

R2-D2 機器人



電影《星際大戰》裡，R2-D2，一個負責維修的機器人，圓胖的身體裝滿了各種工具，任何器械故障都難不倒它，不過最重要的是，它的機智與勇敢，讓它成為劇中主角Anakin Skywalker、Amidala無可替代的伙伴。

而獲時代（TIME）雜誌“Top 10 Everything of 2008”電影類第一名的《瓦力（WALL-E）》，主角Wall-E是負責清理地球上垃圾堆的最後一個機器人，孤獨地生活了700年，因愛上女機器人Eve，決定展開冒險，改變了自己也改變了人類的命運。

R2-D2和Wall-E，有情、有愛，讓你我感動，但畢竟是虛擬機器人，也許我們都想知道，哪一天，它們會出現在真實生活中***。

本期「研究發展」專欄，特別邀請本校在機器人研究卓有成果的黃漢邦教授、傅立成教授、周瑞仁教授、林達德教授、關士傑醫師及廖俊厚醫師等人，分別為您介紹在手術、復健、救災、農事等不同功能的智慧型或仿生型機器人，它們還不具有“人性”，但絕對是人類的好幫手。

機器人之發展

文・圖／黃漢邦

機器人屬於一門跨領域的知識，建構一部機器人需具備系統整合能力。因為一部機器人，從無到有，必須先訂定所期望的機器人型態，接著設計出機器人整體的外觀，所以需要機構設計與製作的能力。為使機器人能夠順利的動作，需要有電子电路設計與馬達控制的能力。同時，機器人需要與環境互動並且正確地執行任務，所以需要設計感知系統並利用人工智慧的技術來達成目標。因為機器人需要與人互動的量遠遠的超出以往的其他機器，設計上要考量的因素較多，設計也較為困難。根據上面所述，機器人領域涵蓋了機構設計與製作、電子电路設計、人工智慧、感知系統、動力驅動系統等，範圍極大，需系統整合知識。

臺灣大學機械系機器人實驗室成立於民國75年12月，研究目標包括智慧型機器人、機電整合技術、自動化系統、微奈米操控、人工義肢開發、及影像辨識與處理等。曾與許多國內外產業、學術機

構、研究單位合作。以下針對本實驗室在機器人系統方面所發展的一些技術作一概略之介紹。分別是智慧型輪型機器人、多自由度機器手臂、靈巧多指機器手掌、影像處理、人型機器人、機器人自動化微組裝系統、管路機器人、及六足機器人。

智慧型輪型機器人

所謂輪型機器人，即是利用輪子驅動而產生運動的機器人，目前實驗室在這一部分是以發展機器人人工智慧與運動規劃為主，期望能建構一完善的機器人智慧型運動規劃系統，使機器人不管在任何環境下，都能以自主性的方式完成所交付的任務。目前所發展的技術有智慧型路徑規劃系統、同步定位與環境建圖系統（SLAM）、機器人頭部設計與臉



圖5 機器人表情

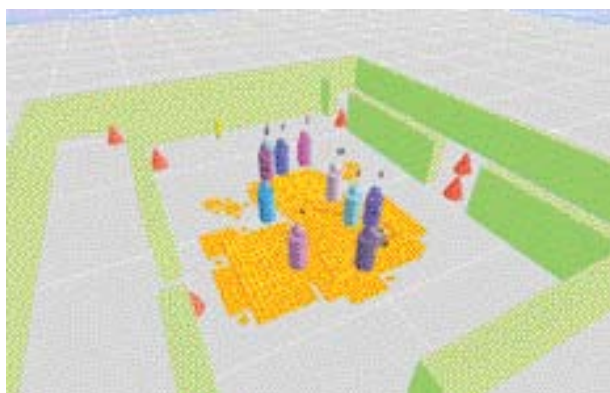


圖1 智慧型運動規劃系統模擬環境



圖2 2008世貿參展與民眾互動情形



圖3 機器人外觀



黃漢邦

黃漢邦教授為美國密西根大學電機工程博士，現任國立臺灣大學機械工程學系終身特聘教授、工業工程學研究所教授、自動化科技學會理事長、及教育部科技顧問室顧問，曾擔任國立臺灣大學製造自動化中心主任、工學院副院長、工業工程學研究所所長、機械工程學系主任、及國科會自動化學門召集人。主要研究興趣包括智慧型機器人、人工義手、光機電整合、人機互動行為、控制系統、製造自動化與排程、RFID。

部表情、多機器人系統（足球機器人）等。

智慧型路徑規劃系統

實驗室近期發展一系列智慧型路徑規劃系統，主要重點在於機器人能夠自主化的在人類居住的環境中移動，同時避開所有的障礙物。與其他避障演算法的不同點在於目前我們設計的演算法能使機器人進一步去瞭解行人的行走模式，並利用這些模式去預測行人未來走的方向與路徑，藉由這種方式可以讓機器人即使在複雜的動態環境中行走時，也能夠成功的避開所有經過的動態與靜態的物體。機器人運動規劃系統模擬環境，機器人與民眾互動情形，及機器人外觀如圖1、2、3所示。

同步定位與建地圖系統（SLAM）

為了使機器人能在環境中達到完全的自主化，換句話說，機器人必須要能完全掌握住其周邊的資訊，根據即時獲得的環境資訊反映出適當的動作。因此，如何在未知的環境中進行定位與重建環境地圖，對於行動式機器人是相當重要的一項功能，同時也是近年來機器人領域的熱門話題。若能得到正確的環境資訊，就能提升路徑規劃與自動導航的效能。針對這一部分，機器人實驗室已發展出相關的演算法RAMF、RASLAM、SLAMMOT-SP，圖4為利用雷射感測器以及搭配所發展的演算法，所建立出臺大校史館和體育館的三維模型外觀。此技術可應用至各式機器人的室內外定位技術，同時也可用於GIS（Geographic Information Systems）地理資訊系統，自動化的建立道路與城市的地圖。

機器人頭部設計與臉部表情

為了讓人們能用更自然的方式與機器人進行互動，因而在機器人頭部加入表情變化的功能，使機

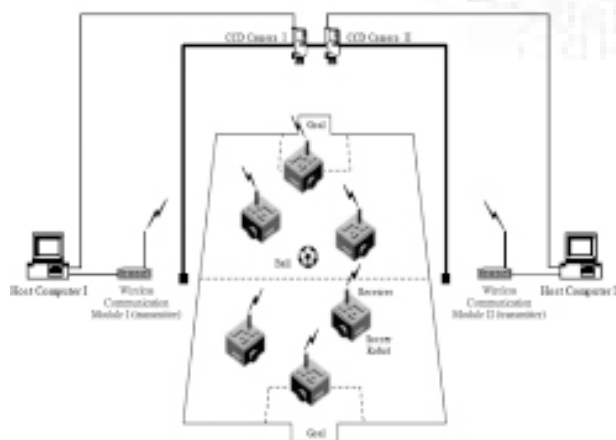


圖6 足球機器人系統架構

器人與人們互動時更為生動有趣。此機器人頭臉上包含了眉毛、眼睛和嘴唇，脖子具有兩個自由度，可以上下左右轉動。利用網路攝影機使其具有視覺，再搭配已經寫好的軟體，可以進行人臉追蹤與人臉辨識。機器人目前具備有七種表情，包括了正常、快樂、驚訝、生氣、害怕、噁心、難過。

足球機器人系統

足球機器人系統為一多機器人協調控制的系統。一個足球機器人隊伍必須有一台主控電腦、一台攝影機、無線通訊系統，當然還要有多台足球機器人。攝影機架設在場地的上方，主要的功能就是將場地上的狀態拍攝下來傳回主控電腦，透過電腦對回傳影像的分析，我們可以知道目前兩隊機器人所在的位置、球的位置和速度，進而套用規劃好的策略，分析出目前應該攻擊或者防守的應對方針，最後再藉由無線通訊系統把命令傳給場地上的機器人，使它們運動來達成攻擊或防守的目的。足球機器人最有趣的地方，莫過於透過模擬、比賽等等測試，來規劃出更好的策略，精進足球機器人隊伍的實力。圖6、7、8為自製的足球機器人系統。



圖4 利用SLAM 技術建立環境模型

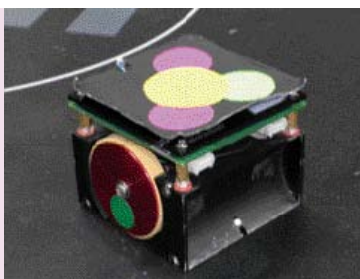


圖7 足球機器人外觀



圖8 攝影機回傳之影像



圖10 智慧型保全機器人

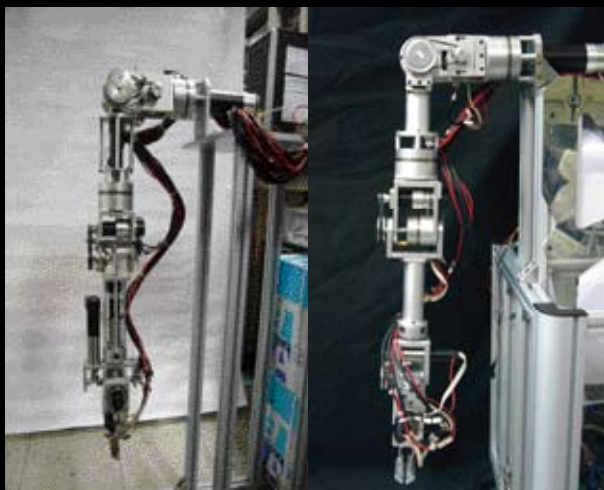


圖9 機構實體圖



圖11 靜態環境中的軌跡規劃

圖12 動態環境中的軌跡規劃



多自由度機器手臂

隨著世界各地機器人相關技術的迅速發展，機器人進入人類社會中為人服務之需求已無可避免。國內外許多研究團隊相繼開始嘗試發展不同機構與應用的機器人，其中以行動式機器人應用的範圍最廣。在此類機器人中，又以搭配多自由度擬人形機器手臂的機器人平台具有較高之機動性與操控性，可以輕易的適應以人類為主的工作環境。目前，市面上所發展的行動式機器人，大多僅搭配3至4個自由度的機器手臂，但是此類的機器手臂受限於缺乏多餘的自由度，以及非人形的外觀，造成其行動範圍及功能受到限制。因此，本實驗室特別設計與製作7自由度的機器手臂，如圖9所示。所設計開發之機器手臂與控制機電技術，已應用於經濟部之學界科專整合計畫所產出的智慧型保全機器人上，如圖10所示，未來預期將可達成機器人為人類服務與人互動的終極目標。

機器人手臂運動路徑規畫

為了讓機器手臂可以在複雜的環境中完成任務動作，必須針對高自由度的機器手臂，規劃出一避免與環境障礙物碰撞的路徑。本實驗室自行開發的模擬環境，可在極短的時間內，規劃出機器手臂避障的運動路徑，使得機器手臂可以由初始位置運動到目標位置，並且在運動過程中，避免與靜態障礙物和動態障礙物碰撞；此外也可以即時地規劃雙手運動路徑，讓機器人的雙手可同時運作，到達各自的目標位置，如圖11、12所示。

靈巧仿人機械手系統之設計、發展與整合

在機器人產學界，多指機器手的細微動作與靈巧的操縱一直是個受到關注的主題。為了使機器人可以操作各種物體與工具，對於靈巧性的要求是多指機器手的首要課題。而體積亦是一個關鍵的研究目標，小巧的機器手可以直接安裝在工業機器手臂上工作，或是做為人工義肢之用。

NTU-Hand已發展到第四代，圖13即是各版本的機構圖。而最新版本的NTU-Hand IV則是以人類的

手為基礎建構的，由於人類的每個手指構造相似，因此發展出了手指的模組化設計，使機器手的手指零件可以更換。模組化不但降低設計難度，也減少製作成本，更由於可更換的特性，此機器手某部位損毀時，容易維修。

為了讓NTU-Hand IV有11個自由度。由於獨立控制各關節的想法，各關節的致動機構皆不互相耦合並裝載於此機器手上，因此簡化了NTU-Hand IV的製作。另外，為了此機器手可做到擬人的動作，便於拇指根部設計了一側向的關節，使得姆指多了一個自由度，藉此NTU-Hand IV的動作更趨近人類的手掌。

此外，理想的觸覺系統需要可以偵測正向力量來得到抓握物體的力量與橫向的滑動力量來得到施加在指尖的橫向摩擦力，有了這兩種感測器，方能確實的抓握物體，而不會導致物體的滑落，而能夠達到物體的操弄。因此，本實驗室發展了一個性能良好的觸覺感測系統（圖14），此觸覺感測系統，包

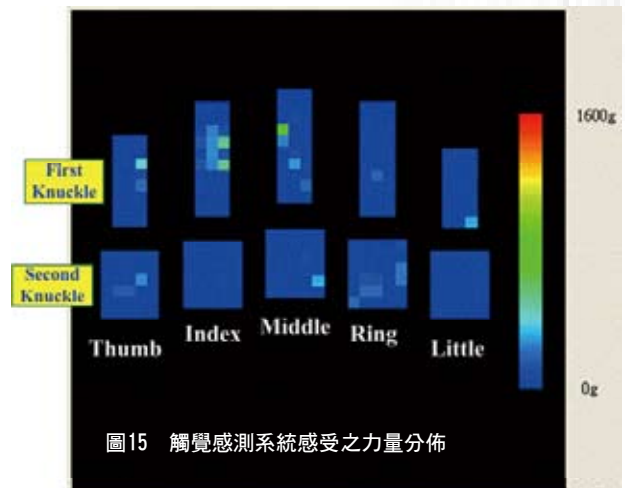


圖15 觸覺感測系統感受之力量分佈

含了感測正向力量與滑動力量的感測器，將觸覺感測器裝配於機器手的指尖以量測指尖與物體間的力量分佈（圖15），並且藉由此感測系統做到力量控制。

為了讓NTU-Hand IV可做為義肢之用，我們也開發了機電訊號辨識系統，用以控制NTU-Hand IV，其包含了肌電訊號萃取模組和訊號辨識模組。利用此系統便可由肌電訊號辨識普遍常見的人手姿勢。換言之，截肢者可直接藉由肌肉舒張或緊縮時



圖14 觸覺感測系統

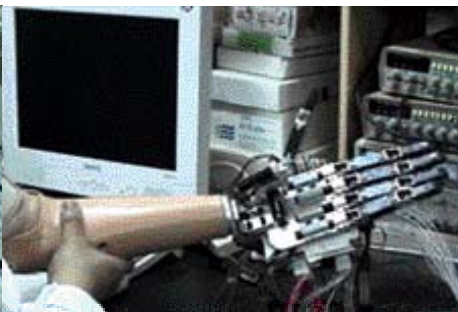


圖16 機器手裝置於截肢病患上

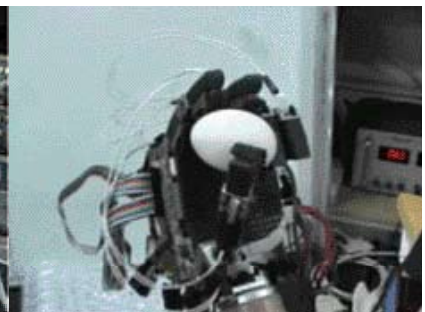


圖17 機器手抓握雞蛋



圖13 歷代發展的機器手，由左而右共四代。(a) I (b) II (c) III (d) IV

產生的訊號控制NTU-Hand IV (圖16、17)。

影像處理

防偽指紋+靜脈辨識系統之發展

防偽指紋辨識系統是一個結合指紋與靜脈等生物特徵的辨識器。當使用者將其手指放置在感應區內，系統將啟動第一階段檢測機制，用以獲取使用者的主要生物特徵—指紋，待系統確定該枚指紋屬於某位認證者後，第二階段的靜脈比對將會被啟動。在比對靜脈時，系統會將所擷取的使用者靜脈與指紋所確認之認證者靜脈相比對，進而達到雙重認證的功能。圖18為系統硬體架構之側視圖。

人臉辨識與追蹤系統

此系統由一台PC和一台CCD攝影機所構成，此外還有一台兩個自由度的運動平台，我們的系統可應用於複雜背景以及即時追蹤，並且可以應用在各種地方，例如：門禁系統：透過此系統，可以快速得知人員進出的情形。如圖19所示為人臉辨識用於門禁系統，若搭配防偽指紋+靜脈辨識系統即可成為取代鑰匙的最佳利器。

近即時立體視覺系統之發展

在立體視覺系統主要目的為發展適用於雙眼立

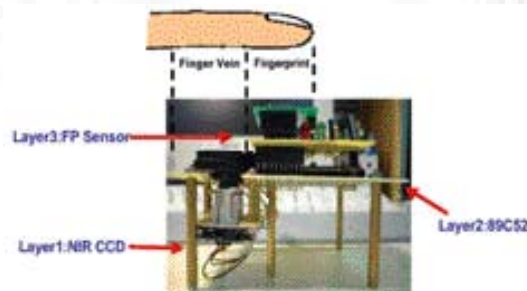


圖18 防偽指紋+靜脈辨識系統

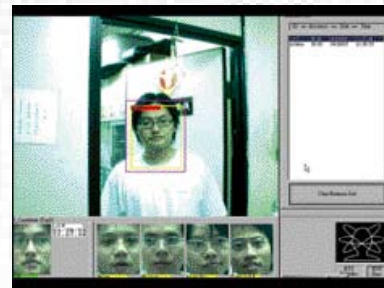


圖19 門禁系統

體視覺系統的三維影像重建理論。圖20即是我們所實現之立體視覺系統，左方為原來的影像，右方則是3維重建後的影像，越白表示物體離攝影機越近，越黑表示物體離越遠。

共同注意力之發展

所謂的共同注意力是指機器人的視覺能夠自動偵測出人正注視的目標物，然後和人共同注意同樣的物件。如圖21所示，先偵測出人臉，接著要辨識出人正注視的方向如圖22，之後再搜尋注視方向的區域，看看是否有顏色或特徵較顯著的物件如圖23，最後再選取目標物如圖24所示。

人型機器人

人型機器人是目前控制領域的一個熱門題目，不僅在美國，日本以及韓國，臺灣也漸漸開始發展這一塊領域。本實驗室已發展出一個24自由度，高440mm，重2.5kg的人型機器人，如圖25所示。另外，也建立機器人模擬平台，模擬機器人動態以及產生機器人動作之軌跡。藉由此套模擬機制，我



圖20 立體視覺重建系統



圖21 找出人臉

圖22 偵測人臉方向



圖23 找尋人正注視的物件



圖24 選取目標物



圖25 小型人型機器人

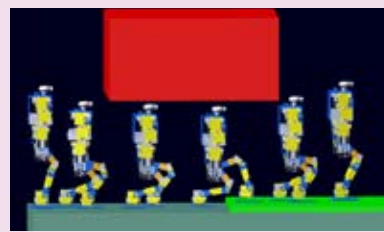


圖26 機器人行走於複雜環境

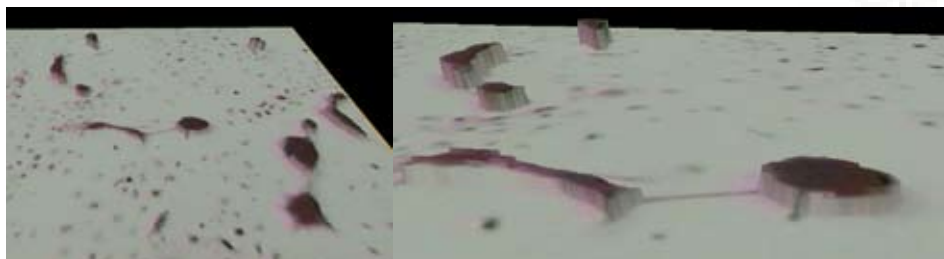


圖28 細胞3D外觀重建結果

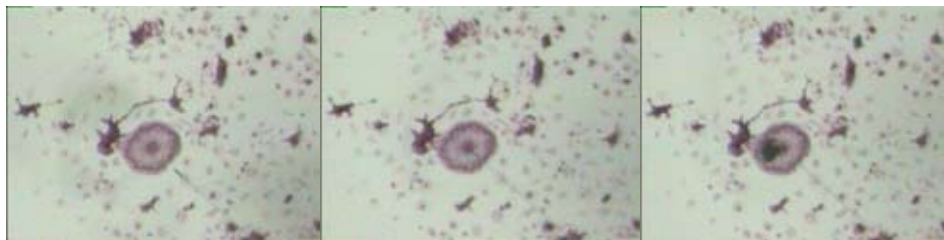
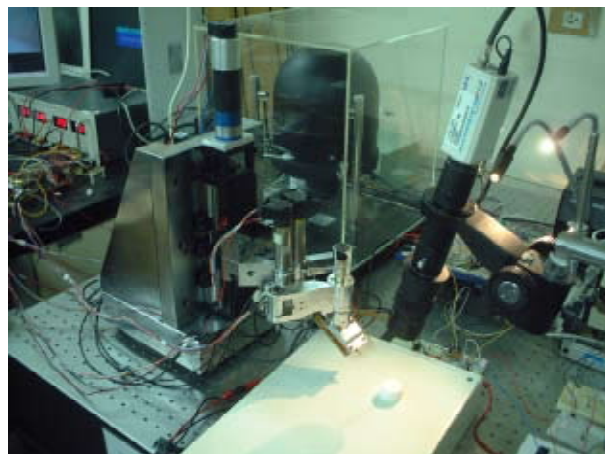


圖29 細胞注射結果

圖27 機器人自動化微組裝系統

圖30 多自由度微夾持系統（自由度：4，重量：55kg）



們只要將機構之外型匯入，並且輸入我們量測到的重心等資料，我們就可以建立出與實際情況相近的模擬環境，藉以驗證我們的模型是否能夠達到我們實際上的需求。經由良好的機器人步行規劃，機器人可以行走於複雜的環境，如圖26所示。

機器人自動化微組裝系統

機器人自動化微組裝系統發展的主要目的是建立微奈米尺度環境下自動組裝物件的系統，目前將其應用至生醫領域，針對特定的細胞自動化進行注射的動作。整體架構包括三大部分，3D立體視覺、路徑規劃系統、與精密機器人平台（兩個三自由度機械手臂加上一個三自由度微動機構）。利用顯微鏡上方兩組CCD拍攝顯微鏡下的物體，並經由實驗室所發展的3D重建理論來重建出顯微鏡下的3D物體外觀，同時利用路徑規劃理論自動產生微夾具或是微注射針移動的軌跡，之後再交由精密機器人平台將微夾具或是微注射器移動至目標點，以完成組裝或是注射等動作（圖27、28、29）。

多自由度微夾持系統

本實驗室開發之微夾持系統由一個四自由度精密機械手臂加上一個4自由度微夾爪構成，可用以進

行各項精密的作業，譬如微組裝與微注射等作業，更可進一步與影像系統配合（圖30、31、32）。此系統擁有極高之重複性，可以重複達成大量與多次的精密操作，對於生醫科技產業與精密機械產業有著極大的價值。

管路機器人

管路機器人可廣泛應用在任何有管路之設施，可達成探勘、修復、與清掃等工作。同時，管路機器人也可以深入人類無法到達的狹窄或是危險場所代替人類進行探勘之任務。管路機器人（圖33）包括攝影機模組，驅動模組，轉彎模組，功能擴增模組，分別可取得管路中之影像，提供動力，轉彎以及擴充功能之連接模組。另外，我們可以在管路



圖33 管路機器人

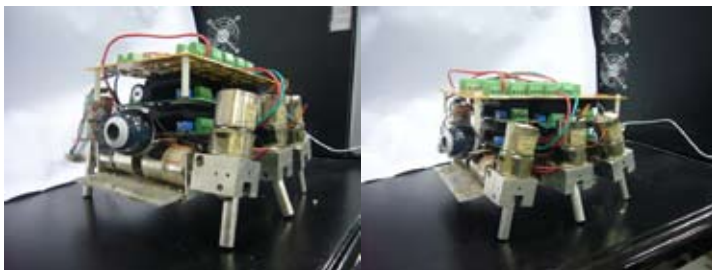


圖34 六足機器人外觀



圖35 六足機器人避障行為模式

機器人的功能擴增模組安裝焊接，清洗等擴增模組，用以維修遭腐蝕或是破損的管壁，讓管路機器人可以在管線中進行更多項工作。

六足機器人

本實驗室所研發之六足機器人為一模仿昆蟲之構造所製作之機器人，此機器人的每一隻腳都有兩個自由度，讓它可以自由自在地前進，後退與轉彎。此六足機器人具有避障與爬坡等能力，可以輕易穿越有障礙物的地形（圖34、圖35）。仿生機器人除了學術價值以外，更能夠被應用在救災與無人探勘等領域上，仿生機器人可以輕易進入人類所不方便或是難以進入的危險區域，我們可以在六足機器人的身上裝設攝影機與各式感應器，讓人類可以在遠端控制六足機器人達成運送救援物資，偵查生還者等各種任務。

結語

機器人的科技與日俱進，有待進一步發展。在進行機器人的研究過程中，也發現要建構一個具有人類類似功能的人工系統，譬如人工義肢，是相當不容易。深深體會到「身體髮膚受之父母，不可毀傷也。」（本文策畫／材料科學與工程學系莊東漢教授）

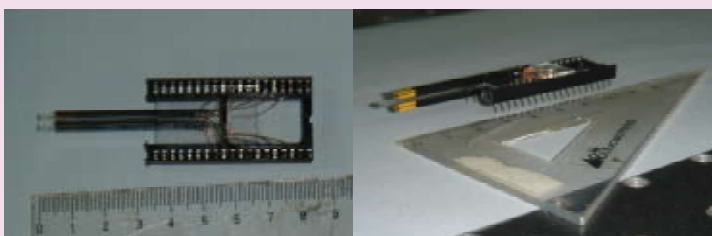


圖31 四自由度微夾爪外觀（長度80mm，寬度18mm，厚度8mm）

圖32 夾持微米球實驗（順時鐘方向）

