

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

總計畫--具多個互動型動態代理器之大型網狀混合式控制 系統(1/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC92-2213-E-002-044-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立臺灣大學電機工程學系暨研究所

計畫主持人：傅立成

共同主持人：簡忠漢，王立昇，練光祐

計畫參與人員：張智富，黃雋博，徐毓伯，鄒岱潔

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 6 月 14 日

總計畫期中報告

總計畫：具多個互動型動態代理器之大型網狀混合式控制系統

委託機關單位：國家科學委員會

執行機關與單位：國立台灣大學

計畫編號：

主持人：傅立成 教授

中華民國九十三年六月

中英文摘要

(一) 計畫中文摘要

關鍵詞：動態代理器、行動輪式機械人、網路聯界結、軟硬體測試平台

一個動態系統的感測器及致動器傳統上均以專線(hard wire)透過某種型式 A/D 及 D/A 及個人電腦之 CPU 或單晶片控制器(卡)相聯，其中所需之控制演算法泰半能以即時方式完成運算，但由於網路技術日新月異、突飛猛進，該專線連結近來漸有以網路連結方式取而代之，尤其是當需連結之單元數相當龐大時，上述取代已別無選擇。不過網路連結方式傳統上欲達到即時反應的要求的困難度高，勢將造成控制效能上的負擔，不過直觀上只要網路頻寬無限制提昇，則即時控制即不再是空談，但殊不知前者在目前現階段並不可能，而此種限制亦可透過巧妙地重新設計控制器的架構、控制演算法、與控制邏輯來達到殊途同歸的效果。本整合型計畫的目的即在探討與驗證上述的可行性。

子計畫一在本大型計畫中扮演中心引導、整合各其他子計畫成果的角色，目標係提供各子計畫理論、技術測試、驗證的平台，當然初期亦可作為各子計畫執行的動機來源。此平台的提創、開發與製作在此三年的計畫中將循序漸進。初期、本子計畫將首先提出一個具互動、動態子系統的大型網狀系統，為使其具相當代表性，將考慮以行動輪式機械人(mobile manipulator)作為動態代理器，其中輪式機械人部分可作平面移動及旋轉，而機械臂則為多軸，此代理器設有一局域性控制器(local controller)，可控制車體與機械臂。此等多個自走式機械臂將試圖合作將一大型物件合力移動，其中移動的軌跡可由一遙距的控制器以網路連結的方式動態控制各個代理器的機械臂、抑或各代理器之間亦透過網路協調彼此間的互動，藉由其間力的動態平衡達到各代理器及物件的穩定性。此系統的穩定性明顯將繫於網路頻寬，是以大型網狀系統將完全符合整合型計畫所需。

在第一年提出並分析各代理器之架構後，將同時製作其 prototype，第二年，本子計畫將製作一大型軟體模擬系統以供各子計畫透過網路方式上線模擬測試，第三年則實際製作多個代理器，屆時各子計畫將實地驗證其所提出之理論。

(二) 計畫英文摘要

Keyword : Dynamic Agent, Mobile manipulator, Network Linkage, Software and hardware testing platform

Traditionally, the sensing subsystem and actuation subsystem are linked to the main CPU of the control computer or some single-board micro-controller through some hardwiring and A/D, D/A converters. As a result, the control algorithms can mostly be completed in real time. Recently, due to dramatic renewal and improvement of the network technology, it is becoming a trend to replace the above hardwire links by the network links, and it becomes an indispensable choice especially when the number of units to be linked is enormous. However, it is well known that the real-time response is hardly come by from the network linkage, which thereby causes burden in the overall control performance. Intuitively, the resolve the real-time control dilemma is to arbitrarily increase the bandwidth of the network. But the current technology, however, did not support this request, and in fact such a problem can be overcome though ingeniously redesign of the control architecture, the control algorithm and the control logic. This subproject is solely to investigate and to verify the possibility of the mentioned solution alternative.

This subproject, among the present integrated project, is to play the role of guiding the research of and integrating all the results from other subprojects. Specifically, the goal of this

subproject is to provide a platform to test and to assess the theoretical results and technological developments. Of course, this subproject can also have a role in highly motivating all the execution of other subprojects. The proposition and development of this platform will proceed in this three year integrated project step by step. In the beginning period, this subproject will propose a large scale networked system consisting of multiple interactive dynamic subsystems. An excellent choice is to choose a mobile manipulator as a dynamic agent, where the mobile vehicle can move in a plane and can rotate whereas the manipulator can have three joints, i.e., with three degree-of-freedom (DOF's). Furthermore, each agent will have its own local controller to control the vehicle and the manipulator. These many agents will then cooperate to move a huge piece of large object, and the motion trajectory of the object as well as of each agent will be determined by a remote controller through wireless network or be determined after negotiation among various relevant agents. It is crucial that this dynamic network communication will guarantee the force balance in a dynamic manner and in turn lead to full stability of the large object as well as each relevant agent. It is noteworthy that the stability of the overall system has a strong tie with the bandwidth, and therefore the present system indeed will fulfill the need by the present integrated project.

After we have proposed the architecture of the agent in the first year, we will build the prototype at the end of the same year. Next, in the 2nd year we will develop a large scale simulation software to facilitate every subproject to assess its result on-line. On the 3rd year, we will develop multiple prototype agents, so that all the subprojects can evaluate their results performance experimentally and physically.

(三)總計畫 93 年期中進度整合報告

期中報告針對四個子計畫分別綜述期中之進度及研究概況

1、子計畫一—具多個互動型動態代理器之大型網狀混合式控制系統

下面就 93 年上半年度計畫的執行結果細分為系統控制及硬體架構、機構設計、通訊系統及及時影像追蹤系統，分別以代表性之架構圖來說明系統規劃及進度。

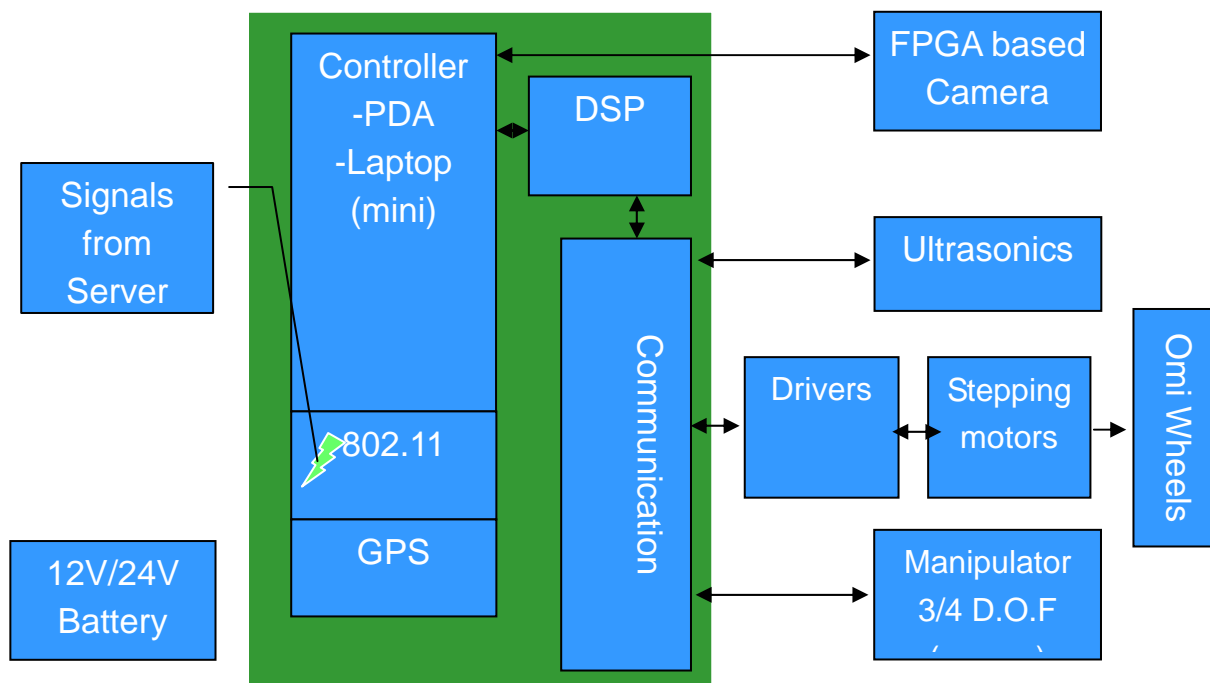


圖 1、行動輪式機械人硬體架構圖

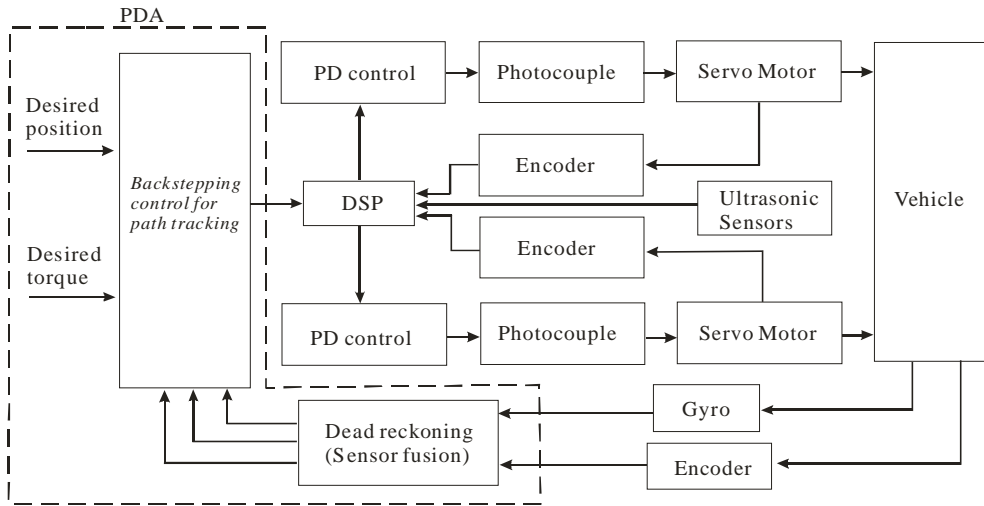


圖 2、輪式行動機械人系統控制架構圖

圖 1 表示行動輪式機械人硬體控制架構，圖 2 說明較低階硬體階層的控制架構。

機構部分以實用性、創新性以及可靠性為設計依據

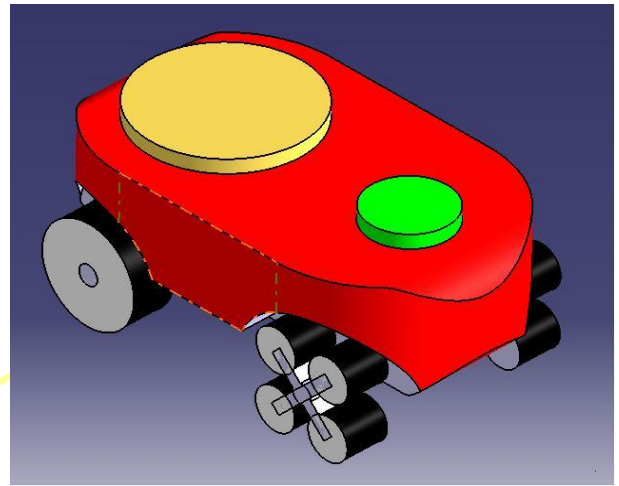
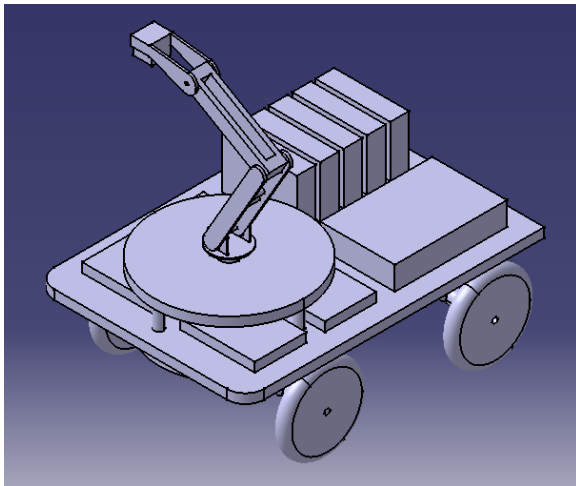


圖 3、輪式行動機械人機構設計

整個代理人單元之間可以互相分享所獲得的資訊進而拼湊出整個任務的輪廓。

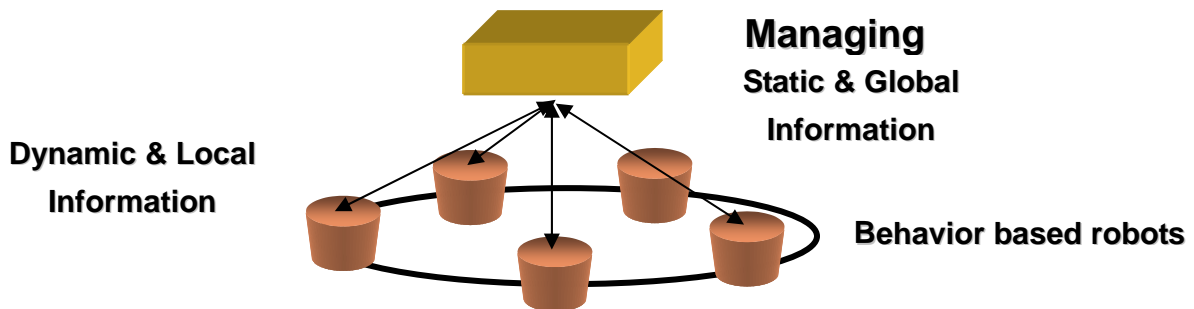


圖 4、多群組代理器之訊息分享機制與管理

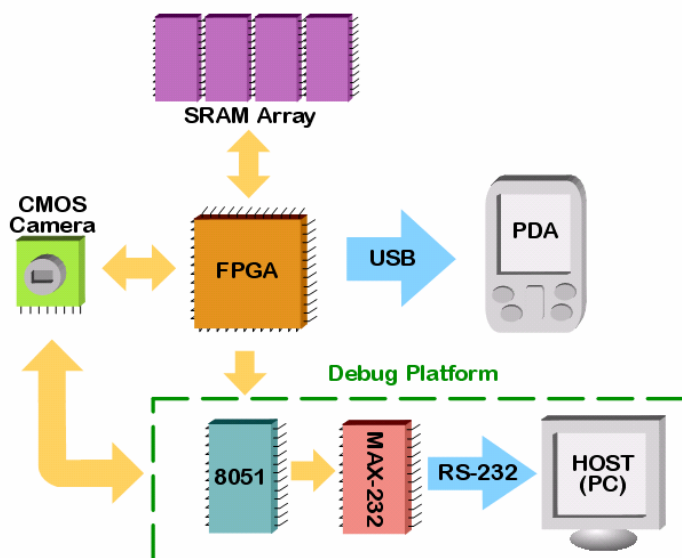


圖 5、影像系統架構圖

圖 3 為車體結構設計，圖 4 為網路通訊架構，主要是以多群組代理器之通訊行為結合控制系統來做描述，圖 5 代表及時影像系統製作架構以及與遠端控制器之互動關係及行為。

2、子計畫四—以影像資訊進行代理器間互動依據之網狀混合式控制系統設計

本計畫第一年度預定完成之工作項目(如下表)已如期完成，並分述如下：

工作項目	執行方法	預計完成時間
研發適用於複雜環境之多目標物影像追蹤系統	研發一套強健性形狀偵測演算法與一套適應性目標追蹤演算法，並經由 Matlab/Simulink 軟體與 Visual C++軟體實現驗證無誤。	已完成
結合自走車系統與 Pan-Tilt 攝影機、無線網路做為本計畫初期之影像追蹤代理器	改裝一部自走車、重新設計自走車之控制模組。於其上搭載一部單板電腦以整合 Pan-Tilt 攝影機與無線網路。	已完成
多目標物影像追蹤系統應用於自走車影像追蹤代理器	進行以 C 語言撰寫自走車之影像伺服控制模組	已完成

表 1、第一年度預定完成之工作項

本計畫在第一年度(92 年)已成功研發一套適用於複雜環境之多目標物影像追蹤系統 [1]，其具有透過影像同時追蹤多個運動目標物的功能。此系統採用輪廓形狀特徵(shape features)建立目標物的模型。並假設待追蹤的運動目標物，其部分輪廓形狀可近似為參數化之曲線(例如圓形、橢圓、三角或多邊形等)，但其形狀參數則為事先未知。值得一提的在此系統並不假設目標物的形狀特徵為已知，而是由系統自動辨識其輪廓形狀特徵，並計算其形狀參數。此系統採用隨機霍氏轉換(randomized Hough transform, RHT)技術偵測目標物的形狀，其優點包含計算效率性且對於影像背景雜訊與目標物部分遮蔽等干擾具有強健性。

在上述影像追蹤系統辨識目標物輪廓形狀並取得形狀參數之後，便進入影像追蹤階段。其採用一套適應性目標追蹤(adaptive object tracking)演算法，能持續地在形狀參數空間追蹤鎖定目標物。當目標物影像發生平移、旋轉與縮放(scaling)運動時，適應性目標追蹤演

算法能適時地追蹤並更新其形狀參數，如此將使追蹤系統對於目標物影像的姿態改變與大小縮放具有強健性。由於當形狀參數空間的維度愈高，則追蹤演算法的計算複雜度 (computational complexity) 愈高。因此在此系統中我們將形狀參數空間分解成維度較小的平移子空間 (translational subspace) 與旋轉/縮放子空間後，再分別套用上述之追蹤演算法，如此可增加其計算效率性。

影像追蹤控制流程已經由 Matlab/Simulink 軟體實現驗證無誤，並已完成與自走車硬體初步整合，進度與成果另述於下。

1. 獨立影像追蹤代理器設計與組裝

系統組成包含自行改裝之自走車系統、Pan-Tilt 攝影機、單板電腦、影像擷取介面與無線網路(如圖 6)。

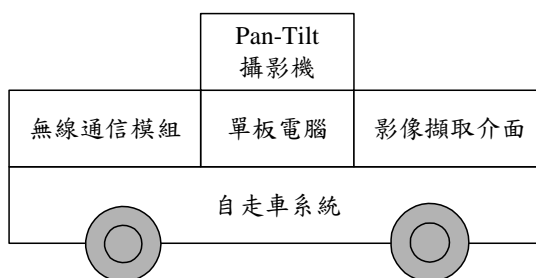


圖 6、獨立式影像伺服追蹤代理器架構

2. 多目標影像追蹤系統

本計畫在第一年度已成功研發一套適用於複雜環境之多目標物影像追蹤系統[1]，其具有自動偵測移動目標物，辨識其形狀輪廓與參數等功能，且能於形狀參數空間持續追蹤鎖定目標物的位置。此系統採用輪廓形狀特徵(shape features)建立目標物的模型。並假設待追蹤的運動目標物，其部分輪廓形狀可近似為參數化之曲線(例如圓形、橢圓、三角或多邊形等)，但其形狀參數則為事先未知。值得一提在此系統並不假設目標物的形狀特徵為已知，而是由系統自動辨識其輪廓形狀特徵，並計算其形狀參數。影像追蹤系統之執行結果如圖 7 所示。

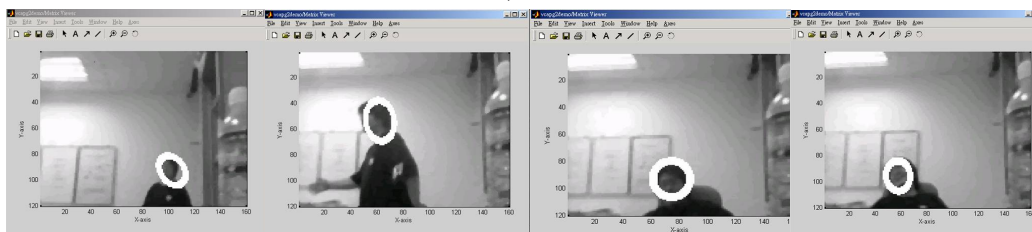


圖 7、影像追蹤系統應用於追蹤頭部

3、子計畫五— 多動態代理器群組運動之路徑規劃

今年已完成一無人自走車的硬體設計及其路徑規劃與控制系統之整合開發。除了靜態目標外，當目標位置改變時，該控制系統可依據當時環境重新啟動路徑規劃軟體，設計即時之最佳路徑，並進而調整控制器。實驗結果顯示，我們所完成的系統確可達到預期的目標，亦即無人自走車可以經由避開障礙區域的最佳路徑即時追蹤到運動中的目標物。

整體系統架構可分為三個部分：主控站、無人載具、目標物。我們結合全球定位系統 (GPS)、電子羅盤來決定載具與目標物的位置及載具的姿態，且利用無線串列埠通訊做為各部分間資料的傳遞與連繫。其架構圖如圖 8 所示。

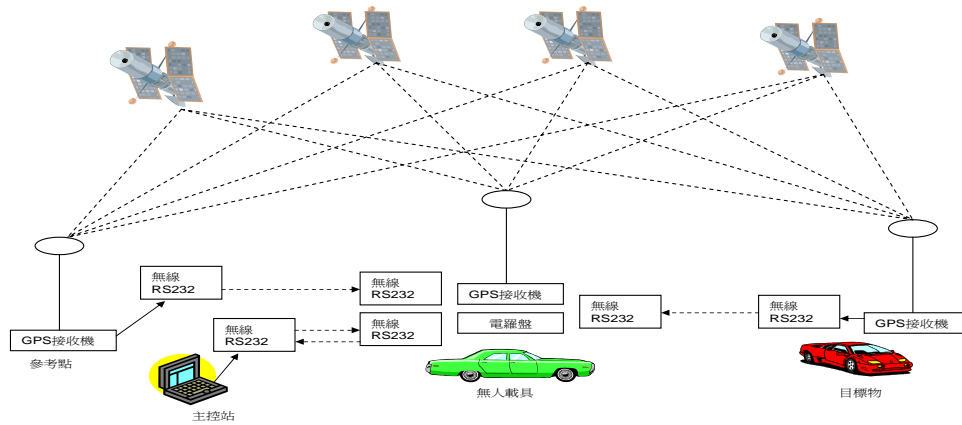


圖8、系統架構

載具機構配置與各元件介紹如圖



圖9、載具側面圖

設備名稱	工作內容
車上 PC (Pentium4 2.6GHz 個人電腦)	規劃載具行進路徑及接收各感測器資料後做運算, 以決定載具的控制策略.
運動控制卡 (健昇科技出產的 MPC3024 4 軸運動控制卡)	經由模糊控制器解算後的轉動控制量, 再透過運動控制卡輸出脈波來控制馬達轉速.
驅動器 (健昇科技出產的 ESD-04 伺服驅動器)	接收運動控制卡傳來的脈波來驅動馬達.
110V 交流伺服馬達 (健昇科技出產的 ESM 60 交流伺服馬達)	帶動載具的行進運動.
電子羅盤儀 (PNI Corporation 出產的 TCM-50 三軸精密電子羅盤)	判定載具的姿態.
GPS 接收器 (Ashtech G12 GPS 接收機)	接收衛星訊號並對載具及目標物進行定位.

表 2、載具上各元件介紹

載具控制系統架構

對於控制器的選擇, 我們是以模糊控制器[3]來控制載具的行進運動。載具的位置和姿態由 GPS

接收器及電子羅盤儀得知後，將二者的資料傳入載具上的PC並和由PC所設計的參考路徑相比較，而參考路徑的設計是依據載具和目標物的位置來設計。其產生的誤差當作模糊控制器的輸入變數，經過模糊控制器解算出來後的轉動控制量再透過馬達控制卡來控制馬達的轉速，以完成目標物的追蹤控制，圖 10 為整個載具控制系統的架構圖。

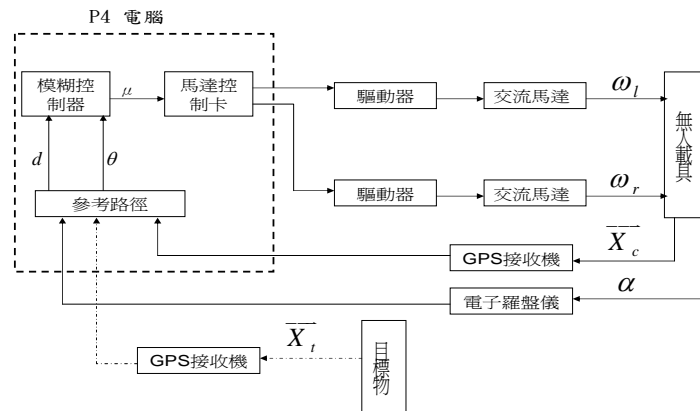


圖10、載具控制系統架構圖

實驗結果

如下圖所示為實驗場景，在實驗中我們以人為方式去推動一目標物，在目標物上我們亦放置一GPS接收器來判斷其位置。載具會依其姿態和參考路徑的角度誤差來判斷其轉向大小而完成目標物的追蹤控制。



圖 11、GPS 系統結合路徑導航實驗圖

無障礙物平面追蹤

下圖為無障礙物追蹤結果，曲線 A 為載具追蹤路徑，B 為目標物移動路徑。

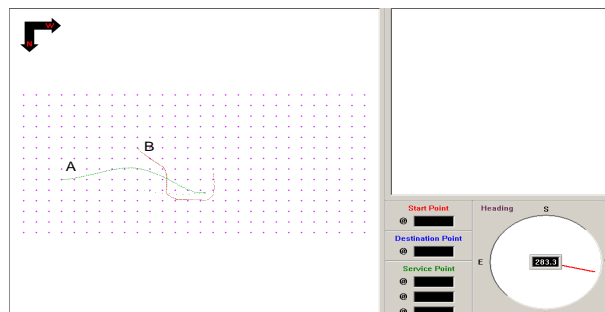


圖 12、無障礙路徑追蹤結果

有障礙物平面追蹤

在有障礙物時，我們必須變換路徑的設計。以下顯示當目標物的位置改變時，載具如何更換其路徑，而避開障礙物，到達目標物所在位置。

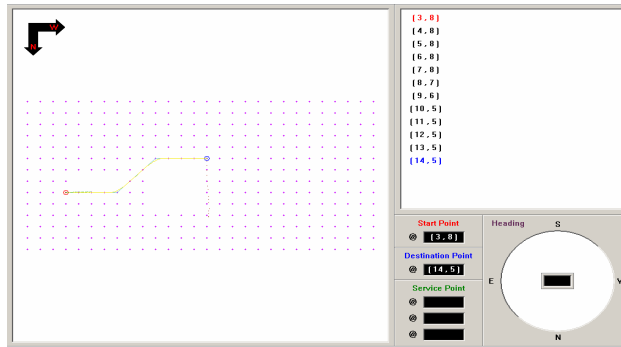


圖 13、載具初始之最佳追蹤路徑

從實驗的結果可知, 在無障礙物平面上, 藉由適當的方法確實可以達到載具對目標物的追蹤控制; 而在有障礙物平面上, 載具結合路徑規劃演算法可以使載具避開障礙物而到達目標物所在位置。未來可根據這些基礎, 在硬體上增加 CCD、機器手臂等設備, 更進一步往多部載具協同搬運物體的目標發展。

4、子計畫七—以網狀系統為觀點之混合式 T-S 模糊控制系統設計

本計劃以 T-S 模糊模式為基礎, 探討以網狀連結方式交換訊息之多代理器系統的穩定性分析與控制器設計。第一年的主要執行內容是以 T-S 模糊模式建構混合系統的表示方式, 以及穩定性分析。然後針對遠端代理器(即受控系統), 考慮網路時間延遲效應對系統穩定的影響。接著建構網路流量之 TCP 模式, 分析其流量控制問題, 以便稍後進一步探討網路傳輸速率如何影響代理器之穩定與控制問題。

網路聯結系統之時間延遲問題與解決方法

我們希望發展出一種比較全面性的控制器, 不止是用在線性系統上, 即使是非線性系統也能得到良好的響應。而 T-S 模糊控制是目前在非線性系統上使用是非常有效且精準的方式, 所以本計劃以利用 T-S 模糊控制的方式發展出兩種控制有效的控制器, 進而達成對於時間延遲系統的控制目的。

針對網路聯結之遠端系統, 由於傳輸所產生的延遲, 其系統方塊圖, 如圖 14 所示:

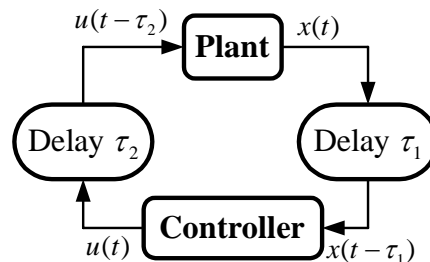


圖 14、延遲系統系統架構圖

對於時間延遲的系統, 其 T-S 模糊模式可表為

Plant Rule i :

If Z_1 is M_{i1}, \dots , and Z_n is M_{in} THEN 其推論輸出為

$$\dot{x}(t) = A_i x(t) + B_i u(t - \tau_2(t)), \forall i = 1 \dots r$$

Plant Rule i :

$$\dot{x}(t) = \sum_{i=1}^r h_i(t) \{ A_i x(t) + B_i u(t - \tau_2(t)) \}, \forall i = 1 \dots r$$

利用 PDC 平行分佈補償設計控制器為

Control Rule i :

If Z_1 is M_{i1}, \dots , and Z_n is M_{in} THEN

$$u(t) = -F_i x(t - \tau_1)$$

其推論輸出為

$$u(t) = -\sum_{i=1}^r h_i(t - \tau_1(t)) F_i x(t - \tau_1(t))$$

在控制器輸入到整個時間延遲的系統，可得方程式如下

$$\dot{x}(t) = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^r h_i(t) h_j(t - \tau(t)) \{A_i x(t) - B_i F_j u(t - \tau(t))\}$$

此控制器的推導方式是利用 Lyapunov 的穩定分析得來，雖然在推導過程之中仍然還是有時間延遲的數學函數項，不過，我們很巧妙的利用一些性質和一些假設將此項消除。

現將結果以軟彈簧系統的狀態方程式來做實際的模擬

$$\dot{x}_1(t) = x_2(t)$$

$$\dot{x}_2(t) = -1.1x_1(t) - x_1^3(t) - 0.4x_2(t) + u(t)$$

由模擬的結果得知，傳輸時間的延遲若在平均 2 秒左右的話，系統都可以都可以收斂下來，也就是系統是可以控制的。

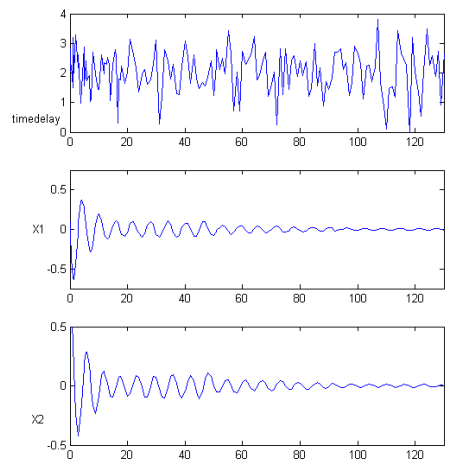


圖 15、延遲系統控制模擬結果

TCP 之流量控制模式與解決方法

網路上要得知封包已經遺失的方式只有收到三個同樣的 ACK，或者收到因等待 ACK 的時間過長而中斷的訊息。有關於 window size 的動態方程式如下：

$$\dot{W}(t) = \frac{1}{\frac{q(t)}{C} + T_p} - \frac{W(t)}{2} \frac{W(t-d)}{\frac{q(t-d)}{C} + T_p} P(t-d)$$

$$\dot{q}(t) = -C + \frac{N}{\frac{q(t)}{C} + T_p} W(t)$$

$W \doteq$ average TCP window size (packets);

$q \doteq$ average queue length (packets);

$R(t) \doteq$ round-trip time = $\frac{q(t)}{C} + T_p$ (secs);

$C \doteq$ link capacity (packets/sec);

$T_p \doteq$ propagation delay (secs);

$N \doteq$ load factor (number of TCP sessions);

$P \doteq$ probability of packet mark.

經過適當的推導程序之後，控制器 $u(t)$ 可得

$$u(t) = -\frac{2}{x_2(t)^2 x_1(t)} x_{2d} + \frac{2}{x_2(t)} - \frac{2C}{N x_1(t)} + x_{3d} - \sum_{r=1}^{16} u_r(t) F_r \tilde{x}(t)$$