

# 快樂的機器人

馮丁樹

## 前言

機器人快不快樂，可能與人的心情有關，但以本質而言，機器人之所以為「人」，應仍然出於人的仁慈。但它凡事勤奮不懈，任勞任怨，工作時不必點燈，不抽煙、不喝酒，其他時間也不會鬧罷工，是一個十分安分守己、且快樂一生的「人」。

機器人 (Robot) 一詞源自於捷克語 "Robota"，意為「奴隸」、「工人」。故機器人之本質應以取代工人為目的，然後應用於生產作業。但在工廠中的機器人，大多數是屬動作自由度在特定範圍內的機械手臂而已，由於工廠中有些危險性高或負擔繁重的工作，可由機器手臂來取代，例如電氣焊、搬運工件或噴漆等。在一個全自動化的無人工廠中，機器人則可能取代全部生產線上的工作，因此原料進入，產品直接包裝妥善後運出工廠外，完全自動化。這類工業級的機器人在力量、速度、重複性、和長時間工作的能力上都遠優於人類，因此對於工業製造上有很大的幫助。

然而，機器人的應用當不只於此；也不僅僅是那種裝扮成瑪麗蓮夢露提著吉他唱「一江春水向東流」的花燈式機器人而已。在國際上，對於「服務性機器人」的工作已逐漸受重視。有些智慧型機器人除工廠內使用者外，尚可協助人類和一般器具執行特定的工作，為人類服務。例如在餐廳當招待，你給不給小費也無所謂(?)。這種服務性機器人等於一台全自動機器，功能上約可分為兩大類：

1. 第一類是取代人類在骯髒、危險、和沈悶的環境中工作，可能的應用例子有滅火、警衛、建築檢驗與維護、居家之灑掃工作等。
2. 第二類則是應用於人體上或與人類一起工作，以提高人類的舒適與愉悅程度，其例子有醫藥、導盲、娛樂事業、及餐桌服務等。

上述服務性機器人在目前之生活上應用仍然不多，除安全的顧慮及自主性上的要求外，其在未知環境中導航能力仍然需要克服的問題。機器人實際上要模仿人類的活動思考方式，實在仍有一段現實的距離，這也正是學術界中要進研究與克服的地方。茲就現有之機器人型式加以分類說明：

## 壹、移動式機器人

機器人可以移動後，行走變成重要的功能，其運動及應用範圍將再次擴大，各項辨識及定位功能均需另外加入。這方面的研究也就顯得格外重要，特別是具

自動導航能力之機器人，必須增加機器人的智慧及判斷能力。茲就其移動方式稍作說明。

## 一、輪式機器人 (Wheeled Robot)

利用輪子行走可說是最簡單的處理方式，這有點像目前流行的溜冰鞋一樣，行走如滑行，雖然速度沒有溜冰鞋快，但應會比其他型式之機器人快些。一般言之，輪行式機器人操縱容易，其穩定性較好，移動距離所需的能量也較小，但此型機器人像汽車一樣，僅適用於平面行走，受地形和地質限制較大。要它在鬆軟的砂地或在崎嶇不平的地表上運動，就非常困難。下面就目前發展出來幾種輪式機器人加以說明：

### 1. 自移式機器人

交通大學感測技術實驗室發展一種自主可移動式機器人，由四個輪子構成，其中兩輪為驅動輪，另兩輪為惰輪，以為支撐用，行走起來其為穩當。此機器人內藏多種感測器，能自主導航，不致迷失方向。它配備有兩個編碼器，可得知兩輪的轉速，並決定其自身位置；還另藏有一個陀羅儀，可量測轉向度數，並可用來減少車輪打滑的定位誤差。此外，尚身藏有 16 個超音波感測器，可用來偵測環境中的障礙物，以免行走時碰倒；這種閃躲動態障礙物的能力係透過類神經網路預測，配合虛擬力導引系統完成。

機器之腦部為一台過時的 PC-486，可整合感測資訊和決定導航信號，此外更以 CPU 8051 控制超音波感測器，以量測行走的距離。這台機器人尚未具有視覺能力，不過預計再安裝影像系統後即可增加其感測能力，屆時對於其環境辨測能力和智慧型導航能力的發展都將大有助益，不過腦袋可能要更換為奔騰的了。

### 2. NavaLab II

美國卡耐基--梅倫大學將一部吉普車改裝為一台室外自主導航車，事實上是

一台機器人，名字叫 NavaLab II。其功能較為精密，也似乎比較聰明。其感測系統為一個慣性導航系統，車子前後各有一彩色攝影機，外加雷射掃描測距器，外觀看起來比電影之霹靂車醜陋一些，可能也比較笨些。機器人的腦袋由兩部 Sun SPARC 工作站及兩個 68020 微處理器組成，以處理所有的感測及導航資訊。這輛機器人車在高速公路上可以每小時九十公里的速度行駛，不曉得警察有沒開過罰單，至少它是無人駕駛。其控制完全依賴智慧型的類神經網路系統及衛星地面定位系統。

### 3.味覺導航機器人

這種機器人有兩種特色：它採用履帶為行走部，由於履帶中仍以輪子活動，故仍歸於輪式機器人。利用履帶有如戰車，可在地形較為凹凸不平的地方活動。從其外觀看，其行走會有徐徐而來，好像平劇中之走蓮花步。其另一特色為其導航方式，它是學習昆蟲根據氣味的遺留與偵測來進行導航，只是不知道它喜歡的香味或是臭味？

### 4.Koryu

這是由日本東京技術學院的 Hirose 等人以模仿蛇行運動而發展出來的，其主要特色為具有很多節機身，因每節機身仍是靠輪子協助運動，所以仍歸為輪式機器人。

### 5.其他型的輪式機器人

三輪式機器人雖不穩健，但仍足以平穩的立於地面，它可以用單輪或兩輪驅動，Nomadic Technologies, Inc.的 Nomad 即為三輪式的機器人。在不良的地面上行進，也有採用六輪式的構造，這與履帶式的原理大抵相似，美國太空總署的 Rocky Microover Vehicle 就是典型的例子。

機器人能否爬樓梯？這是比較有趣的問題，雖然履帶型機器人也許能完成類似任務，但仍嫌不雅。為此，特殊車輪之機構亦有發展。其法係在旋轉機構部位的一個方向加設小型車輪，即能做出上下樓梯的動作。更進步的機構設計則是在履帶運行的機構上再加上關節，使其更能應付地表的突然變化，尤其在過於鬆軟的砂地，更游刃有餘，它甚至也有跨越裂縫的能力。其機身在陡峭的斜面可以保

持水平，行進時也較易保持穩定的姿態。

## 二、有腳的機器人 (Legged Robot)

人的心理也是十分矛盾的，自己塑造的東西就希望它像個人，根據聖經所載，上帝造人是依祂的形像而造，人似乎也無法擺脫這份造人的情結。但要機器人模仿人類的活動則仍有實質的困難，可能連機器人本身也要心理建設。機器人有腳時較容易跨越障礙物，安穩地上下樓梯，以及在極度崎嶇的地面上平順的運動。改良式的輪式機器人固然也能克服一些地面不佳的問題，不過其能力仍比不上有腳機器人。

穩定性是研究有腳機器人的重要課題。三腳以上的機器人，基本上是可形成穩態系統，但行進間如何保持穩態則更重要。有腳的機構應較輕巧、富撓性，與多自由度（可能需多餘的自由度）。由於機構複雜、移動面又時有變化，故設計時也變得較為複雜。為達到動態穩定的要求，在控制上也變得較為精細。所以此型機器人的移動速度不會很快，看起來很難像跑馬拉松那樣。茲就幾種型式加以介紹：

### 1. 跳躍式機器人

前卡耐基-梅倫大學的 Marc Raibert（目前在麻州理工學院）一群人曾提出一套動態穩定的理論，並建造一台跳躍機器人來印證。其構想來自袋鼠，利用一隻、二隻及四隻腳做實驗。單腳跳者最快速度達每秒 2.2 公尺，最大跳躍高度為 0.5 公尺，比人跑步慢很多，但這種跳法會把機器人累得半死。

### 2. 兩腳機器人

兩隻腳的機器人為了維持平衡，在控制上的要求較多，不過相較於其他的機器人，其在有限範圍內的可操縱性是較佳的。兩腳行進式機器人的研究在日本頗有成就。早稻田大學的 Kato 的 WL 系列，早期為了穩定性的問題採用了不成

比例的大腳，以拖曳方式行進，這是屬於靜態行走法，其行進路面須很平坦。不過最近的 WL-12RV 型 已能在不平的表面上作動態步行。東京大學的 Miura 和 Shimoyama 的 BIPER 系列則是考慮到單擺式運動的動態行走法，其後期的作品因增加二膝關節、臀關節，控制上也顯得較為困難。事實上兩腳行走是人的專利，人類從娃娃落地後，也要學一年才能學到平衡的訣竅，要一個沒有平衡感的機器人站起來，可能需要更久的時間。

### 3.四腳機器人

東京技術學院的 Hirose 帶領一群人發展出 PV H 和 TITAN III 兩個系列的四足機器人。四腳機器人主要以模仿動物的行走為多，你看過牛或馬在走路嗎？也許你能從中體會一些心得，但不曉得當初諸葛亮發明木牛流馬的時候，是從那兒信手拈來的靈機，只可惜中標局還沒成立，使他來得及申請專利就失傳了。

為使四腳機器人獲得平衡，Hirose 發展一套很有彈性的策略，以選擇能同時盡量保持機身水平立足點。值得一提的是 TITAN III 足部所用的材料有別其他年老的機器人，因為它是採用碳纖維材料，舉步較為輕盈。

### 4.多腳機器人

多腳機器人的觀念起源於模仿昆蟲，利用許多隻腳來支撐，並平衡機體的重量。這類系統的主要問題在於，足部進行複雜而多自由度的運動之時，仍能保持機身的平穩。近年除了機械結構外，機器人的控制法則也傾向於學習人類或動物的神經網路。

八腳機器人的構想則來自於蜘蛛，最近西門子在德國研發一個八足機器人，以便能在水管中活動。在水管的活動環境中可能必須垂直爬升下降，也必須做各種轉彎，甚至水管也不見得是管徑相同的平滑面，其粗細可能不同，管子也可能破損。四足機器人雖然也可能在水管中爬行，但成效不佳，有時爬翻了跑不出來。而八足又比六足的可操縱性高，八足也是吉祥的數目，實際上也有其實用性。

十足以上的多足機器人或稱為蜈蚣機器人，其優點是靜態穩定性極高，不過也因多足導致控制及計算的負荷較大，反而不靈活，所以多足與多嘴一樣，也未必是好。

### 三、水底機器人 (Underwater Robot)

海洋佔地表面積的 70%，然而由於深海的壓力及複雜的障礙環境，即使得擁有太空科技的人類仍難以任意在海底旅行，利用水底機器人也許可以為人走一回。近幾年來為了在深海和危險的區域作業，遙控水底機器人（艇）的發展快速增加，不過因為操作成本因素，這種方式始終限制在少數的應用上。操作成本主要來自於連繫繩纜的使用，不僅需要母船，拖曳繩纜也增加能源消耗。若能有自主式水底機器人，將可解決一些問題，只怕過份自主之後，它也不想回來了。

自主式水底機器人和一般機器人在需求上有些不同。以定位技術而言，在陸地利用影像或全球定位系統（GPS）即可應付自如；在水中則沒那麼方便，因為影像模糊，視野也有限；而 GPS 在水中的效果也被大打折扣，更何況海水中的暗流及非結構化的環境增加許多變數。

一般而言，感測器的成效是水底機器人成敗的關鍵。在導航方面，常用的感測器有聲波應答機（Acoustic Transponder）、都卜勒聲納、慣性導航系統、無線電和衛星定位等；在障礙物偵測方面有聲納和雷射；在自我診斷方面有測漏計，溫度、壓力、電壓、電流監視系統，以及制動器和感測器監視系統；在通訊方面有電纜、聲波、無線電，和雷射等方式；在取得影像方面可採用聲納、光電感測器、和磁感測器。

最近發展出來的自主式水底機器人有下列各項：

1. 英國 New Hampshire 大學的 EAVE。
2. 英國 Woods Hole 海洋研究所的 ABE。
3. 美國麻州理工學院的 Odyssey。
4. 美國佛州大西洋大學的 Ocean Voyager。
5. 俄羅斯海洋技術問題研究所的 MT-88。
6. 日本 KDD 的 AEI000。
7. 美國夏威夷大學的 ODIN。

### 四、飛行機器人 (Airborne Robot)

人類對這個世界的探索，除了陸地、海洋，接下來便是往太空發展。EVAR（Extra-Vehicular Autonomous Robot）是美國太空總署在詹森太空中心發展出來的聲控智慧型自由飛行機器人。他可協助自由號太空站的太空人取得工具或其它物

體以便進行維修工作。EVAR 有兩條六個自由度的機械臂，其中一臂還裝有靈巧的 Jameson 機械手。感測器方面包括加速計、陀螺儀、兩個獨立的影像系統、力感測器以及近接感測器。電腦處理器則包括兩個 15MHZ 的 T414 transputer，十二個 20Mhz T800 的 transputer，一個 16MHZ 的 80386，以及六個 68020 控制器。

飛機的自動導航可算是飛行機器人的基本動作，但如何增加其它的工作能仍有待研究。另外就軍事方面而言，飛行機器人也具備成為一智慧型飛彈的潛能，因為它能正確地辨識目標物並朝其移動。這種機械人必須被訓練成為有自殺個性的軍人意志才行。

## 五、微型機器人與細胞機器人

微型機器人學與細胞機器人學也是機器人學研究的一大分支，事實上它也是小東西中之大學問。在國際電機電子工程師學會的機器人學與自動化協會中也有這樣一個技術委員會。細胞機器人學的觀念於 1987 年由名古屋大學的 Toshio Fukuda 教授提出。鑑於有些工作環境受到客觀條件的限制，如很小的出口，很大的工作空間，或很重的物體時，在工作期間會產生問題，因此針對特殊目的而建立適當大小的機器人共同合作是很需要的。

微型機器人學之研究，起源在於狹小環境的工作需求。事實上這兩個研究的動機固然不同，然而它們卻也具有一些共通性與相輔相成的可能。其共通性在於分散化、模組化、與單體的有限功能，這三點對於細胞機器人學而言是很清楚的；對於微型機器人而言，形體要小除了製造技術的改進外，內部元件、功能也必須減少，因此前述的三項特點也就顯現出來了。

## 貳、微型機器人學

對於何種大小的機器人才可稱為微型機器人目前尚無嚴格的定義，通常是指在毫米以下的大小。近年來微型機器人學的發展受到很大的重視，一般認為它將是二十一世紀的一項基本技術，其應用場合很廣，包括工業上微小部位或空間的維護與檢驗，生物學上的細微操作（如基因處理或細胞融合），以及醫藥上的顯微手術、人體內部的檢驗甚至醫療等。到目前為止，真正的微型機器人尚未出現，主要原因在於欲實現此目標所需的技術種類很多，要求也高。但日本松下去年曾經發表一個僅有二、三公分大小的引擎，麻雀雖小五臟俱全，而且還可以運轉。以下說明一些微型技術之研究主題。

## 一、微製造術

國人的芒刻，在一個米粒上彫刻禮運大同篇，是微製的開端；然積體 IC 的製造亦是微製造術的極緻，此項技術亦可應用在此方面。現有的研究中也有一種名為 LIGA（德文的 Lithographie Galvanoformung Abformung）的程序是引人注目的，不過在微製造術方面仍有以下幾個主題需要努力：3-D 製造法、材料與固態分析、系統設計方法。

## 二、比例的問題

由於機器人本體極為輕小，摩擦力的影響程度相對就變大，在流體力面，其黏滯效用等也必須有不同的考慮，因此在機械方面有兩個題目變得更為重要：其一是微小機構的潤滑，其二是微小世界的流體力學。

## 三、量測方法

要控制微型機器人首先要能對其自身及工作環境、對象做量測。雖然光學顯微鏡和電子顯微鏡可量測到極細微的物體，但是針對微型機器人系統的感測器發展卻是非常不足的。

## 四、控制方法

因為摩擦力和黏滯力的效用增大，微型機器人的非線性特質必須要考慮，控制方式也因此較為不同。

## 五、通訊

這個主題和控制也有些關係。在微型機器人真正付諸實用時，單一微型機器人因大小和技術的限制，功能可能有限而不足以單獨完成一項應用，此時多個機器人的合作是必須的（這裡牽涉了細胞機器人學的觀念），彼此間的資訊互通也因此成為一個研究的主題，而資訊的系統架構及通訊方法為其下之重要子題。



## 六、能源供給問題

考慮微型機器人的應用，電源供給不能靠電線，而內建式的電源因極小化的關係則有待研究，電磁波，高頻波、及紫外線是幾個可能的考慮。

## 七、人機界面

微型機器人因機體小，其智慧可能有限，而就其應用場合而言，人類的知識可能還是極有價值的，因此人機界面是有助於工作的完成；其中，虛擬實境的技術也是一項考量。

## 參、細胞機器人學

傳統機器人的發展是朝向增加單體的複雜度及智慧程度，在某些應用需整合多個機器人時，也是使這些機器人各具某種特殊的智慧以進行合作；有別於此的是 Fukuda 教授所提的細胞機器人學。他的觀念是來自於社會性的昆蟲，即單體只具有最基本的智慧，要執行一件工作必須結合團隊的力量。對於不同的工作則可藉由新的系統組態來達成。在細胞機器人學中，所謂的細胞指的便是一個只具基本功能的單體，如何將這些單體細胞得到最佳的整合，方是重要課題。以下幾個值得研究的問題：

1. 細胞間的相互溝通。
2. 細胞間動態知識的最佳配置。
3. 系統更新組態的策略。
4. 群體智慧的研究。
5. 群體間的學習與適應。

細胞機器人的應用很廣，包括分散式檢驗與監測、太空監視、農業、醫藥，和營造工業等。

## 肆、遠端作業機器人

為了在太空或其他危險環境下以無人的方式作業，機器人的發展有兩種非常不同的方式，第一種是自主式的運作，第二種是遠端作業（Teleoperation）的方式。其實在機器智慧化的趨勢下，自主式運作的研究是非常蓬勃的。然而考慮到當前的技術能力與安全的因素時，以作業人員在遠端操控的方式仍是不可避免的。

遠端作業成功的要件在於作業人員必須得到充份的資料為操作的依據，一般使用影像資料是個很直接的方法，但是實際上卻有下列的問題：

1. 視覺和內耳訊號的不平衡易導致操作人員暈眩的現象。
2. 照相機的視線可能遭受蒙蔽。
3. 單純的影像資料可能不足以提供作業人員做充份的角度判斷，例如在斜坡地時對輪式機器人的操控就有問題。

解決的方案則包括採用虛擬實境的技術，以達到遠端臨場（Tele-presence）的感覺、增加感測器的數目與不同的位置安排，以及提升機器人之自主能力，使作業人員的工作內容可簡化，層級也可提昇。

對於遠端作業機器人而言，通訊也是一項必須突破的關鍵。在環境上，例如，在海底聲波和電磁波的傳真度就會產生問題，而通訊的頻寬也是一大障礙。

目前美國太空總署有一個遠端作業機器人的計畫，他們希望在西元 2004 年以前藉由遠端作業機器人的技術完成太空船艙外自主運作目標的一半。在歐洲遠端作業機器人的研究也很多，如 JET 的主僕式機器人， Mascot IV。

## 伍、服務性機器人的整合與應用實例

### (一)極限作業機器人

由於現代社會對安全的重視，許多危險區域的工作已不再適合由人類去執行，諸如核電廠的高輻射線環境，深海中的石油挖掘，災害時的消防救火等，然而這些工作對經濟發展和安全卻又是非常重要，因此在日本便有計畫的發展極限作業機器人來執行這些工作，上述三個應用的主要目標如下：

1. 實用的核電廠作業機器人：在核電廠核力相關設施力面，開發出能在作業環境內移動，具遠端作業的支援，能執行核電設備的檢驗與維修等工作的高級機器人。
2. 海底石油生產支援機器人：在海底石油開發相關設施方面，開發出能在海中一度空間移動，作業位置與姿勢能夠保持，具遠端作業的支援，以及能進行檢驗與維修的等工作的高級機器人。
3. 石油生產設施防災機器人：在石油相關設施力面產生災害時，必須有具備遠端作業支援災害現場的移動、災害狀況的掌握、災害擴大的防止，以及能進行救援等工作的高級機器人。

目前這個計畫已有初步的結果。

## (二) 建設工程機器人

日本在這方面有不錯的發展，已知的應用包括隧道工程中的自動鑿孔機器人、混凝土噴著機器人、混凝土分配機器人、混凝土地板磨平用機器人、橫孔推進機器人、大樓外壁診斷用機器人等。

建設工程的工作環境、內容有其特殊性，若欲達到更進步的建設業機器人化，則下列幾個問題必須要能克服：

1. 設計內容各異，重複性少。
2. 大型重物的處理。
3. 工程現場經常轉移。
4. 同一工程現場的作業種類繁多。
5. 複雜的團隊作業眾多。
6. 施工情報的回報。
7. 工作內容不明確，不安定，常有賴現場作業人員做判斷。

事實上，上述問題的解決技術都涵蓋在我們前面所提的研究領域之中，因此建設機器人的進一步發展應是指日可待。

## (三) 醫藥保健用機器人

醫藥保健用機器人的現有研究大致上可分成四個主題：

1. 幫助殘障者回復正常生活的機器人。
2. 病患運送機器人。
3. 手術助理機器人。
4. 用於身體內部的微型機器人。

幫助殘障者回復正常生活的 MANUS 機械臂，]可用聲音、搖桿、鍵盤、和 6D 的空間球來下命令。命令的層級可達任務 (Task) 的等級；輸出訊號可為聲音、圖形、或文字。這個機械臂有八個自由度，可執行的任務包括倒茶水、取茶水給主人喝、開門，以及一般取物、置物的動作。

在病患運送方面，日本國際貿易與工業部支持了一個計畫，它可將在病床、椅子、浴缸、或馬桶上的病人移至另一病床、椅子、浴缸、或馬桶上。現有的成果是一個具有兩隻油壓驅動臂的機器人 MELKONG，它可將病患連同可攜式的支撐墊由一特製床移至另一同規格的特製床；它也可搭配可移動式機器人將病患移至其它房間。

在手術助理機器人方面，已經有 PUMA 機器人協助做神經外科手術的應用。至於微型機器人，如第三節所述，仍在研究的階段。另外，美國軍方也有透

過衛星及遠端臨場機器人的組合來進行遠端臨場手術的構想，他們認為這將有助於戰場上的醫療。事實上，醫藥保健是當前最受重視的機器人應用領域之一，前景甚為看好。

#### (四) 家用機器人

目前這方面的應用並不多，成本和安全是重要的因素，現有的產品傾向於功能簡單及娛樂的特性，如英國 Tomy 有限公司的家庭服務與娛樂用的機器人 Omni 2000 即為一例。其實就廠商的角度而言，家用機器人實在是一個絕大的市場，倘若家家戶戶皆需要一兩個機器人，則其獲利將是何等的巨大！隨著技術的演進，家用機器人的可行性已漸提高。未來首先可能會有的應用在於地板、窗戶、桌子、碗盤、廚房、浴室的清潔、收、取物品、餐桌服務，以及烹調食物等。例如前不久就有自動烹調機器人的報導出現。

## 陸、結語

本文提及三大服務性機器人的研究領域，我們可發現幾項技術研究的重點：在軟體方面有：感測資訊融合、知識的處理與推理、控制法則、資訊架構、群體智慧、虛擬實境等。

在硬體方面的技術則有：感測器性能的增進與多樣化、運動機構、硬體微型化及通訊系統等。

從前一節所提的各種應用看來，一個實用系統所需的技術能力大體而言即是上述所言各項的部份或整體的整合，可見上面幾項研究協助我們掌握了關鍵性的技術。隨著這些技術的漸漸成熟，未來服務性機器人工業也將逐步起飛，一般推測下列幾項將是西元 2000 年市場大餅的所在：

1. 土木建設業
2. 災害防治業
3. 海洋發展業
4. 倉儲運輸業
5. 農業
6. 核能工業
7. 醫藥業
8. 太空工業

相信隨著這些應用的發展，人類的生活品質也將更上層樓。

(內容摘自張智超、宋開泰著之「服務性機器人的研發近況與趨勢」)