

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

仿生四足機器人跨越河石地形的自適性模糊-類神經步態規 劃與實驗 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 98-2221-E-009-185-
執行期間：98年08月01日至99年07月31日
執行單位：國立交通大學機械工程學系(所)

計畫主持人：鄭璧瑩

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 99 年 10 月 31 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫

成果報告

期中進度報告

仿生四足機器人跨越河石地形的自適性模糊-類神經
步態規劃與實驗

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 98-2221-E-009-185-

執行期間：98年8月1日至99年7月31日

執行機構及系所：國立交通大學機械工程學系

計畫主持人：鄭璧瑩

共同主持人：

計畫參與人員：簡漢嘉

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本計畫除繳交成果報告外，另須繳交以下出國心得報告：

赴國外出差或研習心得報告

赴大陸地區出差或研習心得報告

出席國際學術會議心得報告

國際合作研究計畫國外研究報告

處理方式：除列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

中華民國 99 年 7 月 29 日

仿生四足機器人跨越河石地形的自適性模糊-類神經步態規劃與實驗

主持人：鄭璧瑩

國立交通大學機械工程學系 副教授

國科會計畫編號：NSC-98-2221-E-009-185

摘要

本研究針對仿生四足機器人將河石地形的形貌辨識與步態規劃的軟硬體系統整合，進行四足機器人自適性模糊-類神經隨機步態的演算與建立，使機器人在面對非連續式河石地形時可自主與平穩地跨越。機器人在非連續河石地形的路徑規劃上，本研究採用影像處理等感測元件進行地形樣貌特徵的辨識與描摹定位，結合類神經演算法、自適性模糊-類神經演算模式(ANFIS)等經由前置步態學習階段建構的步態模型，即時計算驅動軸運動數據，進而透過控制介面驅動四足機器人跨步穿越河石地形。其中，在前置步態學習模型的建立方面，應用特徵空間轉換觀念發展修正型的隨機型路徑演算法則的路徑規劃等，建立一穩定且有效的路徑規劃模式，完成跨越河石地型的最佳步態，發展適合於一般河石地形等非連續路面的快捷反應的適應控制法則，並以實作的四足機器人系統加以驗證。首先進行敏捷型足部機構的改良設計，建立四足機器人自適性模糊-類神經隨機步態模型與驅動軸運動數據資料，採用嵌入式微處理單晶片(如：DSP、BASIC Atom 系列與8051 單晶片組合等)組合而成機器人之控制系統，將地面之隨機地形影像資料經影像辨識處理後取得行走的河石踏點，並自動轉換為具體實用之伺服機運動控制路徑規劃，組成機器人之連續行走動作，控制機器人之動作進行實驗來驗證本研究所發展的路徑規劃的可行性，證實本研究所開發的仿生四足機器人能穩定達成跨越隨機式河石地形的自主式行走之目標。

關鍵詞：仿生四足機器人、河石地形、路徑規劃、自適性模糊-類神經演算法

1. 前言

相較於傳統控制，類神經網路與模糊系統可在不需知道一個系統的數學模式下，便能成功的估測此一系統的能力。由於兩者均採用數值的方法來解決問題，可以用工程軟體來處理，例如：matlab、visual c++。在面對多自由度的機械結構，要處理的計算公式相當冗長、複雜，而且幾乎都是非線性函數，故通常要簡化公式或做些假設，但簡化或假設後的結果與理論值誤差變更大，甚至是不符合實際狀況，因此簡化和假設是較不可行的。Y. L. FU 等人在[1]中藉由距離感測器測量末端手臂與障礙物的距離，並和各關節角度變化量一起視為模糊控制的輸入，經過模糊控制規則庫推論(IF-THEN)後，求得三個關節的扭力，使三連桿手臂在未知環境中成功達到立即(real-time)閃躲障礙物的功能。K. C. Choi 等人在[2]中，將十二個自由度的兩足機器人底部各安裝四個力感測器，藉由感測器量測值，透過類比數位轉換代入公式求解 ZMP 值，誤差值利用模糊理論補償至最佳，當 ZMP 值落在腳底支撐面上時，即可順利讓雙足機器人走過斜坡。Ken Onozato and Yutaka Maeda 在[3]中將類神經網路架構應用至二連桿 SCARA Robot，經過不斷學習架構中參數會慢慢收斂，學習結果成功取代逆向運動學與逆向動力學的公式；因此，類神經理論可在不知控制的數學函數情況下，也能得到期望的輸出。Bojun Ma 等人在 [4] 中將 5 個自由度的操作手臂與 3 個自由度的移動平台結合，在處理多自由度的系統時，必須面對相當冗長的計算公式，Bojun Ma 等人針對具有冗餘(Redundant)自由度的移動操作臂提出一種反向運動學求解策略，和兩個假設條件，有效解決冗餘自由度分配的問題，也簡化了複雜的計算公式。本研究採用適應性網路模糊推論系統(ANFIS)演算法，以學習和推論的方式近似原本複雜的運動學公式，使模擬值更接近實際輸出值，並應用之於四足機器人跨越非平坦河石(River-stone)地形之路徑規

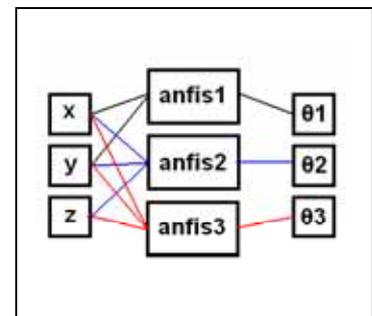
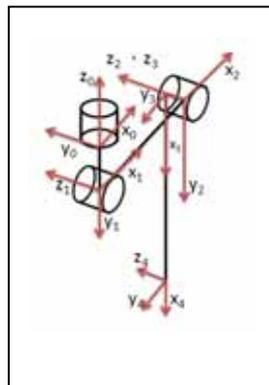
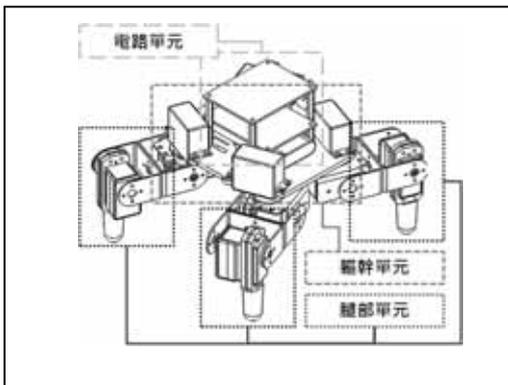
劃，並搭配靜態零矩點(ZMP)穩定性分析，使機器人隨著不同地形做不同姿態調整，提高人工智慧步伐規劃的層次。

2. 研究內容與方法

本研究採用適應性網路模糊推論系統(ANFIS)演算法，應用於四足機器人跨越非平坦河石(River-stone)地形之路徑規劃，並搭配靜態零矩點(ZMP)穩定性分析，使機器人隨著不同地形做不同姿態調整，提高人工智慧步伐規劃的層次。程式設計部分，針對本實驗室四足機器人(NC_F4-09)架構中四組空間三自由度連桿手臂進行規劃研究。首先是類神經網路和 ANFIS 應用於空間 3-DOF 連桿手臂，接著將 ANFIS 延伸應用至四足機器人做路徑規劃，處理平衡問題時使用 ZMP 理論，當行走時投影至地面的 ZMP 點，如果落在腳底支撐面上，行走過程中就能維持穩定。本研究結果還包括以 MATLAB 為基礎所建立的步伐規劃自動產生的圖控式介面系統(GUI)，有助於簡化四足機器人跨越河石地形的步伐規劃與實際控制驗證。實驗硬體方面主要採用壓克力板組成主要架構形狀，再加裝伺服馬達、7.2V 充電電池和 SSC-32 馬達控制器，經過測試調整後，完成四足機器人的實驗模組(NC_F4-09)，四足機器人的步態規劃過程為透過 ANFIS 演算法，將 MATLAB 程式計算出的各軸運動數據利用 RS232 傳輸線由電腦傳送至 SSC-32 中，讓四足機器人隨著不同使用者輸入的地形產生相對應的步伐控制數據，實際去跨越非連續或非平坦的河石地形。

2.1 ANFIS 應用至空間三軸機械腳的定位控制

仿生四足機器人的空間三連桿機械腳的機構系統如圖一所示：



圖一 仿生四足機器人機構系統

圖二 空間三軸機械腳座標圖

圖三 ANFIS 訓練架構圖

在空間三軸機械腳座標圖(如圖二所示)上配合馬達起始位置建立座標系，建立 D-H 表(如表一)和空間三軸機械腳 D-H 矩陣 0A_1 、 1A_2 、 2A_3 及 3A_4 ，將矩陣相乘後，第四行前三列即為正向運動學公式。

表一 空間三連桿手臂 D-H 表

Joint i	θ_i	a_i	d_i	A_i
1	θ_1	0	-2.8	$-\pi/2$
2	θ_2	5.7	0	0
a	$\pi/2$	0	0.9	0
3	θ_3	7	0	0

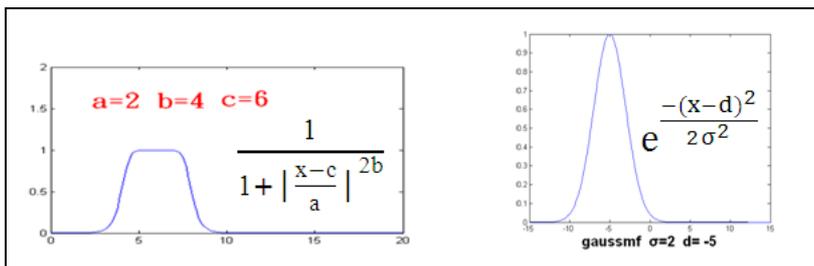
將四個矩陣相乘 ${}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot {}^2A_3 \cdot {}^3A_4$ 可推導得末端位置 x 、 y 、 z 座標的函數

$${}^0A_4 = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot {}^2A_3 \cdot {}^3A_4 \quad (1)$$

ANFIS 為 Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems 的簡稱，是由模糊與類神經網路的節點與特定函數所構成。本範例首先設定原始學習樣本與學習後的輸出值之差為目標函數，以梯降法(Gradient Descent Method)和連鎖律(Chain Rule)為調整的依據，目的在於降低其目標函數之均方誤差，其中歸屬函數和規則庫都可在學習中得到標準法則。

步驟如后說明所示：

1. 以隨機的方式產生 4000 組三個馬達的角度，代入 (x, y, z) 正向運動學函數，求得其對應的 4000 組 x 、 y 、 z 座標，其中 2000 組當作學習樣本，剩下 2000 組當作驗證樣本；馬達一角度範圍 $-35 \sim 110$ ，馬達二角度範圍 $-45 \sim 45$ ，馬達三角度範圍 $-90 \sim 45$ 。
2. 建立 ANFIS 架構，本研究利用三個神經網路架構替代反向運動學函數，求解 θ_1 與 z 座標無關，故 anfis1 的輸入只有兩個 (x, y) ，大量減少了 anfis1 的程式學習時間，而 θ_2 、 θ_3 與 x 、 y 、 z 相依，故 anfis2 和 anfis3 的輸入值有三個 (x, y, z) 。使用 ANFIS 法則運算反向運動學模神經網路模式，所以架構輸入資料為三軸機械腳參考點的位置座標 (x, y, z) ，輸出為三軸機械腳三個馬達的角度值 $(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$ (如圖三所示)。
3. 設定反向運動學函數學習次數 300 次，選用高斯和鐘形為轉移函數(如圖四所示)。其中鐘形函數 a 參數影響寬度、 b 參數影響兩側斜率、 c 參數影響 x 方向偏移量；而對於高斯函數 d 參數影響 x 方向偏移量、 σ 參數影響兩側斜率。



圖四 鐘形與高斯函數

4. 若輸出誤差不理想，必須回到步驟 3，利用試誤法不斷嘗試修改參數(學習樣本數、轉移函數種類、歸屬函數個數、學習次數...等等)，直到輸出誤差收斂至可接受時，此架構便能應用至實驗上。

本節使用誤差公式：

$$\text{Error} = \sum | \text{ANFIS輸出} - \text{D-H理論值} | / 2000;$$

模擬結果：

E1=2.85 度、E2=1.682 度、E3=0.9404 度

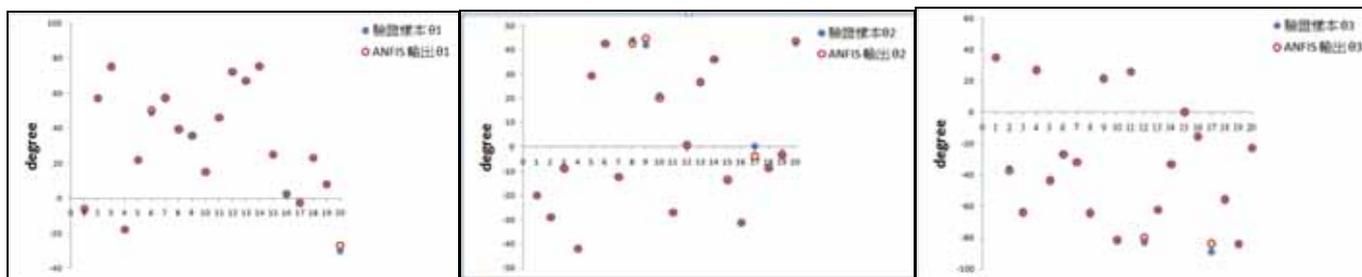
驗證樣本總共有 2000 組，圖五僅列出前 20 組驗證樣本與 ANFIS 輸出比較。

2.2 運算時間比較

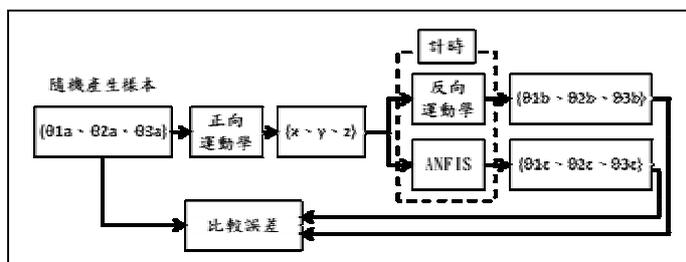
本節比較 ANFIS 與反向運動學應用於空間三軸機械腳的電腦程式 MATLAB 運算時間，比較流程如下：

1. 挑選 2000 組驗證樣本其中 10 組 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 ，代入正向運動學產生 10 組 x 、 y 、 z 座標視為「比較樣本」。
2. 使用 D-H 理論求解反向運動學函數，給定馬達角度範圍，讓聯立方程式恰有一組解。
3. 將 10 組 x 、 y 、 z 座標分別帶入反向運動學公式和 ANFIS，使用 MATLAB 程式計時指令「tic」和「toc」，

4. 比較 10 組比較樣本 MATLAB 運算的時間和誤差，如圖六所示。



圖五 20組 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 驗證樣本與ANFIS計算的角度比較圖



圖六 ANFIS和反向運動學之時間與誤差比較流程

模擬結果：

從表二可看出 ANFIS 的樣本運算時間僅為反向運動學方法的 1/6.4 倍，雖然 ANFIS 輸出角度(θ_1 、 θ_2 、 θ_3)會有些許誤差，但是對於本研究跨越河石地形的實驗範例而言是可接受的或可修正的範圍，當四足機器人行走河石地形過程中腳底皆是踏在河石區域內，此部分可由實驗證明。

表二 10 組比較樣本運算時間

samples	Time(second)	
	Inverse kinematics	ANFIS
平均	3.8447 秒	0.6008 秒

2.3 ANFIS 應用至 12-DOF 四足機器人

完成空間三軸機械腳(右前腳)模擬後，便可延伸至四足機器人其他三足，四足機器人具有12個自由度，運動學公式相當繁雜和冗長，更別說是反向運動學公式推導，因此要利用ANFIS理論取代反向運動學函數，因為本實驗室設計的四足機器人為對稱架構，利用D-H理論，建立完座標系後，延續3-DOF空間三軸機械腳模擬結果應用至四足機器人，步驟如下：

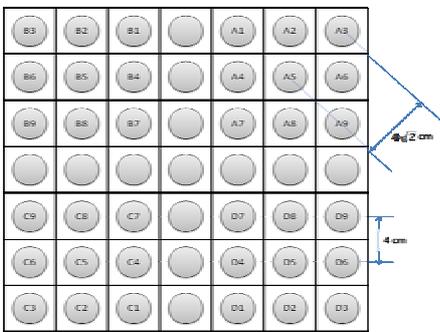
1. 確定本研究四足踏步順序為：右前腳→左後腳→左前腳→右後腳。
2. 規劃踏步前機身重心調整規則，重心投影至地面的點必須落在腳底三足所形成的三角形裡面，才能使四足機器人行走時不傾倒。
3. 量測四足下一步位置座標，代入右前腳的anfis1、anfis2、anfis3神經網路模型，分別求得四足機器人12個馬達控制的轉動角度。

四足機器人行走時須考慮平衡問題，前進速度較緩慢需探討靜力平衡與重心位置，當四足機器人抬起單腳時，重心投影至地面的投影點必須在支撐腳所構成的三角形內，才能使機身不傾倒。本研究設定四足機器人行走時偏移機身重心的順序，當要抬起單足時，為了符合靜態 ZMP 平衡，其重心投影至地面的點必須落在三角形支撐面內，因此 12 個馬達必須配合調整角度使機身重心偏移至安全區域，此外當移動機身時必須盡量避免腳底打滑現象，才不會造成誤差越來越大

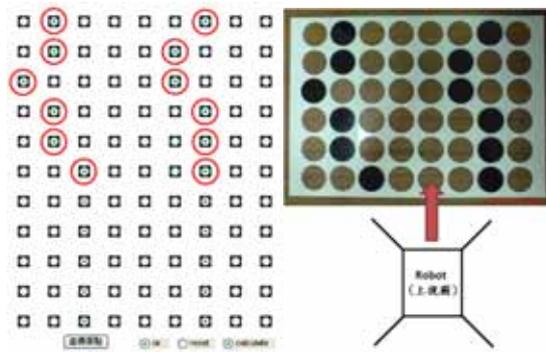
3. 模擬與實驗結果

3.1 程式流程規劃與模擬結果

1. 圖七為地形俯視圖，本研究踏步順序為右前腳→左後腳→左前腳→右後腳，搭配靜態 ZMP 理論偏移重心位置，配合踏步順序，偏移重心順序為左後偏移→右前偏移→右後偏移→左前偏移，目的是將重心位置偏移至支撐腳所形成三角形的斜邊中點往內偏移一公分的位置。
2. 如圖八所示，建立圖形使用者介面(GUI)，繪製模擬地形，只要使用者使用滑鼠左鍵點選欲前進路徑，按下 OK 按鈕後可產生前進路徑之座標矩陣(xi、yi、zi)，給定座標後按下 calculate 按鈕，便可產生相對應的馬達角度數據，如此一來，不需再一一輸入踏點座標，讓操作更方便。
3. 在圖七地形 C5 的位置設立地面絕對座標(0, 0, 0)，藉由此固定座標可以推算所有踏點和機身上移動點的絕對位置座標，將踏點與機身絕對座標相減，求得四足下一步踏點相對機身的相對座標。
4. 將每個步態機身相對踏點的相對座標，加上實際與模擬之間的誤差修正，再代入學習完成的 ANFIS 求得每個步態所有馬達角度數據。
5. 將每個循環馬達角度利用 MATLAB 程式匯出.csv 檔，讓馬達控制器讀取後去控制四足機器人，觀察實驗結果是否如同模擬期望的隨機路徑前進，實驗結果於 3.2 節以圖片表示。



圖七 地形俯視圖

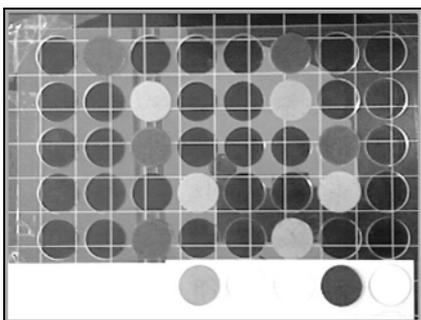


圖八 四足機器人以ANFIS為架構的自動步態建立系統的GUI介面

3.2 實驗結果

機器人行走路徑產生說明

本研究所使用的動作產生程式源自於本實驗室開發之動作理論，但此動作產生程式可隨意鍵入各踏點高度之矩陣數據的方式取得地形資料與各座標參數讀入 MATLAB 中，直接從讀入的參數轉換並合併矩陣，這 2 組矩陣代表左半側與右半側踏點座標。自動轉換為各足部接頭的動作驅動軌跡，免去人工輸入的繁雜過程。茲以圖九之隨機河石地形為例，經辨識踏點圓盤位置，並導入 MATLAB 中轉換成矩陣的結果如圖十所示。

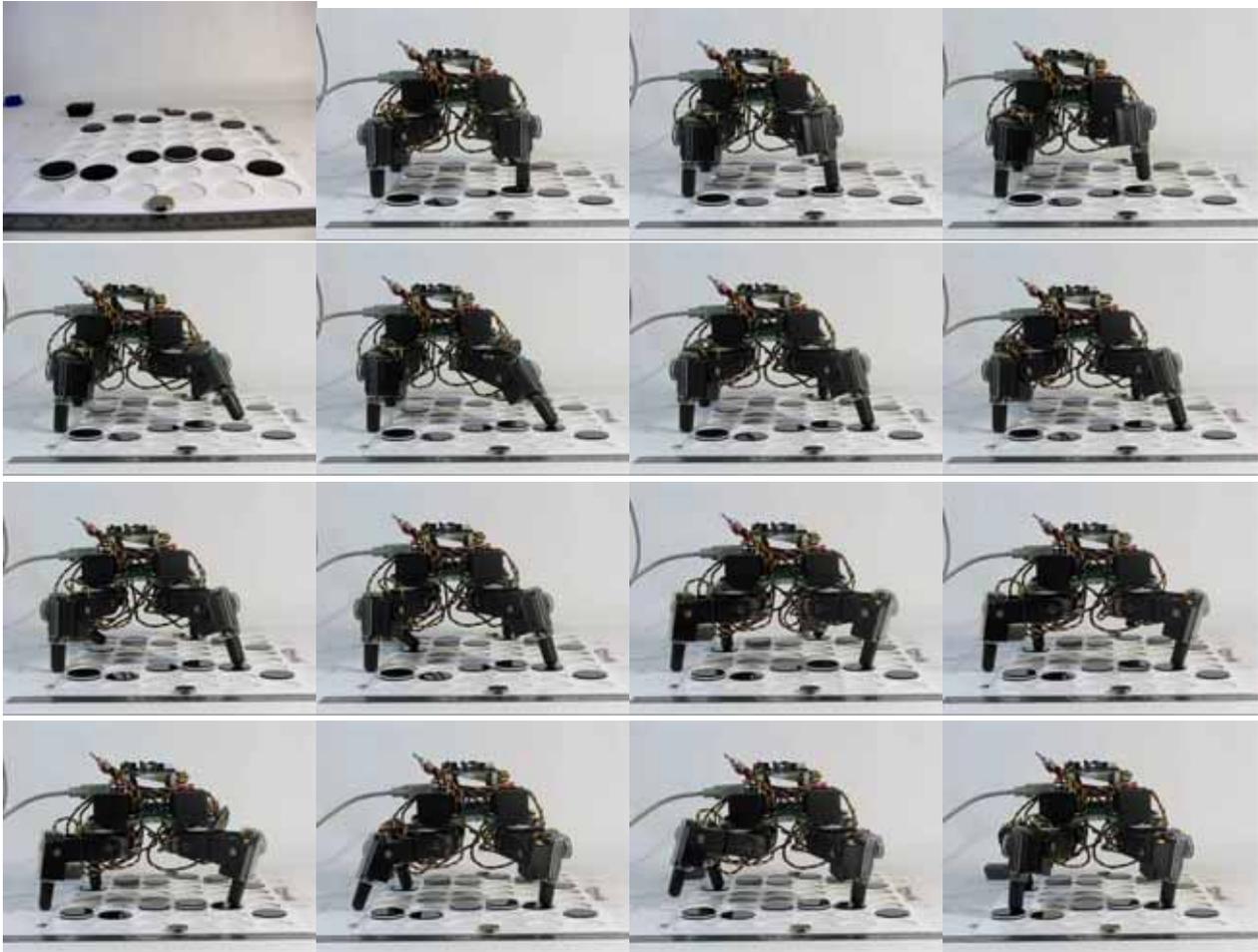


圖九 隨機河石地形範例

L =			R =		
0	0	0	16.0000	0	0
0	4.0000	0	16.0000	4.0000	0
0	8.0000	0	16.0000	8.0000	0
0	12.0000	0	16.0000	12.0000	0
0	16.0000	0	16.0000	16.0000	0
-4.0000	20.0000	0.2000	16.0000	20.0000	0.4000
0	24.0000	0.4000	12.0000	24.0000	0.2000
-4.0000	28.0000	0.2000	16.0000	28.0000	0.2000
0	32.0000	0.4000	16.0000	32.0000	0.4000
0	36.0000	0.2000	12.0000	36.0000	0.2000
-4.0000	40.0000	0.4000	12.0000	40.0000	0.4000

圖十 動作產生程式讀入座標轉換矩陣後結果

然後動作產生程式將馬達角度儲存為文字格式檔案，此檔案便可匯入Visual Sequencer中控制四足機器人啟動與完成所規劃的行走動作。本研究測試目標為驗證所建立四足機器人自主跨越非平坦隨機河石地形的軟硬體系統的功能，為了配合此地形偏移重心距離參數進行適當調整，圖十一為實驗結果照片，證實本研究開發的自適性模糊-類神經步態規劃法則，及仿生四足機器人控制模組與機構模組整合成果，順利完成跨越非平坦隨機河石地形的成果。



圖十一 仿生四足機器人自主跨越非平坦河石地形實驗成果(動作順序為由左至右，由上至下)

4. 結論

本研究採用 ANFIS 法則應用至近似空間三連桿反向運動學函數的運算測試，確認可行後，即將 ANFIS 應用至四足機器人的反向運動學的快速運算方面。倒傳遞類神經網路主要是依賴「學習樣本」不斷學習使架構收斂，而模糊控制主要是仰賴「經驗」來建構規則庫以推論方式得到想要的輸出，ANFIS 則是結合前兩者優點，具體成果為以下幾點：

1. 藉由 ANFIS 理論近似反向運動學函數，有效縮短為僅 1/6.4 倍的電腦運算時間。
2. 本研究的仿生四足機器人架構對稱，所以本研究使用右前腳推算其餘三足步伐，簡化運算架構和減少 ANFIS 學習的時間。
3. 判斷 ANFIS 輸入與輸出彼此相關性，排除獨立的參數，簡化 ANFIS 架構，縮短學習時間。
4. 建立圖形化介面，使用者僅要簡單地點選欲前徑路徑，程式便可自動產生相對應的 12 個馬達角度數據。
5. 實驗證實本研究所開發的四足機器人經由 ANFIS 法則建立的河石地形輔助規劃的步態程式可順利且穩定地走過非平坦河石地形。

計畫成果自評

本研究「仿生四足機器人在非連續河石地形的路徑規劃」上，採用影像處理等感測元件進行地形樣貌特徵的辨識與描摹定位，結合類神經演算法、自適性模糊-類神經演算模式(ANFIS)等經由前置步態學習階段建構的步態模型，即時計算驅動軸運動數據，進而透過控制介面驅動四足機器人跨步穿越河石地形。其中，在前置步態學習模型的建立方面，應用自適性模糊-類神經演算模式(ANFIS)等的路徑規劃對隨機路況進行前瞻式推導與規劃，建立一穩定且有效的路徑規劃模式，完成跨越河石地型的「穩定步態」。同時，考慮起伏型與斜面型河石地形的步伐規劃，由於須考慮四足機器人傾斜時，機體重心將嚴重影響機構姿態與動力學問題的求解，本研究結合力學平衡的法則推導與步伐規劃的控制，發展適合於一般河石地形等非連續路面的控制法則，並以實作的四足機器人系統加以驗證。本研究製作一套新型四足機器人NC-F4-2009，應用所發展的步態規劃理論，採用微處理器單晶片與I/O介面板為執行自主行動的控制中心，順利完成仿生四足機器人軟硬體系統，達成機器人自主式跨越非連續隨機式河石地形的操作控制過程等預期成果目標，符合計畫預期目標。

5. 誌謝

本研究承蒙 國科會編號NSC-98-2221-E-009-185之計畫經費支援，使本計畫得以順利完成，特此申致謝忱。

6. 參考文獻

1. Y. L. FU, B. JIN, H. LI, S. G. WANG “A robot fuzzy motion planning approach in unknown environments”. Front. Mech. Eng. China 2006 3: 336□340
2. K. C. Choi , H. J. Lee and M. C. Lee “Fuzzy Posture Control for Biped Walking Robot Based on Force Sensor for ZMP” . SICE-ICASE International Joint Conference 2006 Oct. 18-21,
3. Ken. Onozato and Yutaka. Maeda “Learning of Inverse-dynamics and Inverse-kinematics for Two-link SCARA Robot Using Neural Networks” . SICE Annual Conference 2007 Sept. 17-20,
4. Bojun Ma, Yongchun Fang, and Xuebo Zhang “Inverse Kinematics Analysis for a Mobile Manipulator with Redundant DOFs” .Proceedings of the 26th Chinese Control Conference July 26-31, 2007, Zhangjiajie, Hunan, China

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

本研究針對仿生四足機器人在非連續河石地形的路徑規劃方面，採用感測元件輔助進行地形樣貌特徵的辨識與描摹定位，結合自適性模糊-類神經演算模式(ANFIS)等經由前置步態學習階段建構的步態模型，即時計算驅動軸運動數據，進而透過控制介面驅動四足機器人跨步穿越河石地形。其中，在前置步態學習模型的建立方面，應用自適性模糊-類神經演算模式(ANFIS)等的路徑規劃對隨機路況進行前瞻式推導與規劃，建立一穩定且有效的路徑規劃模式，完成跨越河石地型的「穩定步態」。同時，考慮起伏型與斜面型河石地形的步伐規劃，由於須考慮四足機器人傾斜時，機體重心將嚴重影響機構姿態與動力學問題的求解，本研究結合力學平衡的法則推導與步伐規劃的控制，發展適合於一般河石地形等非連續路面的控制法則，並以實作的四足機器人系統加以驗證。本研究製作一套新型四足機器人NC-F4-2009，應用所發展的步態規劃理論，採用嵌入式單晶片與I/O介面板為執行自主行動的控制中心，順利完成仿生四足機器人軟硬體系統，達成機器人自主式跨越非連續隨機式河石地形的操作控制過程等預期成果目標。

國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期：99年7月29日

<p>國科會補助計畫</p>	<p>計畫名稱：仿生四足機器人跨越河石地形的自適性模糊-類神經步態規劃與實驗</p> <p>計畫主持人：鄭璧瑩</p> <p>計畫編號：NSC 98-2221-E-009-185- 領域：自動化學門</p>		
<p>研發成果名稱</p>	<p>(中文) 自主式四足機器人非連續路徑的規劃與控制</p>		
	<p>(英文) Gait Planning and Control of a Single Chip Based Quadruped Robot Crossing a River-stone Terrain</p>		
<p>成果歸屬機構</p>	<p>國立交通大學</p>	<p>發明人 (創作人)</p>	<p>鄭璧瑩</p>
<p>技術說明</p>	<p>(中文) 本研究重點為建立一套具有影像式地形辨識與基本步態規劃功能的自主式跨越非連續河石地形能力的四足機器人軟硬體整合系統。所建造的四足機器人結合嵌入式單晶片微處理器與伺服機控制板與12軸伺服馬達的機構模組，完成新型四足機器人(NC-F4-2009)實作平台。此NC-F4-2009系統採用感測元件輔助進行地形樣貌特徵的辨識與描摹定位，結合自適性模糊-類神經演算模式(ANFIS)等經由前置步態學習階段建構的步態模型，即時計算驅動軸運動數據，進而透過控制介面驅動四足機器人跨步穿越河石地形。</p> <p>(200-500 字)</p>		
	<p>(英文) In the study, the terrain recognition and path generating module based on ANFIS Inversed kinematics solver have been developed and integrated with motion control module on the developed quadruped robot system NC-F4-2009. The new robot system NC-F4-2009 has successfully demonstrated its autonomous motion ability crossing a so called River-stone discontinuous terrain.</p>		
<p>產業別</p>	<p>服務型機器人產業、智慧型機器人產業業</p>		
<p>技術/產品應用範圍</p>	<p>自動化設備機電整合、智慧型機器人自主式行動技術</p>		
<p>技術移轉可行性及預期效益</p>	<p>1.可建立影像為基礎的路徑辨識與行動控制的系統整合核心技術，有效提升自動化設備機電整合、智慧型機器人自主式行動技術的應用發展與具體功效。</p>		

註：本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。

國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期 2010年11月01日

<p>國科會補助計畫</p>	<p>計畫名稱: 仿生四足機器人跨越河石地形的自適性模糊-類神經步態規劃與實驗 計畫主持人: 鄭壁瑩 計畫編號: 98 -2221-E -009 -185 - 學門領域: 機器人學及應用</p>		
<p>研發成果名稱</p>	<p>(中文) 四足機器人不規則河石地形辨識與步態規劃技術與人機介面系統 (英文)</p>		
<p>成果歸屬機構</p>	<p>國立交通大學</p>	<p>發明人 (創作人)</p>	<p>鄭壁瑩, cidm 機器人團隊</p>
<p>技術說明</p>	<p>(中文) 本研究採用影像處理等感測元件進行地形樣貌特徵的辨識與描摹定位，經由前置步態學習階段建構的步態模型，即時計算驅動軸運動數據，進而透過控制介面驅動四足機器人跨步穿越河石地形。其中，在前置步態學習模型的建立方面，應用特徵空間轉換觀念發展修正型的隨機型路徑演算法則的路徑規劃等，建立一穩定且有效的路徑規劃模式，完成跨越河石地型的最佳步態，發展適合於一般河石地形等非連續路面的快捷反應的適應控制法則，並以實作的四足機器人系統加以驗證。首先建立四足機器人隨機步態模型與驅動軸運動數據資料，採用嵌入式微處理單晶片組合而成機器人之控制系統，將地面之隨機地形影像資料經影像辨識處理後取得行走的河石踏點，並自動轉換為具體實用之伺服機運動控制路徑規劃，組成機器人之連續行走動作，控制機器人之動作進行實驗來驗證本研究所發展的路徑規劃的可行性，證實本研究所開發的仿生四足機器人能穩定達成跨越隨機式河石地形的自主式行走之目標。</p> <p>(英文) In the study, the terrain recognition and path generating module based on ANFIS Inversed kinematics solver have been developed and integrated with motion control module on the developed quadruped robot system NC-F4-2009. The new robot system NC-F4-2009 has successfully demonstrated its autonomous motion ability crossing a so called River-stone discontinuous terrain.</p>		
<p>產業別</p>	<p>研究發展服務業</p>		
<p>技術/產品應用範圍</p>	<p>智慧型機器人</p>		
<p>技術移轉可行性及預期效益</p>	<p>可提高智慧型機器人或仿生機器人的步態設計規劃與控制技術</p>		

註：本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。

98 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：鄭壁瑩		計畫編號：98-2221-E-009-185-					
計畫名稱：仿生四足機器人跨越河石地形的自適性模糊-類神經步態規劃與實驗							
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	1	1	100%		
		研討會論文	1	1	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	2	2	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	1	1	50%		
		專書	0	0	100%		章/本
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	2	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

<p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	<p>餐與國際研討會(IROS2010)並與國內外專家學者研討並介紹成果。</p>
--	---

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

本研究 針對仿生四足機器人在非連續河石地形的路徑規劃方面，採用感測元件輔助進行地形樣貌特徵的辨識與描摹定位，結合自適性模糊-類神經演算模式(ANFIS)等經由前置步態學習階段建構的步態模型，即時計算驅動軸運動數據，進而透過控制介面驅動四足機器人跨步穿越河石地形。其中，在前置步態學習模型的建立方面，應用自適性模糊-類神經演算模式(ANFIS)等的路徑規劃對隨機路況進行前瞻式推導與規劃，建立一穩定且有效的路徑規劃模式，完成跨越河石地型的「穩定步態」。同時，考慮起伏型與斜面型河石地形的步伐規劃，由於須考慮四足機器人傾斜時，機體重心將嚴重影響機構姿態與動力學問題的求解，本研究結合力學平衡的法則推導與步伐規劃的控制，發展適合於一般河石地形等非連續路面的控制法則，並以實作的四足機器人系統加以驗證。本研究製作一套新型四足機器人 NC-F4-2009，應用所發展的步態規劃理論，採用嵌入式單晶片與 I/O 介面板為執行自主行動的控制中心，順利完成仿生四足機器人軟硬體系統，達成機器人自主式跨越非連續隨機式河石地形的操作控制過程等預期成果目標。