝置數量與價值 [3]

裝置數量 (單位：部)			總金額 (單位：百萬美元)	
2003 年當年度銷售	至 2003 年累計總數	2004 至 2007 年總數	截至 2003 年總金額	2004 至 2007 年總金額
537,019	1,320,015	6,703,980	3,794	9,672

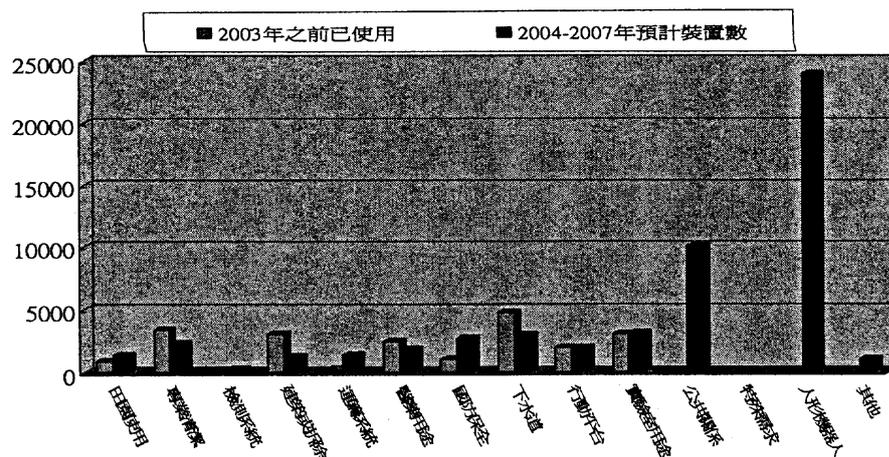


圖 2-5 2003-07 年服務機器人專業領域應用市場現況/預測 (裝置數量) [3]

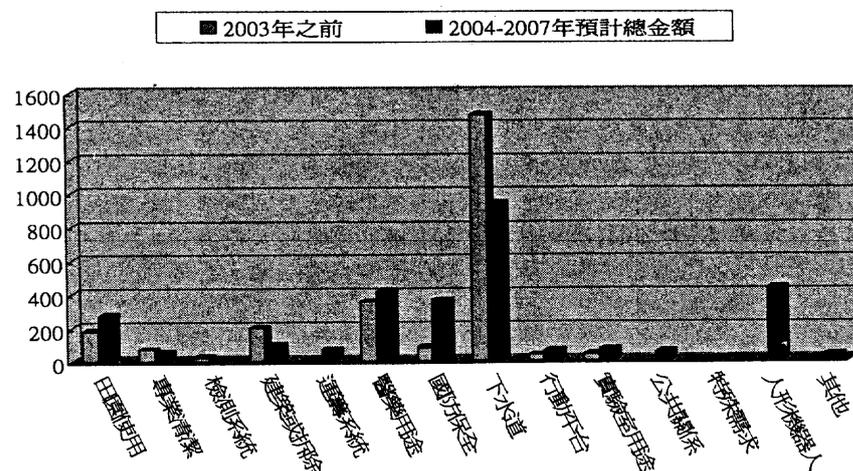


圖 2-6 2003-07 年服務機器人專業領域應用市場現況/預測 (總金額) [3]

此外，日本機器人協會 (Japan Robotics Association, JRA) 亦抱持樂觀態度，預估智慧型機器人市場產值將由 2005 年的 110 億美元成長至 2010 年的 249 億美元；其中，個人服務用智慧型機器人 2010 年的市場將快速成長達到 171 億美元的規模。美國著名的市調機構 Business Communications Company (BCC) 在 2003 年出版之研究報告「Robot/Automation Devices」亦預估：至 2007 年整體智慧型機器人市場 (包括產業用智慧型機器人與服務用

智慧型機器人)的規模將達到 161.7 億美元左右，而自 2002 至 2007 年的年平均成長率為 14.7%，其他如英國 VLSI Research Inc 研究機構則預估 2010 年，全球智慧型機器人市場將達 593 億美元 [5]，各機構的調查數據雖有差異，然至 2020 年服務用機器人市場總值保守估計約有 800 億美元。

## 2.3 國內機器人發展

邁入 21 世紀知識經濟時代，國內產業發展方向也將由投資導向轉變為創新導向，主要是因應全球化趨勢以及開發中國家低勞動成本之優勢，亦即國內未來產業發展不再強調以大量生產所形成之成本優勢，而將是以知識創新、跨領域整合與滿足客製差異化需求為導向之高附加價值產業。尤其國內服務業已佔 GDP 之 67%，為促進國內經濟再次高成長起飛，可利用過去發展製造業所累積之知識與經驗，應用於發展高附加價值的服務業。如前所述，雖然歐盟、美國、日本、韓國等國家投入智慧型機器人產業相關核心技術的研發已有數十年的時間，且在專利佈局上已掌握相對優勢，但國內過去幾年產、學、研等單位，也陸續投入部分相關技術的研發，並獲致初步成果，以下將就政府政策方向與產業發展概況進行闡述。

### 1. 政府政策方向

我國政府鑑於產業的演進、國民所得水準的提昇與少子化、高齡化社會的到來，於行政院 2005 年產業科技策略會議 (Strategy Review Board Meeting，通稱 SRB) 中研議「智慧型機器人產業的發展與應用策略」，決定將「智慧型機器人產業」列為臺灣新興科技產業發展重點，準備投入此一全球矚目的產業，以商用服務、休閒娛樂、家庭服務以及老年照顧為重點產品，希望在 2013 年創造 900 億產值和 2 萬個工作機會。經濟部擬訂的重點產業產值暨發展目標，以及我國發展智慧型機器人之產業目標如表 2-4 及 2-5 [6]。

表 2-4 機械工業重點項目產值與發展目標 [6]

產業別	產值(億元新台幣)		發展目標
	94 年	97 年	
智慧型機器人	140	630	102 年產值達 6,000 億元 101 年前成為世界前三大服務用智慧型機器人製造國，全球市場佔有率 10%
平面顯示器設備	100	600	降低建廠成本，提昇技術層次，塑造發展優勢 提昇自給率達 50%，提昇產業競爭力
精密工具機	720	1,450	全球前四大精密工具生產國家 全球精密工具機 ODM/OEM 最大製造基地
產業機械	3,540	5,320	橡塑膠、紡織、木工、電子等機械產品均保持在全 球前五大產研製造地位，成為全球製程 total solution 的提供者
精密模具	500	800	快速產品/模具開發與超精密及模具國產化
合計	5,000	8,800	全球前六大機械設備產業國 出口值 6,600 億元以上（出口 75% 以上）

表 2-5 我國發展智慧型機器人產業目標 [6]

階段	期間	產業發展目標
第 I 階段	2005 至 2008 年	預估產值將達到新台幣 300 億元，以建置產業環境 為發展方向，創造市場及擴展優勢產業為推動目 標，發展之產品領域以導覽服務、休閒娛樂、家庭 服務、生產製造為重點。
第 II 階段	2009 至 2013 年	預估產值將達到新台幣 900 億元以上，以擴大產業 規模為發展方向，擴大市場及產業規模化為推動目 標，發展之產品領域以公共服務及照護服務為重點。
第 III 階段	2014 至 2020 年	發展成為全球智慧型機器人主要製造國，鎖定利機 產業市場為發展方向，以智慧好生活及進入全球市 場為推動目標，發展之產品領域以特殊用途服務及 醫療輔具為重點。

在 2008 國家發展計畫中成立多項國家型計畫，包括奈米國家型計畫、系統晶片國家型計畫等，其共同特徵包括產業關聯度高、跨技術領域、強調產學合作，政府亦承諾在未來 5-7 年內持續投資，以建立長期發展之基礎。以日本與韓國等鄰近國家之發展經驗，皆亟欲突破目前經濟成長趨緩之瓶頸，進而提出重要技術開發項目，作為驅動產業創新與成長之平台。以韓國為例，為達成 2012 年每人 GDP 達到 2 萬美元之目標，提出了韓國 IT 產業之九大成長引擎，包括智慧型服務機器人、後 PC、數位內容、車輛電子 (telematics)、數位電視、智慧型家庭網路、IT 系統晶片 (SoC)、次世代行動通訊與嵌入式軟體等項目。相較於國內而言，除了智慧型機器人的發展較為國內所陌生外，其餘項目國內皆有資源投入。

此外，政府因應數位化的趨勢已投入相關基礎建設，包括推動 M-Taiwan 計畫與 e-Taiwan 計畫，前者目標在加速我國寬頻網路建設，打造全球第一的雙網應用服務環境；而 e-Taiwan 計畫的目標係在未來 6 年達到 6 百萬戶寬頻到家，打造臺灣成為亞洲最 e 化的國家之一。對於服務用機器人的未來發展，應與該兩項計畫結合，使得機器人的發展能與國內重大科技計畫資源結合，開發個人或商業需求之服務用機器人，並應用 M-Taiwan 所建構之寬頻通訊網路環境，開發如遠端居家照護機器人之應用型機器人。

## 2. 產業發展概況

國內目前已知投入智慧型服務用機器人的公司有主機板大廠微星科技 (MSI)，研發人型機器人與機器人移動平台，目標鎖定在家庭用機器人，目前尚未有產品量產上市。松騰實業 (聯騰電子) 產銷智慧型吸塵器機器人，國內外年銷售量合計約有 10 萬多台。根據報導，明碁電通與鴻海亦相繼成立前瞻研究中心，投入智慧型機器人的研究。

至於經銷、代理智慧型服務機器人的機器人通路商亦有萊思比企業代理美國 iRobot 公司的 Roomba 吸塵器機器人，在台銷售以來已有 2 萬台的銷售業績；其他則有飛碟實業機器人主題銷售網，代銷國內外各式機器人，以及「飆機器人」網路商店，皆屬網路商店的型態；另在教育用機器人方面，則有堅成實業代理德國慧魚機器人，在國內各級學校推廣教育用機器人，尤以應用於機電整合相關學系的教師與學生之教學實驗用。博寶行則代理智慧型互動玩具機器人，如史賓機器人、機器雷霸龍及新近上市的 i-Dog 等，在 2004 年亦有數千台的銷售成績。

機器人過去在台灣的發展主要是應用於工廠的自動化，民國 70 年代起，在政府竭力倡導工業自動化政策下，開始投入產業用機器人相關應用發展，目前台灣廠商多投入週邊應用，如產線之建置、IO 模組、機器人操作盤、軟件、相關零組件、各式夾具的設計製造、系統整合及加值服務等。過去產業用機器人產品受限於技術以及市場太小，發展一直很緩慢，近年來則因半導體以及平面顯示器 (Flat Panel Display, FPD) 面板廠

的快速成長，帶動了台灣進口機器人的成長幅度，成為產業用機器人最大的顧客群，無塵室搬運用機器人也成為用應用最廣的機器人，隨著半導體及面板尺寸越來越大，搬運用機器人需求越來越高，加上政府大力的推動設備國產化，近幾年在這一塊已有不錯的成果，出口也穩步上升。

### 2.3.1 台灣發展現況與分析

在行政院 2005 年產業科技策略會議 (SRB) 之智慧型機器人的子題裡，決議將智慧型機器人產業發展目標分為三個階段，政府針對創意進行激發，塑造產業發展環境、產業知識建置等方面投入產業推動，另外在技術面上運用科專計畫，善用法人研究單位 (如工業研究院、精密機械研發中心、金屬工業中心等) 及學校資源，進行機器人技術發展，建置創新前瞻平台整合技術，選擇前瞻性技術與國際研發機構合作，縮短研發時程，並推動產學研技術應用，以提高廠商產品化技術，有效引導產學研各界投入智慧型機器人發展。

「智慧型服務機器人」的研發計畫 [7]，目前已正式定案，在分工方面，工研院機械所獨力完成保全機器人、高齡者生活支援機器人的研發，及與精機中心共同研發溝通型機器人，迫於 2007 年就要完成原型產品研發進行功能測試，2007 年投入五千萬元、明年七千萬元、後年一億元進行研發，如含金屬中心與精機中心投資的費用，研發經費高達三億元。經濟部技術處要求三大法人研發完成的機器人，未來必須能落實給民間業者生產，鑑於台灣老齡人口增加快速，工研院將優先投入醫療院所復健、居家照護、伴侶型等三款機器人的研發，希望未來兩年內就有成果。其中，復健型機器人主要是協助老年患者從事主動式下肢復建；居家照護型機器人，擁有為老人拍痰、翻身、協助起立等多重功能；伴侶型機器人則是研發台灣獼猴或無尾熊等動物玩偶機器人，透過可讓人撫摸、擁抱發出叫聲等慰撫動作，預防老年人發現腦失智。國內現已有和椿與台灣精銳等兩家業者投入機器人生產，但產品皆為工業用途，與三大法人要研發的「醫療福祉型」與「服務型」機器人型態大不相同，其未來商機潛力雄厚。

智慧型機器人的關鍵技術與專利仍掌握在美國、日本以及歐盟等國。未來產業成長之時，為免落入關鍵技術仍需自國外進口，只有降低生產成本，因此國內實有必要研擬技術發展策略地圖，尋找利機產品投入研發自有技術如表 2-6。

表 2-6 我國智慧型服務機器人 SWOT 分析

優 勢	機 會
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 國內機械、電子、資訊、通訊、光學及相關的零組件產業發達，具有極佳的支援能力</li> <li>• 廠商對技術、成本反映靈敏，較具營運機動性與市場競爭力</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 政府大力推動智慧型機器人新興產業發展</li> <li>• 具有完備的精密機械設備生產實力及健全的資訊電子產業生產供應體系</li> <li>• 具有高度垂直整合及成本控管能力</li> <li>• 具有充分的學研支援人力</li> <li>• 全球需求將大幅成長，國內需求也逐漸浮現</li> <li>• 使用成本/使用障礙降低，將快速進入成長期。</li> </ul>
劣 勢	威 脅
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 國內企業規模較小，對研發投入能力亦較不足</li> <li>• 缺乏智慧型機器人專業領域之技術與整合人才</li> <li>• 國內相較於先進國家起步較遲，缺乏專業之規劃整合機構</li> <li>• 主要關鍵技術為外國廠商掌握，取得不易</li> <li>• 先進設備與製造技術仍需仰賴國外技術引進</li> <li>• 國內消費者對智慧型機器人產品之需求尚未開發</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 主要競爭對手美、日、韓等國其政府與廠商均已積極投入，未來競爭將更加激烈</li> <li>• 關鍵技術專利突破不易</li> </ul>

而智慧型機器人產業早已被日本、韓國等列為新興產業，並投入大量資金、人力積極發展，我國更應加速布局並立即投入。智慧型機器人是一精密機械、資訊電子製造、IC 電路設計及創意設計等整合性產業，而我國機械、電子、資訊、通訊、光學及相關的零組件產業發達，具有極佳的支援能力，也有完備的精密機械設備生產實力及健全的資訊電子產業生產供應體系，廠商間更具有高度垂直整合及成本控管能力，輔以充沛的學研支援人力，

可望進一步的資源整合能讓台灣從「製造優勢」轉型為「創新驅動」，將台灣智慧型機器人產業發展迎頭趕上世界舞台。

目前各領域廠商對於智慧型機器人產業的發展皆有高度興趣，其中以資訊與通訊科技（Information & Communications Technology, ICT）廠商的投入最為積極，由於消費性娛樂機器人發展迅速，台灣資訊產業藉由過去累積的實力，在感測模組、影音模組、以及各式整合晶片都有不錯的成績，反觀傳統機械產業除少數投入驅動系統及小型馬達開發外，多半皆抱持高度興趣但暫且觀望的心態看待機器人產業，以下為針對台灣機械產業跨入智慧型機器人的發展策略。

從技術面的角度 [8]，台灣工具機產業過去發展相當的成功，目前已是全球第四大工具機輸出國，僅次於日本、德國、義大利，因此藉由工具機發展累積下來的技術能力，台灣在投入 XY Table 及直角座標系機器人本體之設計製造上是具有競爭力的。由需求面觀察，過去 3K 產業（為日文簡稱，即骯髒、危險、辛苦的產業）中的一些特定製程皆由人力完成，然而在國內勞工不願投入、外勞引進又受限制下，未來機器人在此方面的應用確有需求，且機器人的導入能協助廠商提高競爭力，因此由目前台灣廠商具備的技術以及未來市場的需求評估，專用化、高可靠度的產業用機器人產品是目前值得切入發展的方向。過去台灣在多軸產業用機器人的技術一直無法與歐洲、日本等國競爭，若能夠改變現有使用之思維模式，藉由我國機械業的優勢，避開技術上的競爭，發展專用、機構複雜度低、高可靠度、適用於嚴苛工作環境下之機器人取代人力，以及低成本、高效率之模組化產業用機器人，應能找到機器人產業發展的生機。

目前中小型規模企業欲跨入智慧型機器人領域，可透過產業輔導機制，如運用產學合作計畫、經濟部技術處的業界科專、工業局的主導性新產品開發輔導計畫或是「智慧型機器人產業發展推動計畫」中協助產品及零組件開發計畫等方式，協助廠商開發機器人相關產品及技術。在人才培訓上，工業局亦透過機械產業藍領及白領人才培訓計畫，提供業界智慧型機器人才培訓之管道。此外，工業局及精密機械研發中心（Precision Machinery Research & Development Center, PMC）協助業界於 2007 年成立機器人產業推動協會，並架設「機器人世界情報網（<http://www.robotworld.org.tw/>）」網站，提供機器人各類資訊，包含國內外智慧型機器人最新研究發展及產業動態等內容，建立起廠商交流的平台，有效凝聚產業界力量，進一步促成各種研發聯盟，建立完整產業供應鏈。

### 2.3.2 國內工業機器人評述 [8]

政府為能鼓勵廠商投入發展機器人產業，投入大量資源，各種輔導管道以及機制都相當健全，不論是經費取得或是技術上的輔導，以及學研單位完整的技術支援，都提供台灣廠商良好的機器人產業發展環境與優勢，現在應是跨入機器人領域的最佳時機，亦期待智慧型機器人產業的發展，能夠順利帶動其他產業成長，於 2015 年創造產值新台幣 2500 億元，成為全球主要機器人製造國之一。國內工業界導入機器人施作已時有耳聞，工業機器人的產製目前也在國內外營建產業的施工及營運中扮演重要的角色，以下為工業機器人的相關統計資料，藉以作為營建產業導入機器人之借鏡。

台灣地區工業用機器人仰賴國外進口程度甚高，根據海關進出口統計資料顯示 [1]，我國工業用機器人進口數量自 2001 起呈現逐年遞增的趨勢，且成長力道強勁。表 2-7 至表 2-9 為我國工業機器人進出口的相關資料，從表 2-6 可知，台灣近五年工業用機器人的進出口皆以亞洲地區為主，其中近八成的進口來自日本，最主要還是以汽車業、半導體產業及面板廠的應用為主，次之的進口國家則為美國、德國、韓國、瑞典等，如表 2-7 所示，而出口最多者為中國大陸及香港，其它則為美國、日本、馬來西亞等，如表 2-8 所示。

表 2-7 我國機器人進出口金額統計 (2001/01~2007/06) (單位：美元) [1]

洲別	進口金額	進口排名	出口金額	出口排名
亞洲	246,071,733	1	1,239,642,216	1
北美洲	43,784,840	2	137,767,988	2
歐洲	18,388,991	3	131,123,431	3
中東及近東	2,850,673	4	432,260	6
中美洲	2,195,979	5	96,785	7
大洋洲	796,989	6	786,929	5
非洲	582,133	7	7,312	8
南美洲	238,024	8	1,612,574	4

台灣地區工業機器人主要進口國家包括日本、美國、德國及韓國等五個國家，約佔歷年工業用機器人進口金額的九成五以上，進口方面較值得注意的是，與台灣鄰近的韓國，由於國內擁有許多大型重工業以及近年表現極為亮眼的汽車產業、半導體以及 FPD 產業的支持，加上政府大力扶植，努力推動生產設備自製率的提升，近年不論在技術或機器人產品皆有相當明顯的成長，加上內需市場的支持，顯見韓國在機器人技術上已有長足的進步，按表 2-8 所示，我國由韓國進口的工業機器人也在 2006 年及 2007 年上半季明顯的成長。

表 2-8 我國機器人進口前五大國家（單位：千美元） [1]

國家	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007 上半季	國別統計
日本	88,511	84,694	157,971	267,283	211,972	226,195	108,377	1,145,007
美國	35,416	29,181	16,018	16,166	12,219	15,357	12,400	136,759
德國	5,503	6,089	9,875	16,795	8,352	24,762	8,114	79,493
韓國	2,147	1,452	4,270	3,397	2,604	5,395	6,459	25,728
瑞典	402	297	833	483	1,003	641	291	3,953

台灣工業用機器人出口過去多以大陸、東南亞等地區為主，原因在於台商在這些地區仍沿用台灣的生產系統，建置生產線所需之自動化設備也多來自台灣，因此工業機器人的出口一直集中在這些地區，然而近兩年在政府大力推動半導體及 FPD 設備自製下，國內產業用機器人的出口有大幅的成長，對其他國家出口之比重也開始上升，按表 2-9 所示，我國對美、日兩國的出口比重在 2005 年之後有較為明顯的成長。

表 2-9 我國機器人出口前五大國家（單位：千美元） [1]

國家	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007 上半季	國別 統計
大陸	2,669	5,323	15,542	21,001	23,095	47,327	23,142	138,103
香港	6,892	13,155	8,124	7,663	6,377	6,965	2,572	51,751
美國	1,729	2,062	3,204	5,277	5,888	8,835	15,864	42,861
日本	1,039	1,786	1,918	1,688	2,665	10,050	5,492	24,641
馬來西亞	738	703	773	1,439	1,258	374	229	5,518

## 2.4 機器人專利

美國是機器人的誕生地，早在 1962 年就研製出世界上第一台工業機器人，比起號稱「機器人王國」的日本起步至少要早 5 至 6 年，美國具有很紮實的基礎技術，生命工學、電子、航空航天等部分的技術遠遠超過於其他國家所發展的水準，此外，美國有具有優秀研發人才，歷經 30 多年的發展，美國的機器人技術基礎雄厚、技術先進，現已成為世界上的機器人強國之一，因此，美國在智慧型機器人（Intelligent Robot, IR）開發的基礎技術研

究上仍發揮主導的力量。

由於目前世界許多先進國家非常重視機器人技術的研究，並將此作為一種戰略性高的技術，美國則將機器人列為警惕技術，認為機器人技術將對未來戰爭產生巨大影響，遂對其他國家實施技術封鎖。目前，美國和日本為爭奪機器人大眾化時代的主導權展開激烈的競爭，特別是日本以精密機械工業的競爭力為基礎，正集中開發“與人一起行動”的擬人機器人 (Humanoid)，相較之下，美國在開發“可穿戴式機器人”等實用機器人和代替軍人打仗的軍用機器人方面具有優勢，比起機器人的動作功能，美國更重視開發智慧型機器人，亦即要讓機器人自己學習，並與人類溝通。例如：人工智慧研究所開發的 Cog 是能夠自己學習的機器人，Cog 具有簡單的感覺和運動系統，因此能自己學習常識，培養智慧。

全球產業用智慧型機器人的應用市場、研究發展與商品化主要集中在美國、亞洲的日本與韓國、以及歐洲的德國、義大利、法國、西班牙等地區，與汽車工業的分佈有顯著關係。由美國專利資料庫的資料獲知，智慧型機器人相關專利成長趨勢如圖 2-7 與圖 2-8 [6]，專利的累計速度隨著時間加速成長，顯見智慧型機器人長久以來受到各國相當的重視，其未來市場潛力亦可殷切期待。

機器人相關專利成長趨勢圖

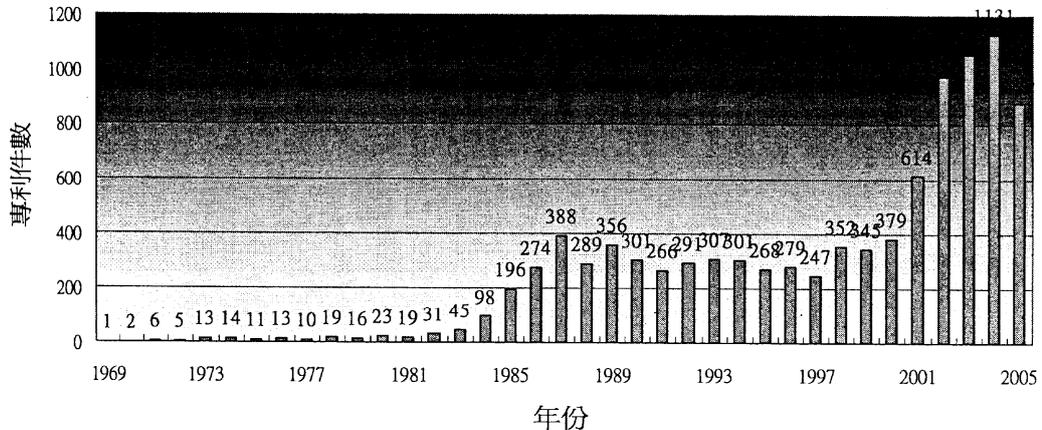


圖 2-7 機器人相關專利成長趨勢圖 [6]

日本經產省 (Ministry of Economy, Trade and Industry, METI) 最近在機器人相關專利的調查中 [9]，將機器人定義為「具有操作 (Manipulator) 機能或移動機能，可取得自身外部資訊及決定本身行動之機能」，以及「具有通訊 (Communication) 機能，可取得自身及外部資訊，以決定自身行動及行動機能」的機械。

以下將針對近年各國機器人專利申請動向，分別以申請人國籍別申請件數的演進，以及各國申請件數比率闡述之：

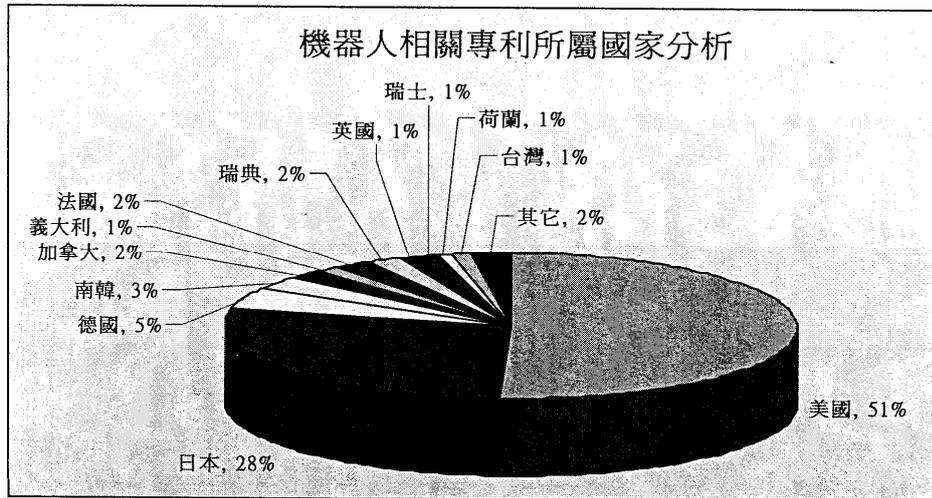


圖 2-8 機器人相關專利所屬國家分析 [6]

### 1. 申請人國籍別申請件數的演進

1999 年至 2004 年歐、美、日三地的機器人相關專利申請件數，以日本的申請件數最多，每年申請件數平均在 2,000 件左右；美國居次，每年約 500 件；歐洲第三，每年約 400 件；其他國家則佔少數，如圖 2-9 [9]。

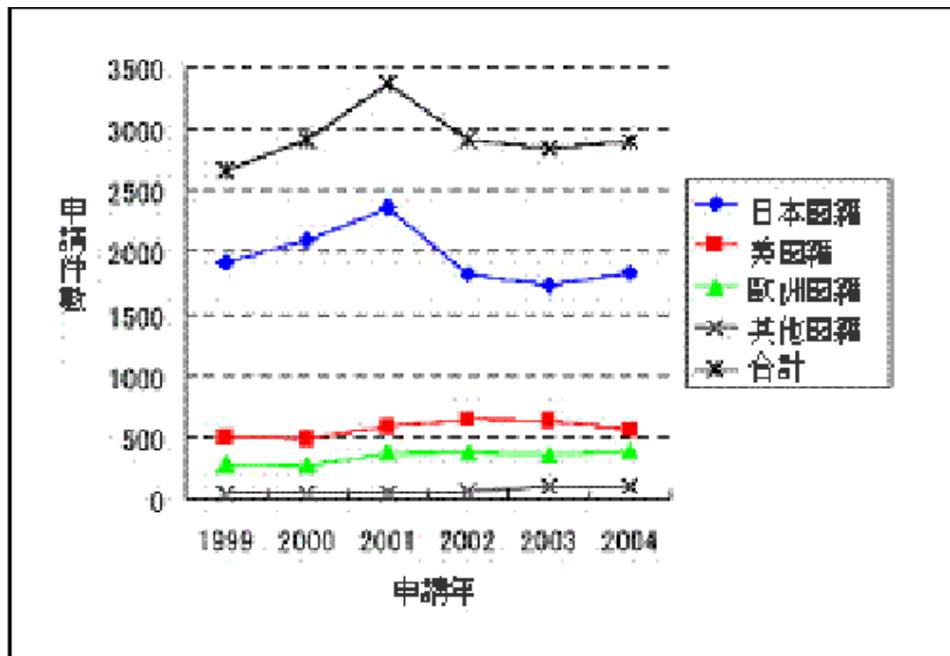


圖 2-9 依申請人國籍別區分之機器人專利申請件數 [9]

### 2. 各國申請件數的比率

歐、美、日三個地區專利機構的機器人技術專利申請中，地主國的申請數量雖然是最多的，但亦可觀察到對美國、歐洲專利局提出之專利申請中，來自日本的申請案件也佔有較高的比例。另外，觀察專利申請件數的排行榜，即使是在美國專利商標局、歐

洲專利局的申請案中，來自日本的申請件數亦位居前茅，如圖 2-10 [9]，由此可見日本企業對機器人技術與專利的投入甚深。而韓國近年在機器人技術領域的研發成果，亦可由其專利申請數量已位居歐、美、日三地區之後名列第四位窺出端倪。

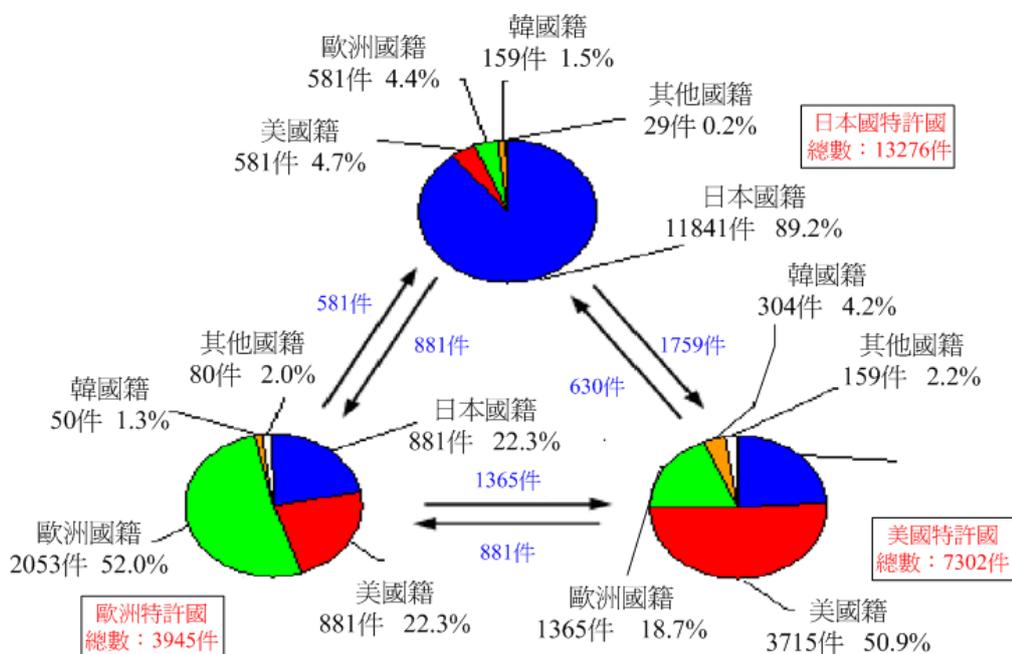


圖 2-10 依申請人國籍別之申請件數比率之機器人專利申請件數 [9]

對於工業用機器人與服務型機器人的專利方面，由日本提出的申請佔了大多數，但在特殊環境用機器人方面則是由美國提出申請的佔多數，如圖 2-11 [10]。針對服務型機器人領域，在醫療方面，美國提出申請的件數較之日本提出的申請件數為多，由此可看出在這方面美國的步伐是較快的，如圖 2-12 [10]。至於「垃圾處理」之專利申請件數則為所有項目中最多的，此與清潔機器人已逐漸為一般家庭所接受並購買有關。此外，與個人/家用機器人相關的娛樂、掃除、看家、保姆功能等專利亦開始出現廠商或個人申請通過，可見這些應用領域的未來潛力，如圖 2-12 [10]。

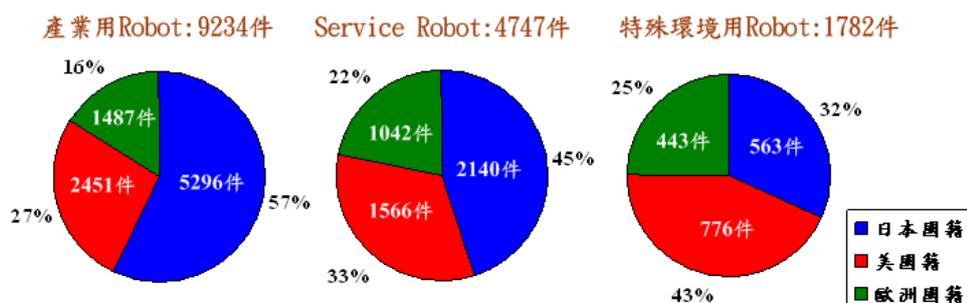


圖 2-11 依應用領域別區分之各個申請市場佔有率 [10]

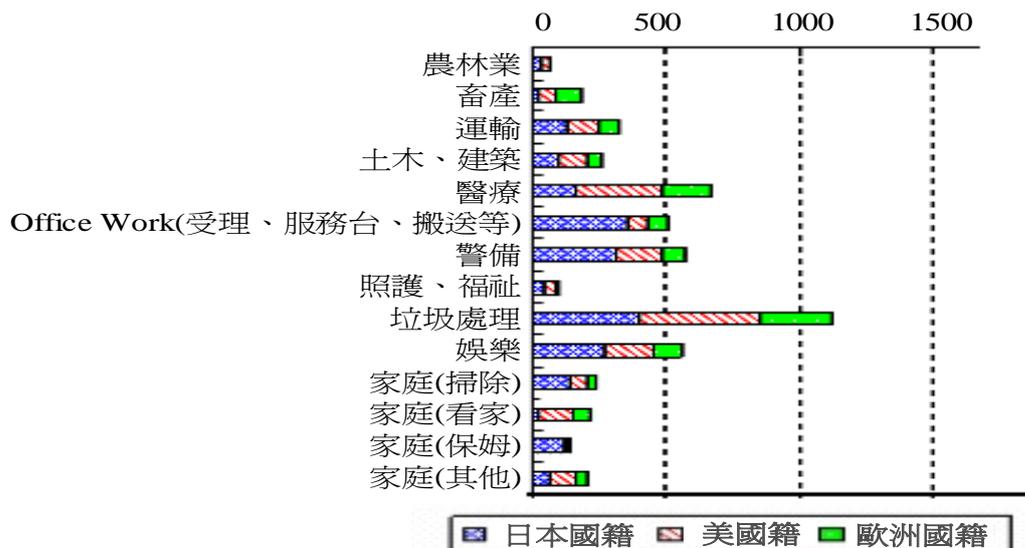


圖 2-12 服務型機器人應用領域 (國籍別累積件數) [10]

機器人產業受矚目之技術主題如圖 2-13 [10]及表 2-10 [10]所示，表示在產業用機器人、特殊環境用機器人與各式服務型機器人的實用化，以及擴大市場的目標等方面，皆為十分重要的技術。這些受關注的技術主題中，由日本提出的專利申請件數—「多指手臂」及「步行技術」較之歐美來得多，由此可知，日本各界對機器人技術研發活動的高度參與，由文獻資料顯示，服務型機器人預期在生活、醫療福祉領域之應用將與日遽增，於機器人研發之際，也需重視機器人應用場合或消費者需求之週邊技術、應用技術的研發。圖 2-13 之統計資料係針對日本、美國籍、歐洲國籍於 1999 年至 2004 年提出申請的資料。

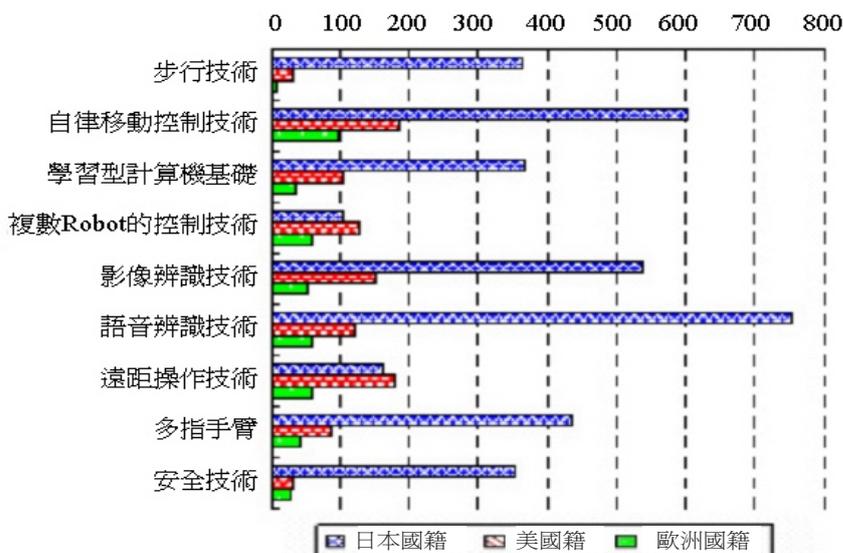


圖 2-13 受矚目技術開發主題中累積之申請件數 [10]

表 2-10 機器人受矚目技術一覽表 [10]

受矚目技術	選定之理由
步行技術	日本引領全球技術走向。在複雜環境中的移動是個人機器人、或追求擬人化之娛樂機器人的重要技術。
自律移動控制技術	在複雜、多變的生活環境或災害現場等特殊環境、非製造業、個人領域中，機器人能夠自律移動是重要的技術。在清掃、警備機器人已有實用化的案例。
學習型演算技術	雖然歐美領先實行，近年也能看到日本對此的進展，此項技術在以複雜、多變環境中作業為對象之個人機器人是重要的。
多台機器人的控制技術	用於救災、探查等多機器人的作業中，對於特殊環境用機器人是重要的。
影像辨識技術	自主移動或對作業對象進行辨識、與人進行傳達交流（communication）等，此對於大多數的機器人是重要的技術。
語音辨識技術	在家庭、辦公場所、娛樂領域等領域，為求與人類作自然溝通與交流之重要技術。
遠距操作技術	針對救災、太空、核能設施等，於人類難以進入之場所內進行作業的特殊環境用機器人是重要的一項技術。
多指手臂	在非製造業、個人與家用領域，為能在複雜且多樣的作業環境中運用自如之重要技術，能擴大機器人可能的作業範圍。
安全技術	在與人類共存的服務型機器人領域中，不會帶給人類危害，也不會妨礙人類活動之重要技術，此在機器人普及的同時是非常重要的。

## 2.5 小結

由前述對於機器人市場的資料彙整不難發現，智慧型機器人產業與人類生活息息相關，該產業在未來將有機會發展成為全球最重要的產業之一，必將是未來非常亮麗的明星

產業，隨著服務用智慧型機器人在整體產業的市場佔有率快速提昇，市場需求量大且產品多樣化。而智慧型機器人產業早已被日本、韓國等列為新興產業，其他各國營建自動化導入自動化機械已行之有年，運用機器人協助生產、提高效率，並投入大量資金、人力積極發展，我國更應加速布局並立即投入。

今（2008）年 8 月 21-24 日於臺北世貿展覽一館，由經濟部工業局、技術處與臺灣機器人產業發展協會共同主辦的「臺北國際機器人展 TIROS (Taipei International RObot Show)」 [11]，為國內第一次國際性的機器人展覽，與 IEEE International Conference on Advanced Robotics and its Social Impacts (IEEE ARSO 2008) 國際研討會合併辦理。隨著服務用智慧型機器人在整體產業的市佔率快速提昇，市場需求大且產品多樣化，各國已見營建產業導入自動化機械甚或機器人藉以協助營建施作、提高施工效率，我國更應加速布局並即刻投入，以因應國內營建產業從業人口遞減、勞動力與人才培育不足的情形。

有鑑於智慧型機器人產業深受先進國家重視，並持續投入相關之佈局與發展作為，且該產業具有高度技術整合特性，對於相關產業發展具有帶動效應，有助於促進經濟發展與產業轉型。本計畫配合國內外的產業發展趨勢與政府營建自動化政策方向，參考各國產業用與服務用機器人的發展進程，提出以服務用智慧型機器人於土木工程檢監測的構想，透過實務業界與專家學者研討會的召開，進行機器人應用的可行性評估研究。

### 第三章 與臺大土木系電腦輔助工程實驗室跨校合作現況

本計畫協助本校土木工程系與國立臺灣大學土木工程學系電腦輔助工程實驗室，合作成立「土木工程檢監測智慧型機器人研究小組」，雙方並簽署跨校「合作協議備忘錄」(如本研究報告第 3-8 頁)，針對智慧型機器人於土木相關設施與構造物檢監測作業之應用層面、市場、效益等進行市調、評估與分析。目前所合作進行之研究已建構一臺泛用型機器人並進行多項軟硬體測試評估，以下為階段性成果，以及迄今發表於國內外研討會之論文清單，近程目標擬將道路鋪面檢測模組與機器人相互整合，發展完成能自主進行道路檢監測作業之機器人系統。

#### 3.1 輪型機器人機構設計、組裝與測試

研究目標係開發一具能自行感測運算並具有運動功能的智慧型機器人，機器人可利用超音波測距器量測環境資訊、躲避障礙物、建立環境地圖。目前所發展之三層結構輪型機器人架構如圖 3-1，該機器人最底層為運動控制層包含電池、馬達、全向輪、馬達轉速控制器等元件，負責提供機器人的行動能力。第二層為訊號控制層，包含 3 個 Parallax 公司開發的 BS2 (Basic Stamp-2) 晶片 (控制 3 組超音波的訊號)、超音波感測器如圖 3-2(a)、電子羅盤 (機器人行動之導航及定位，如圖 3-2(b)) 等，負責操控運動控制層運動的方式與方向，同時接收感應器所提供的資訊。最上層為邏輯運算層，以筆記型電腦接收並處理訊號控制所提供之數值，經運算後再傳送控制指令至訊息控制層，未來將透過無線網路或藍芽等無線傳輸技術與另外 1 台電腦溝通，以主從式架構進行遠端監控與資料蒐集。邏輯運算層、訊號控制層與運動控制層間的硬體與電腦連結關係如圖 3-3 所示。

機器人底部運動裝置採用 3 座如圖 3-4 所示之“全向輪”，使機器人能夠在原地旋轉、快速轉向與移動，具有優異運動性與操控性。全向輪在藍色輪軸表面裝設側向滾輪以消除側向摩擦力，機器人前後直線移動時，藍色輪軸將按一般行進方向滾動，當橫向移動時，白色側向滾輪則會使機器人具有敏捷的橫向轉動能力，可十分靈活的應付不同土木構造物的檢監測作業，未來將考慮發展更多樣化的運動方式，例如能克服險惡地形的履帶機器人，以及對方向操控具有高度穩定性的輪型機器人等。

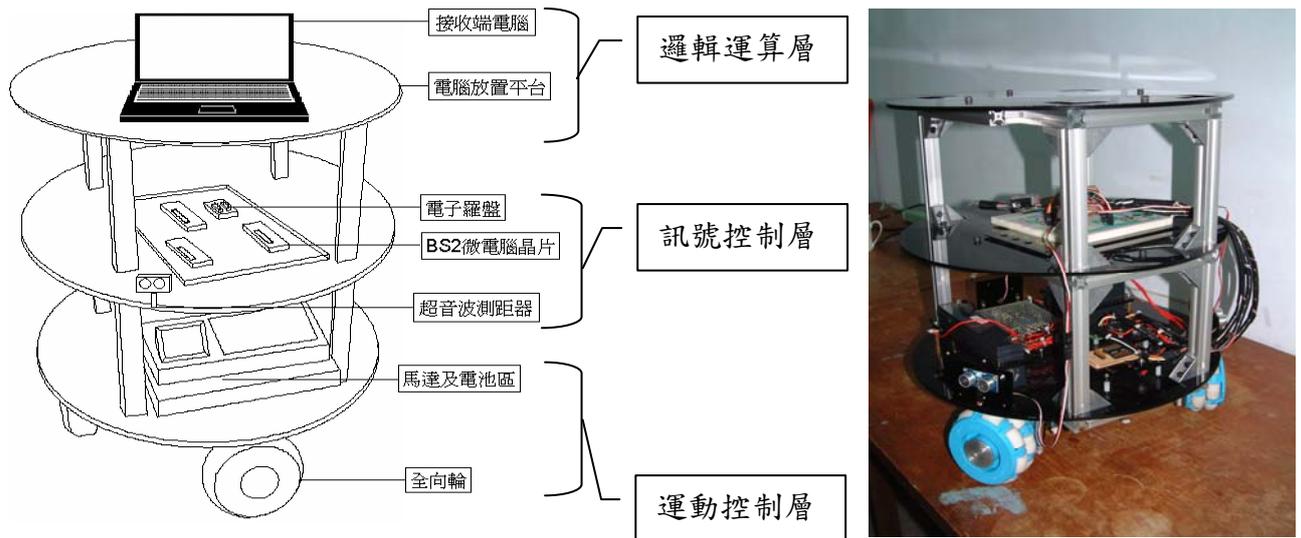
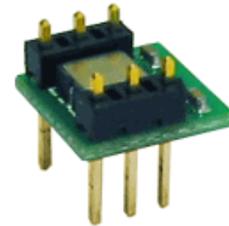


圖 3-1 機器人硬體架構



(a) 超音波測距器



(b) 電子羅盤

圖 3-2 機器人感應器：(a)距離測量；(b)方向角測量

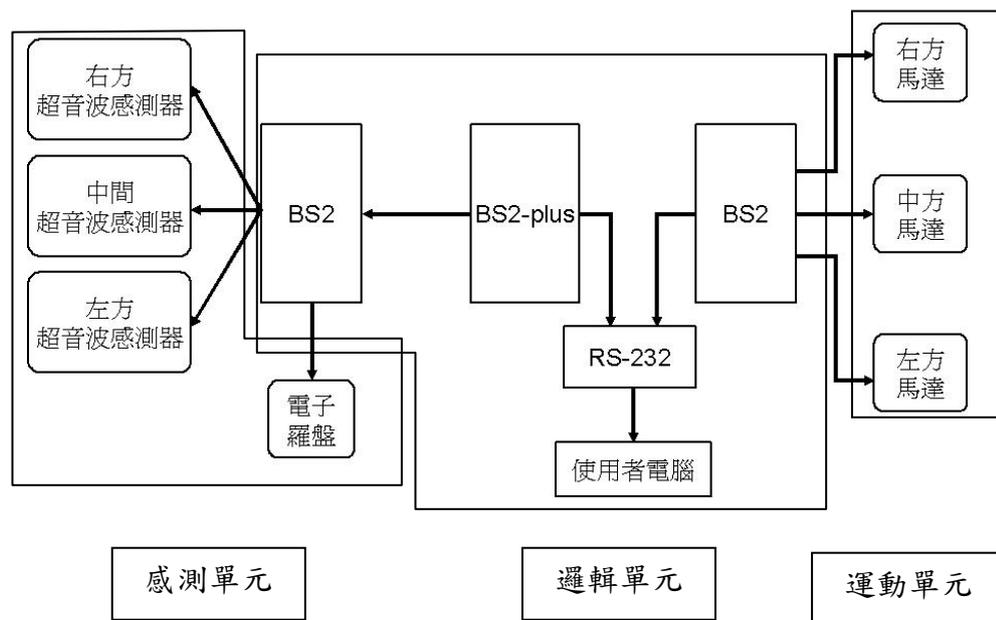


圖 3-3 機器人系統設計示意圖



圖 3-4 全向輪

### 3.2 虛擬機器人之發展與測試

除實體機器人外，目前已發展完成可供測試及驗證的虛擬機器人，主要目的係預先模擬實體機器人在未來實際應用時的動作及對環境的反應，對可能發生的狀況預作修正與測試，不僅能適切掌控機器人的運動狀況，並可將指令傳送給虛擬機器人收集相關數據。目前研究主要以兩套機器人模擬與控制系統—Microsoft Robotics Developer Studio 與 Player/Stage—建構完成虛擬平台，進行初步的機器人單機控制，並進階透過網路遠端連線操控機器人，目前正與土木構造物檢監測系統模組進行整合調整及適用性評估。

1. 近年微軟看好機器人產業的成熟，開發出機器人作業系統—Microsoft Robotics Developer Studio (MSRDS) (如圖 3-5) —並開放其原始碼，主要功能包括控制軟體與網頁控制介面、軟體模擬機器人運動等，其內部程式核心為微軟發展多年的 Concurrency and Coordination Runtime (簡稱 CCR) 技術，主要功能是可讓機器人同時處理各項感應器的資訊並及時做出判斷與反應。MRS 同時也提供良好的模擬功能，例如我們可將一台高精確度的雷射感應器建置於模擬環境中的機器人，即可測試真實機器人真正裝載該感應器後的施作效率是否具備穩定性與符合使用者需求，再決定購買與否。

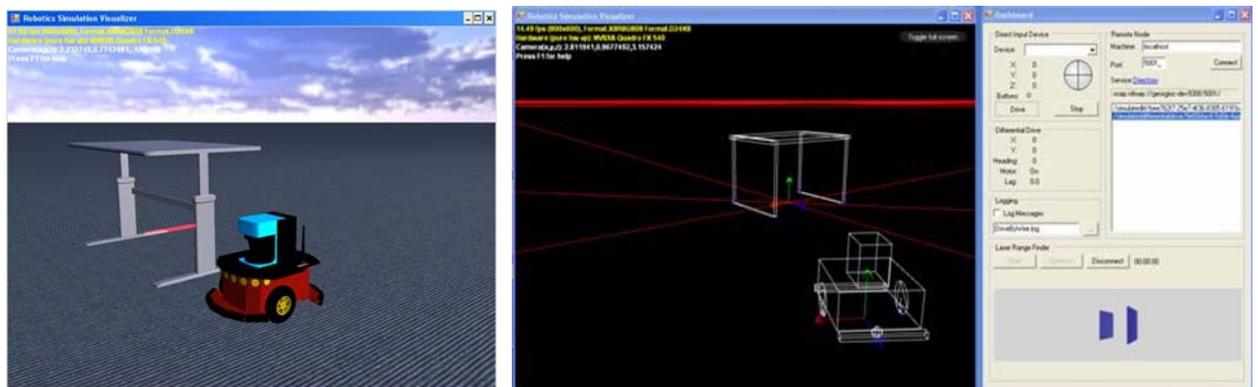


圖 3-5 Microsoft Robotics Developer Studio (MSRDS)開發環境

2. Player/Stage 為在 Unix 或 Linux 系統下運作的虛擬機器人軟體(如圖 3-6),分為兩部分: Player 是個控制機器人的網路服務系統,虛擬機器人運作時,Player 提供簡潔的操作介面,方便使用者瞭解機器人的感應器和動作器在網路中的運作情形。Player 支援多數機器人的硬體配件,可進行流暢精準的控制計算,例如對地標進行追蹤和機率性移動。Stage 提供一個二維的數位環境,虛擬機器人和感應器可透過 Player 進行聯繫,彷彿置身於真實世界一般,其強調高效率的圖形介面,並能在 PC 上同時虛擬十倍或數百倍的機器人,控制器在虛擬和實體機器人間能極相似地共同運作。

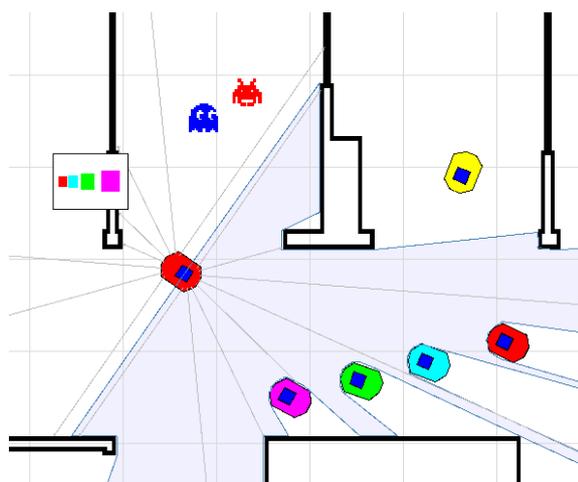


圖 3-6 Player/Stage 開發介面

### 3.3 機器人感知元件與定位系統

目前的研究刻正整合各類感測器,包含衛星定位系統、雷射測距儀、影像感知單位及聲納感測器等,各種感測器皆有其適用條件與特定優點及缺點,故須整合各式感測器相互配合。為了整合上述各類感測設備,進行機器人的定位研究,俾便得知機器人在環境中的位置以利工程檢監測之需求,故以機率模型發展機器人即時定位演算法,以達機械人定位需求。所謂定位,除了知道機器人在哪裡外,還必須能確定機器人位於地圖上的哪個位置,該機率模型應用在機器人時,我們可用一個參數  $p(x_t)$  來表示 ( $p$  表示可能的機率,  $x$  表示機器人所在的環境,  $t$  表示目前的時間點)。

應用於機器人上,  $x_0$  為初始時間點時機器人假設的位置,而  $p(x_0)$  即表示該位置上真的有機器人的機率,此時開啟感測器接收環境資訊,所收到初始時間點感測器的數值為  $z_0$ ,利用貝氏 (Bayes) 提出的條件機率即可將  $p(x_0)$  資訊更新為  $p(x_0 | z_0)$ 。

待下個時間點,機器人走了一步,我們可藉由機器人的運動方向與角度得到一個參數  $u_1$  (第一個時間點時機器人運動後的位置),並利用該參數將資訊更新為  $p(x_1 | z_0, u_1)$ 。之後,

我們再開啟機器人的感測器偵測周圍環境的變化，便可得到第一個時間點時感測器所接收到的資訊  $z_1$ ，再度將資訊更新為  $p(x_1 | z_0, u_1, z_1)$ 。我們再啟動機器人的運動系統使其移動，藉由機器人的運動方向與角度便可得到第二時間點的參數，將資訊再度更新為  $p(x_2 | z_0, u_1, z_1, u_2)$ 。

如前述過程讓機器人掃描週遭環境後更新，走一步後再更新，依循類似法則，無論是機器人自我控制或人為操作，即可掌握機器人在任何一個時間點的所在位置。假設我們已知空間中的地圖資訊，只要加入貝氏的條件機率，以  $p(x | M, z, u)$  形式（ $M$  表示地圖的資訊）即可在推算機器人的位置時一併得到機器人位在地圖的哪個位置，將上述步驟以圖 3-7 表示。圖中紅色點雲狀粒子表示機器人可能在的位置，位於感測線輻射中心的綠色點表示機器人實際所在位置，藍色感測線則為感測器經過運動的方向與角度加上感測器接收到的資訊。

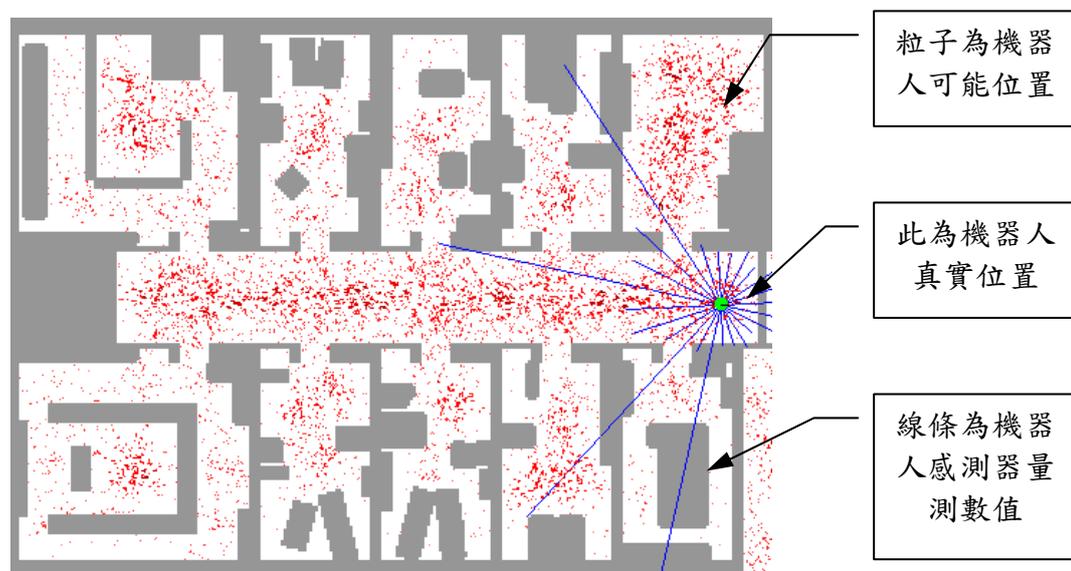


圖 3-7 機器人於已知地圖之初始位置

由圖 3-8 (a) 的時間，經過圖 3-8 (b)、圖 3-8 (c) 的時間歷程，可利用上述條件機率方式，逐漸將不可能紅色點雲狀粒子消除，直到圖 3-8 (d) 時，由於機器人進到獨特形狀的房間，其可能的位置即可正確收斂到機器人的真實位置。

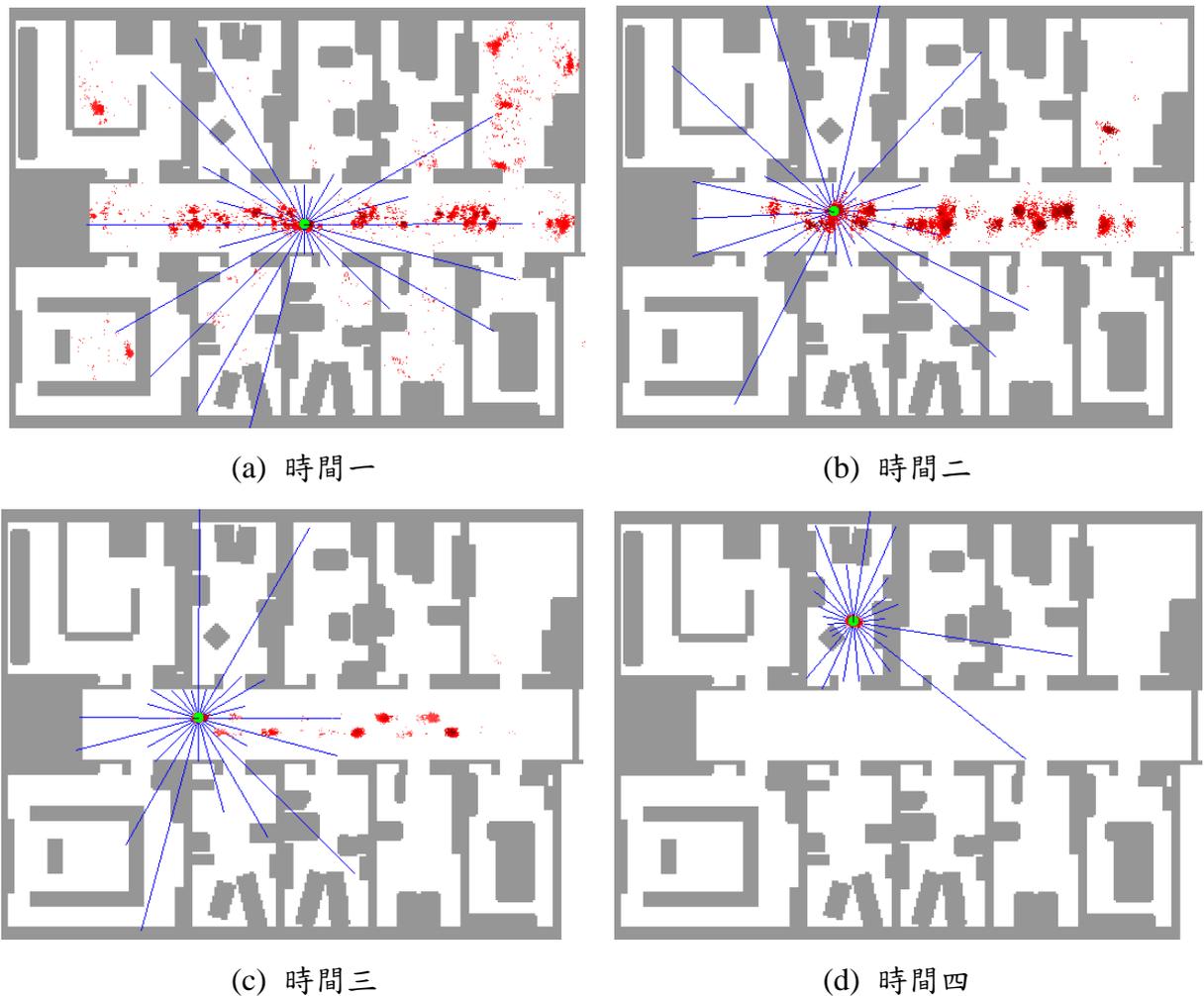


圖 3-8 機器人於運動間之同步定位示意圖

### 3.4 發表論文清單

1. **Chang, J. R.**, Kang, S. C., Liu, Peter, Hsieh, S. H., Tseng, Y. H., and Su, Y. S., “Determination of the International Roughness Index (IRI) Using An Autonomous Robot (P3-AT),” *26th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2009)*, Austin, Texas, U.S., June 24-27, 2009. (abstract submitted)
2. 張家瑞、康仕仲、謝尚賢、陳茂南，「智慧型機器人於營建產業之應用分析」，營建管理季刊，民國 97 年。(審查中)
3. Gu, K. Y., Liu, P., **Chang, J. R.**, Kang, S. C., and Hsieh, S. H., “Implementation of an Autonomous Robot for Pavement Inspection,” *12th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering & 2008 International Conference on Information Technology in Construction (ICCCBE-XII & INCITE 2008)*, Beijing, China, October 16-18, 2008, 5 pages (Paper No. 270).
4. **Chang, J. R.**, Kang, S. C., Liu, M., Hsieh, S. H., Huang, T. C., and Lin, P. H., “An Autonomous Robot Equipped with the GPS Virtual Reference Station (VRS) System to

Perform Pavement Inspections,” *International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2008)*, Vilnius, Lithuania, June 27-29, 2008, pp. 141-147. (Thomson Reuters ISI Proceeding database)

5. 張家瑞、康仕仲、古凱元、劉寅春、謝尚賢，「智慧型鋪面檢測機器人系統開發及檢測運動模式驗證」，第八屆鋪面工程材料再生及再利用學術研討會暨 2008 世界華人鋪面專家聯合學術研討會，中壢，民國 97 年 11 月 6-7 日。(全文接受發表)
6. 張家瑞、黃遵成、康仕仲、謝尚賢，「整合虛擬參考站(VRS)及互動式彩色影像追蹤系統(ACTS)之機器人平台(P3-AT)擷取鋪面表面破損」，第八屆鋪面工程材料再生及再利用學術研討會暨 2008 世界華人鋪面專家聯合學術研討會，中壢，民國 97 年 11 月 6-7 日。  
(全文接受發表)
7. 張家瑞、康仕仲、古凱元、劉寅春、謝尚賢，「智慧型機器人於鋪面檢測之運動模擬暨驗證」，中國土木水利工程學會 2008 研討會，宜蘭，共 10 頁 (Paper No. B01)，民國 97 年 10 月 22 日。
8. 劉嫻君、張家瑞，「智慧型機器人於營建產業應用—鋪面檢測之先期研究」，第九屆鋪面工程師生研究成果聯合發表會，中壢，第 13-20 頁，民國 97 年 8 月 27 日。
9. 黃遵成、張家瑞，「以裝載虛擬參考站 (VRS) 之機器人系統檢測鋪面表面破損」，第九屆鋪面工程師生研究成果聯合發表會，中壢，第 183-190 頁，民國 97 年 8 月 27 日。

**表 3-1**  
**明新科技大學土木工程系**  
**與**  
**國立臺灣大學土木工程學系**  
**合作協議備忘錄**

為培養先進機器人技術於土木工程領域實用的專業人才，以及加強明新科技大學土木工程系非破壞性檢測實驗室（以下簡稱甲實驗室）與國立臺灣大學土木工程學系電腦輔助工程實驗室（以下簡稱乙實驗室）的互動關係、資源共用與成果共享，特依下列條款訂定本合作協議備忘錄。

- 壹、雙方於協議期限內將共同進行機器人的相關研究，利用甲實驗室購置的機器人平台（以下簡稱平台）及乙實驗室購置的相關感測器（以下簡稱感測器），共同進行裝載、加值與研發。
- 貳、自簽約日起，未來與該平台相關之教學及研發等行為的產出成果，依照實際貢獻程度，經協議後分配共有。
- 參、雙方不得在未經對方允許情況下，任意將對方所提供之設備作為商業用途。
- 肆、雙方得約請對方學識經歷豐富之人員蒞校辦理演講、座談、產學合作或協助學生就業輔導等相關活動。
- 伍、雙方得相互協助或舉辦對外之研究成果發表會或研習活動。
- 陸、雙方於相關教學、研究、開發或設計等問題需要對方協助時，得請對方推薦具該項專長之教師提供協助；必要時雙方亦得指派相關專長的教師至對方從事專案合作研究計畫。
- 柒、本協議期限自簽約日起以五年為一期，到期時，只要雙方皆無異議，即自動再續約一期，有關合作事項之施行細則及未臻完善之處，得由雙方視實際情形另行議定之。
- 捌、於備忘錄簽訂後，甲乙雙方互換合作立牌乙式。
- 玖、本備忘錄一式二份，由雙方各執一份，以資信守。

立合約書人

明新科技大學土木工程系

主任：

國立臺灣大學土木工程學系

主任：

地 址：30401 新竹縣新豐鄉新興路 1 號明新  
科技大學土木工程系非破壞性檢測實驗室

地 址：10617 臺北市羅斯福路四段一號國立  
臺灣大學土木工程學系電腦輔助工程實驗室

## 第四章 智慧型機器人於土木營建產業之發展方向與策略

營建機器人 (construction robotics) 屬於服務型機器人，日本於 1970 年代最早提出營建機器人的概念，目前日本致力於發展全自動化建築機器人 [12] 與輔助施工的建築機器人 [13]，其他如德國則針對移動性營建機具之控制與監控進行研究，法國工業用機器人協會 (French Association of Industrial Robotics, AFRI) 也投入營建機器人的研發。

機器人目前在國內外營建產業的施工及營運中扮演著重要的角色，豐碩的研究成果廣泛出現在許多相關的學術期刊、技術報告、國際研討會等刊物中。例如，每年由 International Association for Automation and Robotics in Construction (IAARC) 統籌，各國輪流主辦的 International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC) 國際研討會即為營建機器人的年度盛會。另以 2007 年 4 月份的 *Autonomous Robots* 期刊 [14] 為例，該期特別針對營建機器人發行專刊，由營建自動化領域頗負盛名的 Thomas Bock 教授撰寫專文，該期共收錄 10 篇與營建機器人直接相關的學術及技術研發成果。此外，如 *Automation in Construction*、*Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 等等著名期刊均納入機器人的議題，即時掌握全球的研發成果。

國內自民國 78 年迄今，由行政院引領內政部建築研究所及內政部營建署推動的營建自動化政策已將近 20 年的時間，對於營建工程生命週期中之規劃、設計、施工、維護、營運、維護管理等過程，已見部分業界透過跨國、跨領域的合作或自行研發推動的過程，完成不少的實際成果及產出，部分意見足堪稱本計畫參採。因此，由本計畫主持人統籌主辦，於民國 97 年 6 月 6 日假明新科技大學土木工程系館舉辦「智慧型機器人於營建產業應用研討會」(議程如下頁表 4-1)，就其目前所見營建業中推行自動化的進程，並針對本研究之階段性成果及短、中、長期目標提供廣泛見解及意見。研討會擬訂之討論題綱如下：

### 1. 議題一：成功案例分享

貴單位有何營建自動化或機器人化的成功案例？或在您的相關領域有何自動化或機器人化的成功案例？請予以分享。

### 2. 議題二：近、中、長期需求

貴單位有何自動化或機器人化的近、中、長期之需求？

### 3. 議題三：對研究團隊的建議

就您的經驗，請對研究團隊的未來發展給予寶貴意見。

本章將彙整歸納與會專家學者的寶貴意見，將營建自動化與智慧型機器人於土木營建產業應用之發展方向與推動策略建立如圖 4-1 之分析架構圖，概分為產業需求面、技術發展面、應用推廣面、執行策略面、問題限制面等予以具體的列述與探討。

**表 4-1 【智慧型機器人於營建產業應用研討會】議程**

- ◎ 會議日期：民國九十七年六月六日（星期五）
- ◎ 會議地點：明新科技大學土木工程系館一樓多媒體教室（新竹縣 304 新豐鄉新興路 1 號）
- ◎ 主辦單位：明新科技大學土木工程系、環境資源管理系、工學院產學研發中心
- ◎ 合辦單位：國立臺灣大學土木工程學研究所、資訊工程學研究所
- ◎ 協辦單位：中國土木工程學會資訊委員會  
中國土木工程學會鋪面工程委員會  
社團法人中華鋪面工程學會

時 間	會 程	
8：30~9：00	報 到〈領取資料〉	
9：00~9：20	開幕致詞：楊肇政 校長 明新科技大學 貴賓致詞：童健飛 總工程司 內政部營建署 陳茂南 副組長 交通部運輸研究所運輸工程組 與 談 人：王傑智 助理教授 臺灣大學資訊工程學系 (按筆畫順序) 周家蓓 教授 臺灣大學土木工程學系 康仕仲 助理教授 臺灣大學土木工程學系 劉寅春 博士 臺灣大學土木工程學系 謝尚賢 教授 臺灣大學土木工程學系 主 持 人：岳吉剛 總務長 明新科技大學	
9：20~10：10	講 員	主 持 人
	專題演講 I：營建產業檢測科技發展與新思維 陳茂南副組長 交通部運輸研究所運輸工程組	童健飛總工程司
10：10~10：30	茶 點 時 間	
10：30~11：20	講 員	主 持 人
	專題演講 II：智慧型機器人之發展 王傑智助理教授 國立臺灣大學資訊工程學系	周家蓓教授
11：20~12：00	講 員	主 持 人
	1. 機器人玩家經驗分享 李建興 明新科技大學精密機電工程研究所 2. 智慧型機器人於營建產業之應用與策略分析 劉珮君 明新科技大學營建工程與管理研究所	任復華主任
12：00~13：00	午 餐 時 間	
13：00~14：00	講 員	主 持 人
	1. 機器人於鋪面檢測之運動規劃 古凱元 臺灣大學土木工程學研究所 2. 保全機器人巡邏路徑規劃 洪偉瀚 臺灣大學土木工程學研究所 3. 趣味表情機器頭顱製作 饒有銘 明新科技大學精密機電工程研究所	張謝淵主任
14：10~15：10	講 員	主 持 人
	1. P3-AT 機器人於道路鋪面檢測整合研發 曾源緒 臺灣大學土木工程學研究所 2. 裝載 RTK-VRS 之機器人於鋪面破損檢測之應用 黃遵成 明新科技大學營建工程與管理研究所 3. MicroSoft Robotics Studio (MSRS)與機器人平台整合 蘇詠順 臺灣大學土木工程學研究所	王華弘主任
15：10~15：30	綜 合 討 論 / 賦 歸	



圖 4-1 智慧型機器人分析架構圖

## 4.1 產業需求面

營建自動化或智慧型機器人於土木營建產業應用之需求包含下列對象，詳細應用請參見第 4.3 節應用應用推廣面乙節：

1. 針對一些適合機器人作業的特定工作場所與環境，例如封閉場所、有限空間，如機場場區、污水下水道等。
2. 針對作業環境中無法以人力執行施作的特殊環境，例如高空的空氣污染取樣、橋梁背面的劣化檢測等特殊環境。
3. 針對需要勞力密集（labor-intensive）的工作項目，例如鋼筋加工與點焊等。
4. 針對以人工施作危險性高的工作項目，例如高樓樓板平整度檢測、隧道開挖現場的監測工作等。
5. 針對目前操作困難、規模龐大的既有作業，可以機器人予以取代、協助或輔助者，唯機器人並非完全取代已經發展成熟的工具設備，而是以協助或輔助營建工程的角度，提昇作業效率、擴展施作層面、增加施作安全性。

## 4.2 技術發展面

營建自動化或智慧型機器人於土木營建產業應用之相關技術研發，應以下列方向作為最終目標，透過產、官、學、研的實質整合，腦力激盪並發揮創意，以達研發與實務結合的精神，且能為業界所實際使用，並以此利機營造市場需求，甚至將產出之技術輸出與全球接軌：

1. 土木營建產業的時空環境常不可控制且隨時變動無法固定，存在著許多變異，此外，營建施作的程序複雜，基本上亦無一致性的流程，因此機器人作業時通常沒有固定的目標，必須要能自己尋標，自行把達成目的的目標找到。
2. 土木營建產業的環境變動及變異極大，難有固定軌跡，若未於設計之初即規劃機器人介入的界面，則機器人必須具備能夠定軌的能力。
3. 機器人必須具備自動感知、自動控制、自我保護的能力，以應付可能沒有標準作業的程序或動作，以及工地環境的突發狀況。
4. 土木營建產業少見有標準且安全的作業環境，甚至大多數的施作環境均屬惡劣且突發事件頻繁、極富危險，在這種情形下機器人必需要能克服地形環境的障礙，同時還必需保持其作業的準確度與可靠度。
5. 土木營建產業的環境通常極為廣大遼闊，機器人必須要能在沒有實質連結、毋須線控的狀況下執行自主性工作。
6. 機器人必須能應付二維或三維立體的作業內容，二維的作業內容較為單純容易，然而三維立體的作業內容則在機器人的控制上會較特殊且複雜。

## 4.3 應用推廣面

透過專家學者研討會，彙整歸納出以下營建自動化或智慧型機器人可應用於土木營建產業之對象，足供本研究參採，接下來便可針對以下應用對象，針對特定營建工程實務人員，採行進一步的專家訪談及資料收集，並隨時輔以專家學者諮詢團的建議，進行各種應用領域的可行性研究，並標定出國內應用推行的優先順序及具體的執行建議。

1. 道路鋪面（包含瀝青混凝土/柔性鋪面、水泥混凝土/剛性鋪面）檢測

(1) 結合 GPS 定位資訊與 GIS 圖形化顯示界面，機器人可檢測鋪面平坦度 (IRI)、表面破損 (PCI)、車轍 (rutting)、表面紋理 (texture)、道路幾何線型 (geometry)、路拱坡度 (slope)、道路及交通設施清查 (inventory)、路權 (right-of-way) 攝影、

辨識並鑑定破損的狀況及發生位置、跨越障礙物之淨高（overhead obstruction measurement）等，建構長期檢測資料庫，提供道路主管機關鋪面需進行維修時機決策的研判依據。以機器人進行鋪面檢測時，需考慮機器人在正常交通狀況下的施測環境挑戰，機器人需能自動駕駛，並配合交通管制或配套的警示措施。

- (2) 除了道路施工中的鋪面平坦度檢測外，無論省、縣、鄉道或國道高速公路，常見頻繁的週期性刨除加鋪工程，機器人可應用於較短里程、高精度檢測需求及完工驗收中。
  - (3) 目前的平坦度檢測多採用可高速行駛的慣性式平坦儀（參見第 4.1 節所述），該設備係透過加速度計的二次積分，來消除車行過程中之震動導致的縱向剖面高程量測誤差，然而加速度計本身有精度的限制，所以會喪失部分資訊，因此本研究將發展以機器人為基礎（robot-based）之平坦度量測模式，嘗試摒除加速度計的使用。
  - (4) 目前的道路檢測多以單一車道為單元，未來可透過機器人的感知設備與智慧性檢測的彈性及機動性，一次擷取多車道的資訊。
  - (5) 道路結構性檢測可判斷道路的破壞是否源起於施工不善，抑或是整體路面結構原本就不佳，並可研判路基是否需要處理等，獲知道路完工後短時間內又產生破壞的原因。市區道路因環境特殊，多不傾向採用破壞性的結構檢測以免於民怨，一般均採用落錘式撓度儀（Falling Weight Deflectometer, FWD）配合透地雷達（Ground Penetrating Radar, GPR）的方式，然類似設備相當昂貴，可思考發展以機器人執行道路結構性檢測的設備。
2. 機場（剛性鋪面）檢測：可發展整合平坦度（IRI）、表面破損（PCI）、及 FOD（Foreign Object Damage）等三大重要檢測項目之機器人自動化檢測設備。
- (1) 機場道面 IRI 及 PCI 檢測，由於機器人具有定位功能，能辨識剛性版塊並記錄各版塊的狀況及破損發生的精確位置。未來可在機場關場後，由機器人在場區內自動執行檢測作業，翌日即可匯整檢測資料進行養護決策。
  - (2) 道面 FOD 檢測，FOD 會影響飛機的飛航安全，目前各機場均採用人工開車的方式進行。
3. 橋梁
- (1) 橋梁檢測：針對高度高的橋、在水面上的橋、箱型橋等發展檢測用的多向機械手臂，或是會飛的機器人，目前已有採用直昇機進行檢測的研發成果，然而操控直昇機移動的技巧與資料擷取的穩定性為最大的考驗。此外，對於橋背面資料的擷取，由於該處違反慣常重力，可發展形如蜘蛛概念的機器人，檢測時放出去，它們便會攀爬到需要檢測之處，將影像攝錄後進行影像處理分析。

- (2) 橋梁施工：目前已發展成熟的支撐先進與節塊推進工法，對於縮短橋梁施工時程有顯著的貢獻，但對於施作工作車之拆卸、組裝與移動的自動化仍舊是個困境，可思考透過自動化的方式予以改善。

#### 4. 隧道

- (1) 隧道開挖機具自動化：目前隧道開挖作業中，全斷面隧道鑽掘工法（Tunnel Boring Machine, TBM）的環片自動安裝、隧道自動鑽掘機的鑽堡組立等，皆是營建自動化的實際成功案例，這些機具的運作過程中有一些細微的動作，可思考是否能和機器人發生連結，進而改善現有的施作程序。
- (2) 隧道開挖過程中的監測：隧道開挖時的環境相當惡劣，雖然按規定每 500 公尺需佈設一個監測系統，但不可能在開挖當時由人員當場放置感測器，通常需待工作面完成、架設支堡後才能執行，可思考由機器人協助該項監測作業的確認工作，以提昇工作人員的安全性。
- (3) 隧道裂縫檢測：國內有 1、200 座隧道，對於隧道裂縫的檢測亦有迫切需求。國外已發展 360 度全斷面的隧道掃描及攝影設備，裝配有照相、攝影、紅外線等感知設備，配合後處理的影像處理技術及檢測規範，監控隧道中裂縫的發展並適時採取維護措施。

#### 5. 地下管線

- (1) 污水下水道的建設、檢測、維護，為國內近年及未來政府全力投入的重大公共工程，污水下水道管線的檢測具有高度危險性，目前下水道檢視技術已有採用 TV 攝影方式之線控機器人的成果，未來能朝向毋須線控、可自行施測的機器人方向發展，有些管線已經埋了 5 年、10 年，幾乎每年都需要檢視，因此機器人在下水道管線的未來市場需求及商機相當龐大。
- (2) 目前地下管線檢測設備的量體龐大，能檢測到的管徑約在 20 公分以上，20 公分左右的都無法進去檢測，未來需考量將檢測設備的量體縮小，並加強設備對於管線的搜尋及定位功能。

#### 6. 建築工程

- (1) 塗裝作業自動化：建築工程中的塗裝作業包含牆壁粉刷等，粉刷作業包含泥水粉刷、油漆粉刷、平面粉刷等，有些粉刷工作是在不適宜人員工作的環境中進行，此即適合由機器人來取代。
- (2) 自動裝設管線、自動上漆，甚至地板或衛浴瓷磚的自動化鋪設等作業，皆可利用電腦控制，由機器人自動化的進行鋪設，依據相關研究案例的成果顯示，自動化鋪設瓷磚的線非常的精準、美觀且統一。

## 7. 高科技廠房樓板的平整度監控與檢測

高科技廠房的面積都非常大，要求之樓板平整度也非常高，最後的施工完成面也一定要非常平整，比起道路平坦度的要求還要更高，然而困難之處在於廠房的樓板多位於高空中，無法搭建很重的支架支撐龐大機器去施作平整度的檢測作業，目前的水平控制皆由人工進行量測與監控，頗為耗力費時且需承受未良好監控導致後續龐大花費的風險，可發展自動化的機器人檢測程序，不止在樓板施工完成後檢測其平整度，亦可在樓板施工過程中即隨時監控平整狀況。

## 8. 自動化的預鑄作業

要提昇營建生產力第一個步驟即是工廠作業化，亦即盡量在工廠生產再去現場組裝，然而即便如此，現場工作的自動化則是一個更遠、更需要解決的目標。例如，RC結構的預鑄化就是將原本在工地施作的部份移到工廠預做，然後再載到現場組裝，將工地裡零碎的工作導入工廠的流程中，按流程階段性的逐步完成，類似這種大量且重覆性的工作，極適合導入機械化與自動化，取代目前人工控制流程的方式。

## 9. 工地現場的清查作業 (inventory)

一般工地施作過程中，常需花費相當多的時間進行尺寸、鋼筋等材料的確認工作，目前多由工程師拿著圖表資料在現場逐次核對，未來可研發出特殊的手持設備讓工程師使用，以建築物中的某處為參考點，手持著該款設備，隨著設備的移動或透過掃描的動作，即可知道現在所處的位置、所檢測的是哪一根梁、哪一種材料，並將材料的尺寸或位置與資料庫作比對，便可清楚瞭解工地現場的施作狀況。

## 10. 相關應用彙整：

(1) 航道的斷面量測

(2) 港灣的河床斷面量測

(3) 模板、鋼筋的自動化噴漿作業：同時使用多枝噴嘴一起完成噴漿作業。

(4) 鋼筋加工：目前常見大量的勞力投入於鋼筋加工，可發展自動化鋼筋加工的機器人設備。

(5) 逆打工法：逆打柱的置放常會產生偏差，可透過自動化的程序進行定平與定心。

(6) 高樓洗窗機：目前設計的高樓洗窗機有人為操作的危險性，若能發展機器人自動化的清洗設備，頗有市場需求及商機。

(7) 混凝土鋪築機：目前的混凝土鋪築機可自動化施作包括整平、搗實、掃痕等作業，然其最大的問題在於移動困難，可研究如何將其移動問題整合於自動化的控制中。

(8) 環境檢測與監測：包括空氣污染、水質、噪音等，由於空氣污染或水質資料的取樣有時在高空或是人員無法到達的區域，考慮檢測人員的安全性，可發展機器人（如

直昇機) 來執行類似的檢測作業。

- (9) 基礎沖刷：將機器人製成河面型的船用載具或潛艇型載具，可逕行航行到每個基樁自動檢測，國內外皆有此檢測需求。
- (10) 搜救型機器人：例如，若下水道發生災難時，消防隊員通常需要先穿著救生衣、背上氧氣筒，但如此便會產生搜救上的時間差，此類狀況應可由機器人協助處理。
- (11) 捷運、鐵路的自動巡軌：因為軌道線路通常是固定的，所以極適合發展機器人的自動控制所需。
- (12) 鋼線網施工與 X 光檢查：鋪面或樓房的鋼線網施工過程中，常需大量勞工進行大量的鋼線網點焊工作，並需透過 X 光進行破壞的檢測，可考慮由機器人自動進行點焊施作，並同時執行 X 光檢查，可節省大量人力並使點焊工作更為確實。
- (13) 智慧化生活空間：將機器人當作「輔具」引入居家生活中，讓居家生活智慧化，改善生活品質。

#### 4.4 執行策略面

針對營建自動化或智慧型機器人應用於土木營建產業之執行策略，彙整研討會中專家學者提供之建議如下，未來可朝以下策略擬定更具體之施行措施：

1. 國內需具備營建自動化或機器人軟、硬體開發的技術與能力。
2. 對於目前機器人或智慧型輔具初期研發的投資應以較長遠的眼光進行規劃，將時程規劃為 5 至 10 年尚稱合理，追求短期的績效頗為不妥。此外，由於能量與可用資源有限，以未來 10 年的眼光，研發對象應該聚焦在對國內產業有潛力、有利機、有前景、大家願意投資的發展項目，將來可在研發各階段持續召開專家學者諮詢會議，透過與政府相關部會的產、官、學、研相互結合，推動產學合作計畫，整合不同研究團隊與研究成果，應可獲得較大研發能量。
3. 從產業的觀點，投入一項新技術的同時也會評估其是否具有商機與潛力，由生命週期可知，營運階段占整體工程生命週期成本超過 50%，也因為營運階段牽涉到產業的實質發展且層面廣泛，因此機器人的長期發展方向可聚焦投注於工程的營運階段，結合產業的需求，市場才能更為寬廣，除了著眼台灣市場的開拓外，亦可拓展海外市場，將技術輸出、與全球接軌。
4. 基本上，不論機器人或智慧型輔具的研發都需要有利機與展望，大家才願意投入，因此研發工作應該是跨領域的，國外營建自動化的發展並非純由營建產業在推動，國內的研發可結合電子產業與半導體產業中發展成熟的技術，例如機電部分可與士林電機、東元

電機集團合作，透過產業間的結合，營造出研發產品可以輸出的利機，據此產出有關營建工程的產品應該會具有競爭力，能行銷到世界上吸引商機。

5. 國內營建環境的規模頗為受限，導致研發初始之設計階段的許多想法在技術產出後卻不一定實用，因此類似營建自動化或機器人的研發工作，不僅在學術單位中進行，更應實際應用於實務工地中，未來的研發成果應經由產業檢閱 (review)，這也代表研發成果能為產業界所用，亦意味著商機的存在，如此才能在市場上有足夠的發展空間。研發工作應該叫好也要叫座、不能曲高和寡，否則研發的目的就會被打折扣，投入的資源也會極為可惜。
6. 目前各界針對新材料、新工法、新的檢測模式、新的施工方法進行引進或開發工作，後續也可透過委員會 (committee) 的方式，齊力訂定其國內的相關規範，便能嘗試在國內的市場中使用。未來的研發若想要有利機，也應該要著眼全球化，甚至考慮技術是可以輸出的，先期可改良目前已發展成熟之技術後接著創新，再以專利的方式保護智慧財產權，進行專利的佈局，此過程需要大家一齊努力，單靠產、官、學、研任何一方都是困難的。
7. 讓產業界在先期就投入參與，初始即參與投入就可共享智慧財產，否則就需要另外授權，基本上這是在研發前期即將產、官、學、研結合成一個團隊，類似國外實驗室常見採行的團隊經營組織 (panel)，大家投入資源、都持有股份、變成一個聯盟，將資源作適當整合並長遠經營，結合大家的力量一起參與與合作、共享成果，讓研發工作永續發展。
8. 機器人的開發需要有共用平台，在基本的平台上可因應不同用途開發不同的模組，這種方式能加速整體的研發過程。
9. 可針對營建工程的所有工種進行個別分析，例如建築工程中，有哪些工種需要哪些工人？而那些工人會做什麼動作？依此彙整成為研發的基礎，將來若有某種工程或工項需要什麼樣的動作需要機器人輔助，就可將之結合，此對未來機器人研發的長期發展會有較大幫助。
10. 為了工程生命週期後段的維護與檢測需求，在初期的規劃設計階段即可將機器人需要的軌道與工作面規劃設計進去，讓機器人在未來有較好的工作環境執行維護與檢測作業，可節省成本且在研發上也會較為容易。
11. 由於國內營造廠商皆屬中小型的營造公司，不如日本的營造財團會投入大量的資金進行研發工作，學術單位或研究團隊可透過廣泛的資料收集與彙整，瞭解目前國外有哪些營建自動化的作法適合國內廠商應用在國內的工程上？先將整套技術面的細節複製下來，轉化成國內廠商可以學習與複製的原型，先在國內進行複製與開發後使能在臺灣本

土化、能夠實際運用，待技術成熟便可將技術輸出。此概念的誘因在於，廠商願意將相關營建自動化作法引進臺灣的前提是必須要有市場的利機，接著才会有開發的動力並向外發展，此舉對整個國內的營建產業會有相當大的貢獻。

## 4.5 問題限制面

國內推行營建自動化至今雖有不少具體成果，然而較之韓國、日本等鄰國的發展卻嫌落後，透過專家學者研討會，彙整歸納出國內遭遇的問題與限制如后，未來需透過產、官、學、研各界一齊努力，腦力激盪並發揮創意，以突破困境破繭而出，尋找到務實的發展與解決之道：

1. 各界對營建自動化（Automation in Construction）的認知不夠精準亦缺乏具體共識，對於現在及未來自動化工作的推動是很大的挑戰。
2. 各界普遍關注的經費問題，也是推動營建自動化工作的重要關鍵因素，近年國家整體財務狀況吃緊，必定對推動工作產生極大的影響。
3. 以污水下水道檢測為例，目前採用的 TV 檢視係透過檢測結果研判應該採行何種修繕策略，但最重要的是，檢測結果該如何評估其正確性？因此，檢測方法及檢測標準的客觀性與正確性是最重要的問題，未來檢測機器人研發的同時也應特別注意。
4. 針對國內的需求，採購引進或自行研發檢測設備，包含目前智慧型機器人的研發工作，應注意商業化的市場規模，設備市場化的眼光夠不夠？國內是否有相關配合的規範？目前國內的大環境除了尚沒有成熟的商業化條件及規模外，還需考慮法律及發展誘因等問題，這是未來研發工作可能會遭遇之困境。
5. 目前國外以執行績效為基礎的合約（Performance-Based Contract, PBC）方式適合推進國內，目前機器人的研發工作應可配合此全球化趨勢，引進國內後也應一併擬訂務實的相關配套措施。
6. 國內過去已完成研發的設備及資訊系統平台不可謂不豐碩，然而目前尚未實際推行廣為採用的原因，是因為尚缺乏一個足供採信的驗證平台，亦即各單位所研發之檢測設備或資料蒐集設備的精確度及變異性通常非常的大，導致這些資料無法提供後續資訊系統平台所用。
7. 目前營建自動化的進程，無論是國外引進或國內研發，皆需透過採購的方式才能實際運用到市場中，然而由國內需求轉變成工程實際應用，環節上的資源配合與相關配套措施就現況來看是不足的。
8. 迄今營建產業中推行施工機具自動化的歷程頗為挫折，遭遇到許多問題，包含從業主、

設計到建造，在整體過程中產生磨和的問題，在產業中做出來的成果與原先的規劃設計產生極大落差，導致過去在台灣投入的自動化設備到最後皆賣給韓國或日本等鄰國，國內對此部份的認知極為缺乏。

9. 由於營建工程中每個建物都是獨特的個案、都不盡相同，欲針對營建工程進行整體自動化的推動確實有其困難與挑戰，要思考營建產業自動化的發展該如何落實？如何在產業中推動？如何能將某種工法確實在台灣生根是最重要的問題。

## 第五章 結論與建議

### 5.1 結論

1. 機器人產業與人類生活息息相關，未來將會發展成為全球最重要的明星產業之一，目前產業用與服務用機器人的開發技術漸趨成熟並成功應用於許多領域，服務用之智慧型與自主式機器人的產製亦為未來發展重點。國內營建產業中的機器人應用源起於政府推動之營建自動化（Automation in Construction）政策，本計畫參酌本所推行多年之「公路績效監測技術研發」計畫之執行方向與成果，並配合政府營建自動化推行之科技發展與前瞻規劃，提出以服務用之自主式機器人應用於道路檢測的構想，透過實務專家研討會的召開進行腦力激盪並發揮創意，完成此構想之可行性研究。
2. 為能評估機器人技術於道路檢測之可行性，本計畫完成國內外營建自動化、產業用與服務用智慧型機器人相關資料的收集與彙整，透過世界專利資料庫瞭解各國機器人的技術佈局，掌握機器人市場與需求，由政策面、產品應用面、產業面與技術能量面等層次瞭解機器人研發廠商、學術與研究單位等概況，整理分析各國目前在機器人產業的現況與未來發展方向。
3. 營建自動化為突破傳統營建產業之必然趨勢，透過具備工業化、高效率化與國際化工法及技術的引進，將使產業發展具有永續、可變化之適應性，並會產生可拆組與再生利用的未來效益。過去營建自動化之執行所引入發展之技術以橋梁工法、隧道工法、預鑄工法以及混凝土工法等四大項目為主軸，按內政部營建署擬訂未來國內營建自動化之發展方向包含下水道技術、檢監測技術、補強技術、拆除更新技術、營建自動化市場開發與技術推廣等五大工作重點，由此可知，確實可積極投入研發應用於土木營建產業之機器人產品。
4. 本計畫針對國內外鋪面平坦度及表面調查檢測設備研發，完成文獻的綜整回顧與評述，可提供智慧型機器人於道路鋪面檢測應用與研發之思考方向與執行策略探討。
5. 本計畫辦理「智慧型機器人於營建產業應用研討會」，邀集多位實務業界專家獲取其寶貴意見，擬訂出營建自動化與自主式機器人於土木營建產業之發展方向與策略，針對包含產業需求、技術發展、應用推廣、執行策略、問題限制等層面的課題進行探討，可作為後續實體機器人研發參採：

#### (1) 產業需求面

- 特定工作場所與環境，如封閉場所（機場場區）、有限空間（污水下水道）等。

- 人力無法到達或施作的特殊環境，如高空的空氣污染取樣、橋梁背面的劣化檢測等。
- 勞力密集的工作項目，如鋼筋加工與點焊等。
- 人工施作危險性高的工作項目，如高樓樓板平整度檢測、隧道開挖現場的監測工作等。
- 機器人並非完全取代已經發展成熟的工具設備，而是以協助或輔助的角度提昇營建工程之作業效率、擴展施作層面、增加施作安全性。

## (2) 技術發展面

- 土木營建產業的時空環境常不可控制且隨時變動無法固定，機器人需能自動尋標。
- 土木營建產業的環境難有固定軌跡，機器人需能自動定軌。
- 機器人需具備自我感知、控制與保護的能力。
- 機器人需能克服環境障礙並同時保有準確度及可靠度。
- 機器人需能無線或自主控制。
- 機器人需能應付二維或三維立體的作業方式。

## (3) 應用推廣面

- 道路鋪面（包含瀝青混凝土/柔性鋪面、水泥混凝土/剛性鋪面）檢測：結合GPS資訊，可檢測IRI、PCI、車轍（rutting）、表面紋理（texture）、道路幾何線型（geometry）、路拱坡度（slope）、道路及交通設施清查（inventory）、路權（right-of-way）攝影、辨識並鑑定破損的狀況及發生位置、跨越障礙物之淨高（overhead obstruction measurement）等。另可思考發展結構性的機器人檢測方式，可將機器人用於較短里程、高精度檢測需求及完工驗收中。
- 機場（剛性鋪面）檢測：機器人可嘗試整合IRI、PCI、FOD三項重要檢測，結合GPS資訊，可辨識並鑑定版塊破損的狀況及發生位置。
- 橋梁：機器人可用於橋梁的施工與相關檢測作業
- 隧道：隧道開挖機具自動化、隧道開挖過程中的監測作業，以及隧道內的裂縫檢測。
- 地下管線：機器人可用於污水下水道的建設、檢測、維護等工作，研發同時應考慮縮小檢測設備的量體。
- 建築工程：機器人可用於塗裝作業自動化、自動裝設管線、自動上漆，甚至地板或衛浴瓷磚的自動化鋪設等作業。
- 高科技廠房樓板的平整度監控與檢測

- 自動化預鑄作業
- 工地現場材料、尺寸、位置等之清查 (inventory)
- 其他相關應用：包含航道的斷面量測、港灣的河床斷面量測、模板、鋼筋的自動化噴漿作業、鋼筋加工、高樓洗窗機、環境檢測與監測、捷運、鐵路的自動巡軌等。

#### (4) 執行策略面

- 國內應具備機器人產業相關的開發技術及能力
- 機器人產業的發展應著眼於長期規劃，結合產、官、學、研各領域團隊，推動產學合作計畫。
- 機器人研發可投注於工程的營運階段，因為與產業結合才有市場。
- 機器人研發可結合電子、半導體、及機電產業，進行跨領域結合。
- 機器人的研發成果需能實用於實務工地，才有商機及市場規模。
- 機器人的研發技術應能全球化且可輸出
- 讓產業於機器人研發先期即投入參與，此舉才能讓研發工作永續發展。
- 可投注於機器人共用平台的研發
- 可針對營建工程的各種工種與工項進行分析，以便機器人的研發能與需求相互結合。
- 於工程規劃設計之初即需考慮未來機器人之應用界面，此能節省將來的研發成本。
- 近程可先考慮複製國外技術的原型，引進臺灣進行本土化，於實務業界運用成熟後即可輸出到世界上，與全球接軌。

#### (5) 問題限制面

- 國內對於營建自動化的認知普遍不足
- 各界對於機器人研發所需之經費拮据
- 如何確認檢測結果的正確性？以及檢測方法、檢測標準的客觀性？這是機器人研發的重要問題。
- 國內商業化的市場規模、法律規範、發展誘因等客觀因素均顯不足。
- 研發機器人同時，可配合世界上以績效為基礎之合約模式 (PBC) 的發展趨勢，訂定國內本土化的配套措施。
- 國內迄今的檢測系統無法全面推廣使用，係因尚無足可採信之驗證平台，研發之機器人未來也會面臨該相同問題。
- 由國內的需求，經由採購程序，再於工程實務中實用，該整體環節的配套不足。

- 由業主、設計到建造的過程需要磨合，由過去的經驗顯示，技術產出與當初的規劃設計差異頗大，國內普遍對自動化的認知不足。
- 應重視研發成果如何在產業裡推動並落實，讓工法能在台灣生根，如此才有研發的利基與商機。

## 5.2 建議

1. 智慧型機器人產業早已被日本、韓國等列為新興產業，其他各國營建自動化導入自動化機械已行之有年，運用機器人協助生產、提高效率，並投入大量資金與人力積極發展，我國更應加速布局並立即投入。除了本計畫訴求之道路鋪面檢測領域的應用外，機器人產業更需各界不同領域與專長之腦力激盪與創意發揮，共同開拓機器人未來在台灣的市場。
2. 營建技術的發展隨資訊科技技術突飛猛進且快速變革，相較於先進國家，國內營建業者於研究發展的投資比例甚低，仍沉浸於傳統的工法與技術，前瞻性與國際化程度顯然不足，營造業、建築開發業之國際競爭力也相對的較為薄弱，與先進國家之現況落差正急速加大，此類業者為數眾多，其信譽與能力對營建產業發展影響甚鉅，亦造成營建自動化、機器化無法有效導入。因此，除透過政府持續推動營建自動化方案及計畫的帶動外，應思考相關營造組織的再造，不僅止於企業本身的自我要求，更應由現行的法規如營造業法、建築開發業之相關法規著手，建立促使其創新研發之機制，並對不利永續經營之業者予以汰弱，以使良性競爭、兼顧公眾與公共之利益及安全。此外，亦可思考由政府積極帶頭參與，透過產、官、學、研單位的團隊，出席相關國際學會、國際組織、國際研討會等，汲取國際上的先進發展新知及技術，應用自動化、工業化與電子化之理念，增進國內營建生產的技術與水準。
3. 臺灣地區過去 40 餘年由於經濟發展的成就與重大建設計畫的完成，對於社經發展、土地利用與交通運輸等產生極為深遠的影響，其中公路的建設扮演著舉足輕重的角色。臺灣地區每年需進行維修及養護之道路面積平均超過一億七千萬平方公尺，以瀝青混凝土為主要材料之柔性路面即佔總路面里程之 93.25%(依據交通部公路總局民國 94 年底統計資料)，故柔性路面的檢測評估與經營管理遂成為路面工程專家的主要研究對象。道路在空間中為大範圍且線型不規則之工程構造物，完工驗收開放交通後極易受主客觀（如地域特性、施工品質、交通量、材料老化、用路人等）因素影響破壞而降低其服務能力（serviceability）。現行一般柔性鋪面檢測主要針對服務性（包含縱向平坦度/粗糙度（roughness）、橫向平坦度/車轍（rutting）、表面破損（distress））、結構性、安全

性（即抗滑性）三大特性進行現況資料收集，以供後續處理分析並評估鋪面現況，並藉以作為養護與維修（maintenance & rehabilitation, M&R）以及年度預算編列的重要依據。隨著資訊科技（information technology, IT）產業蓬勃發展，各國道路主管機關、相關研究機構及廠商針對各種鋪面特性研發各式新穎檢測儀器與設備，由傳統以人為巡路方式進行主觀判識與檢測記錄，進步到現今以高速、準確且可大範圍施測的高科技光電設備，然其中隱含的技術門檻與耗費於檢測作業的人物力常面臨瓶頸等應有改善空間：

- (1) 現今商業化的道路檢測儀器與設備普遍昂貴，軟硬體更新及養護維修多透過代理商聯繫且需送回原產地處理，過程不便、耗時費力，且保固期過後的處理經費更為可觀。除了軟硬體的關鍵技術（know-how）掌控在他人手裡外，目前大部分的檢測過程完全倚賴人為操控進行全面檢測或主觀抽樣，無智慧化的自動控制且易隱含主客觀誤差；此外，一次檢測所擷取之資料非常龐大，存在很多重複且多餘的資料，並無實際運用與參考價值，不僅浪費電腦儲存空間，亦難掌握重要資訊進行正確的管理決策判斷。
- (2) 目前產業用與服務用機器人的開發技術漸趨成熟並成功應用於許多領域，未來機器人產品與社會大眾及社群產業的關係必將日趨密切，服務用之智慧型機器人的產製亦為未來發展重點。配合國內科技發展政策與前瞻規劃，本計畫後續將持續發展鋪面檢測的實體機器人，以提昇台灣地區的道路鋪面服務品質。

## 參考文獻

1. 中華民國海關進出口統計資料庫，<http://203.66.210.138/stap/main.asp?lang=2>。
2. International Federation of Robotics (IFR), World Robotics Market 2006: <http://www.ifr.org/modules.php?name=News&file=article&sid=9>, 2008.
3. 國際機器人協會/聯合國歐洲經濟委員會 (International Federation of Robotics/ United Nations Economic Commission for Europe, IFR/UNECE) 研究報告，2004。
4. 工業技術研究院，智慧型機器人商機可期，民國 94 年 5 月。
5. 工業技術研究院，智慧型機器人的產業化—以韓國為例，民國 95 年 5 月。
6. 國立清華大學科技管理學院科技政策研究報告，台灣智慧型機器人產業發展機會與策略，經濟部工業局 94 年度專案計畫執行成果報告，民國 94 年 10 月。
7. 國立清華大學科技管理學院科技政策研究報告，智慧型機器人市場需求分析，經濟部工業局 94 年度專案計畫執行成果報告，民國 94 年 10 月。
8. 石承泰，機器人產業—機械業新契機，精密機械研究發展中心機械資訊，第 607 期，民國 88-89 年。
9. 工業技術研究院，日本經產省對歐美日機器人專利之調查，民國 96 年 9 月。
10. 工業技術研究院，產業經濟與趨勢研究中心 (Industrial Economics & Knowledge Center, IEK) 整理，民國 96 年。
11. 臺北國際機器人展 (TIROS)，<http://www.tiros.org.tw/>
12. Yukio, H., "Construction Automation and Robotics in the 21st Century," The International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC), Tokyo, Japan, pp. 565-568, 2006.
13. NaitoJunpei, O.N., "Development of a Wearable Robot for Assisting Carpentry Workers," International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC), Tokyo, Japan, pp. 523-526, 2006.
14. Special Issue on Construction Robotics, Autonomous Robots, Vol. 22, No. 3, pp. 199-319, 2007.

## 附錄 明新科技大學 97 年度 研究計畫執行成果自評表

計畫類別： <input type="checkbox"/> 任務導向計畫 <input type="checkbox"/> 整合型計畫 <input checked="" type="checkbox"/> 個人計畫 所屬院(部)： <input checked="" type="checkbox"/> 工學院 <input type="checkbox"/> 管理學院 <input type="checkbox"/> 服務學院 <input type="checkbox"/> 通識教育部 執行系別：土木工程系 計畫主持人：張家瑞 職稱：副教授 計畫名稱：智慧型機器人應用於土木工程檢監測之研究 計畫編號：MUST-97 土木-04 計畫執行時間：97 年 1 月 1 日 至 97 年 9 月 30 日	
教學方面	<p>1. <u>對於改進教學成果方面之具體成效</u>：</p> <p>(1) 土木工程：藉由土木工程實務資料的收集與現況研析，配合研討會的辦理，強化土木工程教學成效。</p> <p>(2) 智慧型機器人：藉由智慧型機器人實務資料的收集與現況研析，強化土木工程與機電整合之教學成效。</p> <p>(3) 國外經驗：研析國外土木工程與機器人成熟經驗，增廣見聞並彙整成果提出建議以供國內參採。</p> <p>2. <u>對於提昇學生論文/專題研究能力之具體成效</u>：</p> <p>本研究係以土木工程及智慧型機器人為研究對象，強調實務資料收集，培養研究精神，增加研究人員的實務經驗。藉由國內外實務資料收集的過程增廣見聞開拓視野，以他山之石提供國內借鏡。培養技職校院學生動手收集資料與閱讀判斷的分析能力，實際體現實務與理論並重之教學方針，奠定學生日後對整合土木工程與智慧型機器人領域整合之進階研究基礎。</p> <p>4. <u>其他方面之具體成效</u>：</p> <p>引進國外先進智慧型機器人的成功研發經驗，應用於傳統的土木工程檢監測領域，並提出實施計畫與使用策略，可獲知其實際效益。</p>
計畫執行成效	<p>1. 該計畫是否有衍生出其他計畫案 <input type="checkbox"/>是 <input checked="" type="checkbox"/>否 計畫名稱：_____</p> <p>2. 該計畫是否有產生論文並發表 <input checked="" type="checkbox"/>已發表 <input checked="" type="checkbox"/>預定投稿/審查中 <input type="checkbox"/>否</p> <p>(1) <b>Chang, J. R.</b>, Kang, S. C., Liu, Peter, Hsieh, S. H., Tseng, Y. H., and Su, Y. S., "Determination of the International Roughness Index (IRI) Using An Autonomous Robot (P3-AT)," <i>26th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2009)</i>, Austin, Texas, U.S., June 24-27, 2009. (abstract submitted)</p> <p>(2) <b>張家瑞</b>、康仕仲、謝尚賢、陳茂南，「智慧型機器人於營建產業之應用分析」，營建管理季刊，民國 97 年。(審查中)</p> <p>(3) Gu, K. Y., Liu, P., <b>Chang, J. R.</b>, Kang, S. C., and Hsieh, S. H., "Implementation of an Autonomous Robot for Pavement Inspection," <i>12th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering &amp; 2008 International Conference on Information Technology in Construction (ICCCBE-XII &amp; INCITE 2008)</i>, Beijing, China, October 16-18, 2008, 5 pages (Paper No. 270).</p> <p>(4) <b>Chang, J. R.</b>, Kang, S. C., Liu, M., Hsieh, S. H., Huang, T. C., and Lin, P. H., "An Autonomous Robot Equipped with the GPS Virtual Reference Station (VRS) System to Perform Pavement Inspections," <i>International Symposium on</i></p>
學術研究方面	<p>(1) <b>Chang, J. R.</b>, Kang, S. C., Liu, M., Hsieh, S. H., Huang, T. C., and Lin, P. H., "An Autonomous Robot Equipped with the GPS Virtual Reference Station (VRS) System to Perform Pavement Inspections," <i>International Symposium on</i></p>

<p>學術研究方面</p>	<p><i>Automation and Robotics in Construction (ISARC 2008)</i>, Vilnius, Lithuania, June 27-29, 2008, pp. 141-147. (Thomson Reuters ISI Proceeding database)</p> <p>(5) <b>張家瑞</b>、康仕仲、古凱元、劉寅春、謝尚賢，「智慧型鋪面檢測機器人系統開發及檢測運動模式驗證」，第八屆鋪面工程材料再生及再利用學術研討會暨 2008 世界華人鋪面專家聯合學術研討會，中壢，民國 97 年 11 月 6-7 日。(全文接受發表)</p> <p>(6) <b>張家瑞</b>、黃遵成、康仕仲、謝尚賢，「整合虛擬參考站(VRS)及互動式彩色影像追蹤系統(ACTS)之機器人平台(P3-AT)擷取鋪面表面破損」，第八屆鋪面工程材料再生及再利用學術研討會暨 2008 世界華人鋪面專家聯合學術研討會，中壢，民國 97 年 11 月 6-7 日。(全文接受發表)</p> <p>(7) <b>張家瑞</b>、康仕仲、古凱元、劉寅春、謝尚賢，「智慧型機器人於鋪面檢測之運動模擬暨驗證」，中國土木水利工程學會 2008 研討會，宜蘭，共 10 頁(Paper No. B01)，民國 97 年 10 月 22 日。</p> <p>(8) 劉佩君、<b>張家瑞</b>，「智慧型機器人於營建產業應用—鋪面檢測之先期研究」，第九屆鋪面工程師生研究成果聯合發表會，中壢，第 13-20 頁，民國 97 年 8 月 27 日。</p> <p>(9) 黃遵成、<b>張家瑞</b>，「以裝載虛擬參考站 (VRS) 之機器人系統檢測鋪面表面破損」，第九屆鋪面工程師生研究成果聯合發表會，中壢，第 183-190 頁，民國 97 年 8 月 27 日。</p> <p>3.該計畫是否有要衍生學合作案、專利、技術移轉 <input checked="" type="checkbox"/>是 <input type="checkbox"/>否 請說明衍生項目：<b>能自動檢測道路鋪面平坦度及表面破損之機器人及方法</b> (發明專利，審查中)</p>
<p>成果自評</p>	<p><b>計畫預期目標：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.國內外各類型機器人發展現況與未來發展方向之文獻資料收集、彙整與分析。</li> <li>2.智慧型機器人於土木工程應用之現況資料收集彙整與未來發展評析。</li> <li>3.透過研討會召開進行專家訪談與相關資訊搜尋，針對智慧型機器人於土木工程檢測進行可行性評估。</li> <li>4.提出未來機器人應用於土木工程檢測之發展策略與施行架構。</li> </ol> <p><b>計畫執行結果：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.瞭解並掌握國內外機器人發展現況、研發技術與未來趨勢。</li> <li>2.探討土木工程檢測之現況與瓶頸，提出改進的思維與方向。</li> <li>3.瞭解機器人技術於土木工程之發展現況與未來趨勢。</li> <li>4.瞭解機器人於道路工程檢測之市場規模、研發技術等，並擬訂其初步的發展策略與施行架構。</li> </ol> <p style="text-align: right;"><b>預期目標達成率：100 %</b></p> <p><b>其它具體成效：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.藉由國內外機器人實務資料收集的過程增廣研究人員見聞開拓視野，以他山之石提供國內借鏡，並完成多篇國內外研討會之論文發表，目前著手學術期刊論文撰寫。</li> <li>2.實際培養技職校院學生動手收集資料、專家訪談與閱讀判斷的分析能力，實際體現土木工程與機電實務與理論並重之教學方針。</li> <li>3.奠定學生日後對整合土木工程與機電系統進階研究之基礎。</li> </ol>