

行政院原子能委員會
委託研究計畫研究報告

高活度大型核能組件拆除之遙控吊運技術研究

**The study on removing the core components of nuclear power
mechanism by remote control techniques**

計畫編號：1002001INER011

受委託機關(構)：中原大學

計畫主持人：張政元

聯絡電話：03-2654838

E-mail address：ccy@cycu.edu.tw

核研所聯絡人員：黃培祥

報告日期：100 年 10 月 20 日

目 錄

目 錄.....	II
中文摘要.....	1
Abstract.....	2
計畫參與人員及所屬單位.....	3
壹、計畫緣起與目的.....	4
貳、研究方法與過程.....	6
一、吊車系統模型.....	6
二、控制器設計.....	8
參、主要發現與結論.....	17
一、實驗結果.....	17
二、有關貴所馬達控制方式與系統匹配需求之相關建議.....	20
三、結論.....	21
肆、參考文獻.....	22

中文摘要

核設施的除役工作由於部分組件具有較高輻射，為了降低工作人員操作時身上所接受的劑量，因此需要利用遙控吊運的方式來輔助核設施拆除工作，以維護人員安全；此外，吊車移動時所懸掛的重物會因慣性力而產生擺盪，也容易引發工安問題。因此，本計畫以開發操作簡單、精確定位、有效消除擺盪的非線性吊車操控模型為目標，希望導入智慧型控制技術，將重物擺動時的空間資訊向量與吊車位置的關連性，納入控制器的計算之中，來建構一個安全的遙控吊運技術，以作為日後核能組件的拆除時吊運技術的參考。同時，對於吊運過程的路徑規劃問題，也會在計畫中一併探討，以避免可能的碰撞問題。

關鍵字：吊車、遙控吊運、路徑規劃

Abstract

For the sake of radiation, it needs remote control based method to operate the crane when removing the core components of nuclear power mechanism. However, owing to the inertia, the motion of crane always accompanies with undesired load swing, that could be a very important issue of industrial safety. Therefore, this project tries to develop a simple but effective method to control the crane so that it can be moved steady in the 3-D space. The potential intelligent control methods such as neural network or sliding mode control will be investigated. Using the load swing and trolley position information, the developed controller can be a safe and remote control solution when removing the components of nuclear power mechanism. In addition, the problem of path planning will also be included in this project to avoid the collision with obstacle during the crane motion.

Keywords: crane, remote control, path planning

計畫參與人員及所屬單位

計畫編號：1002001INER011

計畫參與人員：張政元¹、王煥鈞¹、古松志¹、蔣東建²

所屬單位：中原大學電機系¹、清雲科大電子系²

壹、計畫緣起與目的

固定式吊車(簡稱吊車)系統廣泛運用在重工業上之負載傳輸，如港口、鋼鐵廠；但在傳輸的過程中，加速度會引起負載的搖晃過大的負載搖晃會造成系統效能降低與負載損壞，甚至造成危險，所以在此考量之下，吊車駕駛員通常是採用相對緩慢移動的保守駕駛方式來確保整個貨物運載的穩定，而此種吊車駕駛方式亦同時犧牲了快速定位的控制需求，同時此種人力控制方法除了取決於操作員的經驗、視力與精神狀態，也受限於天候狀況，無形中提高了搬運貨物過程中的風險與成本。因此目前有許多學者針對吊車能同時抑制負載搖晃及快速達到定位目標的方向做研究，例如將系統線性化後利用迴路整形法與模糊理論去做控制，或根據模糊邏輯控制以及滑動模式控制來操作吊車，也獲得不錯的效果。

吊車是一種以較少的致動，但必需去控制多個輸出狀態的欠致動非線性系統，若以傳統的非線性控制器去設計，需要系統精確的動態模型，但吊車屬於十階高度複雜的非線性系統，所以不容易求得其動態模型。傳統的滑動模式控制雖然擁有不錯的抗系統參數變動及干擾之強健性，但也有兩個主要缺點，分別為控制器輸出高頻振盪(切跳)現象與等效控制不易計算，主要是因為等效控制需由精確的系統動態模型求解，因此本論文提出一種類神經滑動模式控制，利用兩個類神經網路去做設計，其中第一個神經網路經由權重的調

整估測出等效控制，使系統狀態保持在滑動面上且沿著滑動面朝向平衡點收斂；第二個類神經網路，則調整權重參數矩陣，包含滑動斜率參數矩陣 G 與影響迫近速率參數矩陣 K ，利用估測原理得到改善控制，使脫離滑動面之狀態能快速返回滑動面，使最終系統整體能消除誤差，改善切跳現象，並且擁有較短的迫近時間與順滑時間，以達到最佳的控制效果。

然而，本計畫進行吊車之遙控吊運技術研究，乃為確保高活度大型核能爐體及爐內組件拆除工作能符合安全、安定的作業品質要求。由於爐內組件是屬於被活化之高輻射劑量率的設施，因此相關的執行方法，必須在事前妥善的考量與規劃；在輻射安全方面，為使操作人員所接受的劑量降至最低，故有此技術發展之需要，以符合 ALARA 精神。在此，本計畫初期將研討各類國內外常使用的遙控吊運方法及路徑規劃原則，以做為爐體拆除程序評估之工具。同時，也將比較各種控制器的設計方法來輔助爐內組件的拆除作業，以利工作人員能在安全的操作環境下進行評估，以達精準定位、路徑規劃與搖擺抑制的目的。

貳、研究方法與過程

在吊車控制的需求中，快速準確的定位及避免負載的搖擺程度過大是最重要、但在操作上又往往是相互矛盾的兩項課題。過去吊車控制的研究中大多只專注在如何抑制搖擺而忽略了精確定位的重要。然而，本計畫主旨在利用吊車遙控吊運大型高活度核能機組拆除的研究，故將以安全問題為優先考量，並以精確定位作為研究主軸，期能利用設計定位控制方法，準確地將吊車移動至欲拆除組件位置，以作為日後核能機組的拆除方式評估。

一、吊車系統模型

圖 1 是二維吊車系統的模型及相關參數定義，其中我們利用 x 跟 y 來表示吊車與吊掛物在 X-Y 座標系統中的位置。推動吊車往 X 軸與拉升 Y 軸方向移動的力則用 f_x 與 f_y 表示，所懸掛重物的搖擺角度則定義為 θ_x ，因此，重物的位置 (x_m, y_m) 則可表示為

$$x_m = x + l \sin \theta_x, \quad y_m = y + l \cos \theta_x \quad (1)$$

其中 l 定義為吊掛鋼纜的長度，則吊車系統的動態方程是可以利用 Lagrange's 方程式求得，為

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = Q_i \quad (2)$$

其中 $L = K - P$ ， K 是系統的總動能，而 P 是系統的總位能， q_i 定義

為相關向量參數(x, y, θ_x)，而 Q_i 則為推動吊車的力 (f_x or f_y)。故由(1)-(2)式可推得系統動態方程式為：

$$(M_x + m)\ddot{x} + ml\ddot{\theta}_x \cos \theta_x - ml\dot{\theta}_x^2 \sin \theta_x = f_x - D_x \dot{x} \quad (3)$$

$$ml^2\ddot{\theta}_x + ml\ddot{x} \cos \theta_x + mgl \sin \theta_x = 0 \quad (4)$$

$$(M_y + m)\ddot{y} + m\ddot{x} \sin \theta_x - ml\dot{\theta}_x^2 - mg(\cos \theta_x - 1) = f_y - D_y \dot{y} \quad (5)$$

其中 M_x 與 M_y 分別代表 X- 與 Y-axes 方向的吊車系統總重量； m 代表懸掛重物的重量， g 是重力加速度常數， D_x 與 D_y 則表示為 X- 與 Y-方向的黏滯係數。則令 $x_1 = x$, $x_2 = \dot{x}_1$, $x_3 = \theta_x$, $x_4 = \dot{x}_3$, $x_5 = y$, and $x_6 = \dot{x}_5$ ，因此，(3)-(5)式可以寫為

$$\dot{x}_n = f(\mathbf{x}, t) + b(\mathbf{x}, t)U(t), \quad n=1, \dots, 6 \quad (6)$$

其中 $\mathbf{x} = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6]^T \in R^6$ 為系統狀態向量分別表示吊車位置、吊車速度，與 X、Y 軸的搖擺角度與速度， $f(\mathbf{x}, t)$ 與 $b(\mathbf{x}, t)$ 為對應的非線性時變函數， $U = [f_x, f_y]^T$ 則為系統推力，故(6)式可為系統的動態表示式。

由此動態模型中可知吊掛負載的擺盪動態並不會受到吊掛質量 m 其值大小的影響，但將會分別受到天車於 X 軸方向加速度之耦合，且由(4)式可知並沒有可以控制之驅動力能夠直接針對擺盪角度進行控制。由此觀察即可得知吊車系統為一存在有限可致動維度，但是必須控制多個輸出狀態的欠致動系統(Underactuated System)。

因此，吊車系統控制其內涵即在於高度複雜非線性動態的作用下進行吊車趨動馬達以及吊掛負載捲揚馬達驅動力的設計，使得吊車能夠達到定位以及抑制吊掛繩索擺盪的控制。

二、控制器設計

本計畫所提出的控制方法方塊圖如圖 2。因為負載的垂直運動不會導致額外的負載擺動，所以本計畫利用基本的 PID 控制器控制吊掛物負載的上升或下降，沿著吊車 X 軸軌道的力則是使用平行式的類神經方法。此方法是利用滑動模式控制(Sliding mode control, SMC)概念來設計的自我調整演算法，使之適用於系統參數的調整。在圖 2，假設吊車離目標的剩餘距離為 $E = [e_x, e_y]$ ， $e_x = r_x - x$ ， $e_y = r_{\theta_x} - \theta_x = 0 - \theta_x = e_{\theta_x}$ 和 $e_l = r_l - l$ ，其中 x_d 為目標位置。 f_y 是 PID 控制器控制負載的上升或下降之輸出力，則

$$f_y = \left(k_{py} + \frac{k_{iy}}{s} + k_{dy} \cdot s \right) e_l \quad (7)$$

k_{py} ， k_{iy} 和 k_{dy} 為 PID 控制器的常數，並依使用的安全限制：

$$|\theta_x| < 10^\circ \quad (8)$$

來設計，而 θ_x 代表有效負載沿 XY 平面的擺角如圖 1。

此外，利用 SMC 的概念，設計兩個平行的類神經網路在吊車系統做等效控制 (equivalent control) 與校正控制 (correction control)。

建議的控制方法是利用剩餘的距離向量和擺角當作輸入變數。因此在 n 階動態系統，

$$\dot{x}^{(n)} = F(X) + BU \quad (9)$$

x 代表狀態， $F(X)$ 是系統矩陣和 B 是輸入增益矩陣， U 是控制訊號，設定 $e = x - r_x = -e_x$ ，因此，我們可以定義滑動平面為 s ，所以可得

$$s = \left(\frac{d}{dt} + \lambda\right)^{(n-1)} e \quad (10)$$

和
$$s = e^{(n-1)} + a_1 e^{(n-2)} + \dots + a_{n-1} e = 0 \quad (11)$$

其中 $\frac{d}{dt}$ 乃為 e 對時間微分之縮寫；藉由選取適當的 $a_i, (i=1, \dots, n)$ ，我們可以發現(10)式的根將落在左半平面，故得知所設計系統的穩定性，而所選定的 Lyapunov 方程式為：

$$v = \frac{1}{2} s^2 > 0, \quad \dot{v} = s\dot{s}$$

並滿足
$$s\dot{s} < -\eta|s| \quad (12)$$

在此 η 是進場速度 (approaching speed) 的參數；越大的 η ，會在 SMC 中產生越大的進場速度。經過了微分方程(11)式的運算後，我們可以藉由(12)式求得下列式子：

$$s(e^{(n)} + a_1 e^{(n-1)} + \dots + a_{n-1} \dot{e}) < -\eta|s| \quad (13)$$

$$s(x^{(n)} a_1 e^{(n-1)} + \dots + a_{n-1} \dot{e}) = s(F(X) + BU + a_1 e^{(n-1)} + \dots + a_{n-1} \dot{e}) < -\eta|s|$$

在此

$$U = \frac{1}{B} \left(-F(X) - a_1 e^{(n-1)} - \dots - a_{n-1} \dot{e} - \eta * \text{sign}(s) \right) \quad (14)$$

而 $\text{sign}(s)$ 是切換方程式。根據 SMC 定理， U 是由等效控制與校正控制所組成

$$U = U_{eq} + U_c; \quad (15)$$

所以可設定：

$$U_{eq} = \frac{1}{B} \left(-F(X) - a_1 e^{(n-1)} - \dots - a_{n-1} \dot{e} \right) \quad (16)$$

$$U_c = \frac{1}{B} \left(-\eta * \text{sign}(s) \right) \square -k * \text{sign}(s). \quad (17)$$

而(17)示中的 \square 乃為數學上所用來**定義**之符號。(12)式中的 $\text{sign}(s)$ 會導致顫震效應 (chattering effect)；因此，本計畫採用平移雙彎曲函數 (shifted sigmoid function) 來避免顫震效應：

$$h(s) = \frac{2}{1 + e^{-s}} - 1. \quad (18)$$

故依此調整了修正控制項

$$U_c = -k * h(s). \quad (19)$$

在圖2的控制方塊圖中，我們利用NN1（類神經網路1）來估算 \hat{U}_{eq} ，NN2（類神經網路2）來估算 U_c 。系統的控制流程則如圖3所示。圖4則表示了NN1的系統架構，在圖4中，系統的輸入向量包含有 $x, \dot{x}, \theta_x, \dot{\theta}_x, r_x, \dot{r}_x, r_{\theta_x}, \dot{r}_{\theta_x}$ ，其中 $x, \dot{x}, \theta_x, \dot{\theta}_x$ 分別表示X方向的目前位置、

速度、搖擺角度、角速度，而 $r_x, \dot{r}_x, r_{\theta_x}, \dot{r}_{\theta_x}$ 則表示目標位置、目標速度、目標搖擺角度、目標角速度等。因此，在輸入層（input layer）將有8個輸入訊號，在此表示為 Z_i ，(i=1,...,8)。此外，我們在NN1的隱藏層(hidden layer)使用了16個神經元(neuron)，並在輸出層(output layer)有1個神經元。由於採用類神經倒傳遞演算(back propagation)方法，我們可更新NN1的權重。假設在 i^{th} 輸入神經元與 j^{th} 隱藏神經元之間的權重為 $W_{z_j,i}$ ，隱藏神經元 j^{th} 與輸出神經元之間的權重是 W_{y_j} 。此外，定義 Y_{net_j} 和 Y_{out_j} 是隱藏神經元 j^{th} 的輸入及輸出，和神經元的輸入及輸出分別為 U_{net} 和 U_{out} ，並利用(18)式當作NN1的激發函數。圖4中 U_{max} 是一個常數限制吊車系統的輸入信號範圍，則可得到：

$$Y_{net_j} = \sum_{i=1}^8 W_{z_j,i} Z_i, \quad j=1, \dots, 16, \quad Y_{out_j} = h(Y_{net_j}) \quad (20)$$

$$U_{net} = \sum_{j=1}^{16} W_{y_j} Y_{out_j}, \quad \hat{U}_{eq} = U_{max} h(U_{net}) \quad (21)$$

$$J_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{U_{eq} - \hat{U}_{eq}}{U_{max}} \right)^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{U_c}{U_{max}} \right) \quad (22)$$

這裡 J_1 是性能指標,和 \hat{U}_{eq} 是估測等效控制。故最陡下降法的權重值 ΔW_{y_j} 修正項為

$$\Delta W_{y_j} = -\mu \frac{\partial J_1}{\partial W_{y_j}} = -\mu \frac{\partial J_1}{\partial U_{net}} \frac{\partial U_{net}}{\partial W_{y_j}} = -\mu \delta_y Y_{out_j}, \quad j=1, \dots, 16 \quad (23)$$

$$\delta_y = \frac{\partial J_1}{\partial \hat{U}_{eq}} \frac{\partial U_{eq}}{\partial U_{net}} = -\frac{U_{eq} - \hat{U}_{eq}}{U_{max}} \frac{\partial h(U_{net})}{\partial U_{net}} = -\frac{U_c}{U_{max}} \frac{\partial h(U_{net})}{\partial U_{net}} \quad (24)$$

$$\frac{\partial h(U_{net})}{\partial U_{net}} = \frac{1}{2} (1 - h^2(U_{net})) \quad (25)$$

μ 是學習率而 δ_y 則是輸出層的敏感度，因此，隱藏層的修正項 ΔW_{y_j}

為：

$$\Delta W_{z_{j,i}} = -\mu \frac{\partial J_1}{\partial Y_{net_j}} \frac{\partial Y_{net_j}}{\partial W_{z_{j,i}}} = -\mu \delta_{z_j} Z_i, \quad i=1, \dots, 8; \quad j=1, \dots, 16 \quad (26)$$

$$\delta_{z_j} = \frac{\partial J_1}{\partial Y_{net_j}} = \frac{1}{2} (1 - Y_{net_j}^2) (\delta_y W_{y_j}) \quad (27)$$

δ_{z_j} 是隱藏層的敏感函數，因此，我們必須可得適應性演算法如下：

$$W_{z_{j,i}} \square W_{z_{j,i}} + \Delta W_{z_{j,i}}; \quad W_{y_j} \square W_{y_j} + \Delta W_{y_j} \quad (28)$$

圖5顯示NN2的結構。NN2的輸入信號包含 e_x \dot{e}_x e_{θ_x} 及 \dot{e}_{θ_x} 。此外還有一個隱藏神經元和輸出神經元。 i^{th} 輸入神經元與隱藏神經元之間的權重值 $G_{1,i}$ 。我們設定 J_2 為性能指標。

$$J_2 = \frac{1}{2} (s^T s + U_c^T U_c) \quad (29)$$

令NN2的權重適應的修正項 ΔG 和學習率 γ ，我們有

$$\Delta G = -\gamma \frac{\partial J_2}{\partial G} = -\gamma \frac{\partial J_2}{\partial s} \frac{\partial s}{\partial G} - \gamma \frac{\partial J_2}{\partial U_c} \frac{\partial U_c}{\partial G} \quad (30)$$

和
$$\frac{\partial J_2}{\partial s} = s, \quad \frac{\partial J_2}{\partial U_c} = U_c$$

由(11)式和(19)式，我們有 $\frac{\partial U_c}{\partial G} = -h(s)$ 和

$$s = e^{(n-1)} + a_1 e^{(n-2)} + \dots + a_{n-1} e = 0$$

藉由設定 $m = a_1 e^{(n-2)} + \dots + a_{n-1} e$ (31)

然後我們有

$$\begin{aligned} s &= m + \int e^{(n)} dt = m + \int x^{(n)} dt \\ &= m + \int (F(X) + BU) dt = m + \int (F(X) + B(U_{eq} + U_c)) dt \end{aligned} \quad (32)$$

其中

$$U_c = -Kh(s); \quad \frac{\partial s}{\partial G} = -B \int h(s) dt \quad (33)$$

$$\Delta G = r_1 s \int h(s) dt + r_2 U_c h(s) \quad (34)$$

因此我們可以得到

$$\Delta G_{j,i} = -\gamma \frac{\partial J_2}{\partial G_{j,i}} = -\gamma \frac{\partial J_2}{\partial s} \frac{\partial s}{\partial G_{j,i}} - \gamma \frac{\partial J_2}{\partial U_c} \frac{\partial U_c}{\partial G_{j,i}} \quad (35)$$

和 $\frac{\partial J_2}{\partial s} = S; \quad \frac{\partial J_2}{\partial U_c} = U_c$

$$\frac{\partial s}{\partial G_{j,i}} = E_i; \quad \frac{\partial U_c}{\partial G_{j,i}} = \frac{\partial U_c}{\partial h(s)} \frac{\partial h(s)}{\partial s} \frac{\partial s}{\partial G_{j,i}} = \frac{1}{2} KE_i (1 - h^2(s)) \quad (36)$$

其中 E_i , $i=1, \dots, 4$ 代表分別 $e_x, \dot{e}_x, e_{\theta_x}, \dot{e}_{\theta_x}$ 。

經由上述設計方法，可以利用遙控吊運的方式將吊車精確地移動至欲拆除之核能組件位置，以利各項拆除工作的進行。這個方法不但可以精確地定位，同時相關的定位及搖晃實驗也會進行，以驗證所提方法的可行性。

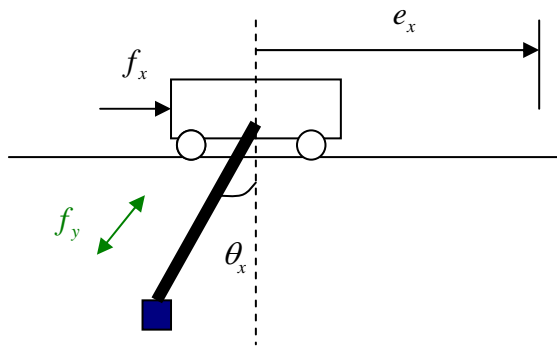


圖 1: 2-D 吊車運動模型

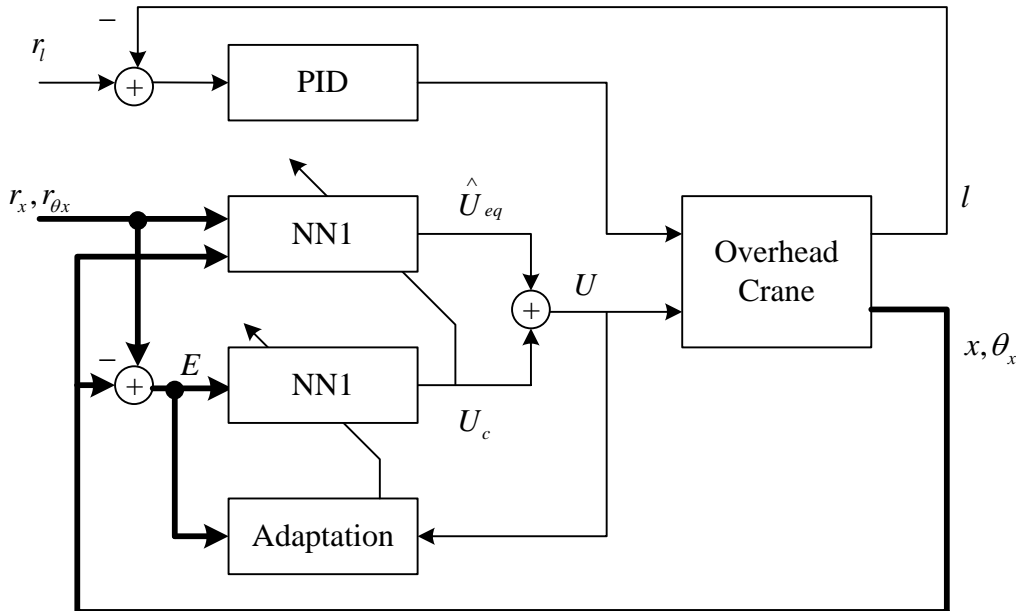


圖 2: 控制方塊圖

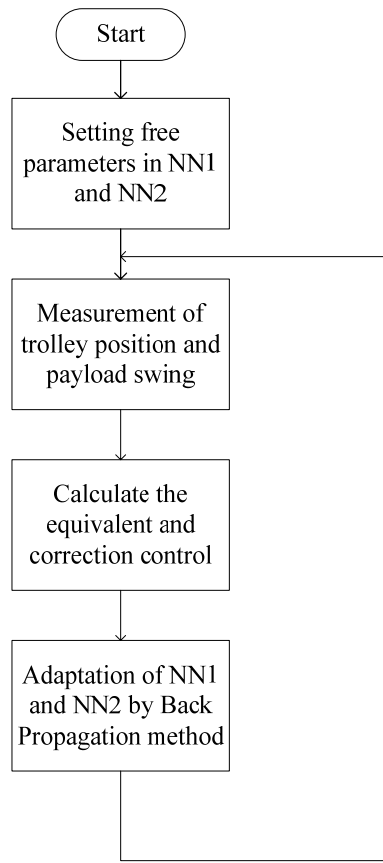


圖 3: 控制流程圖

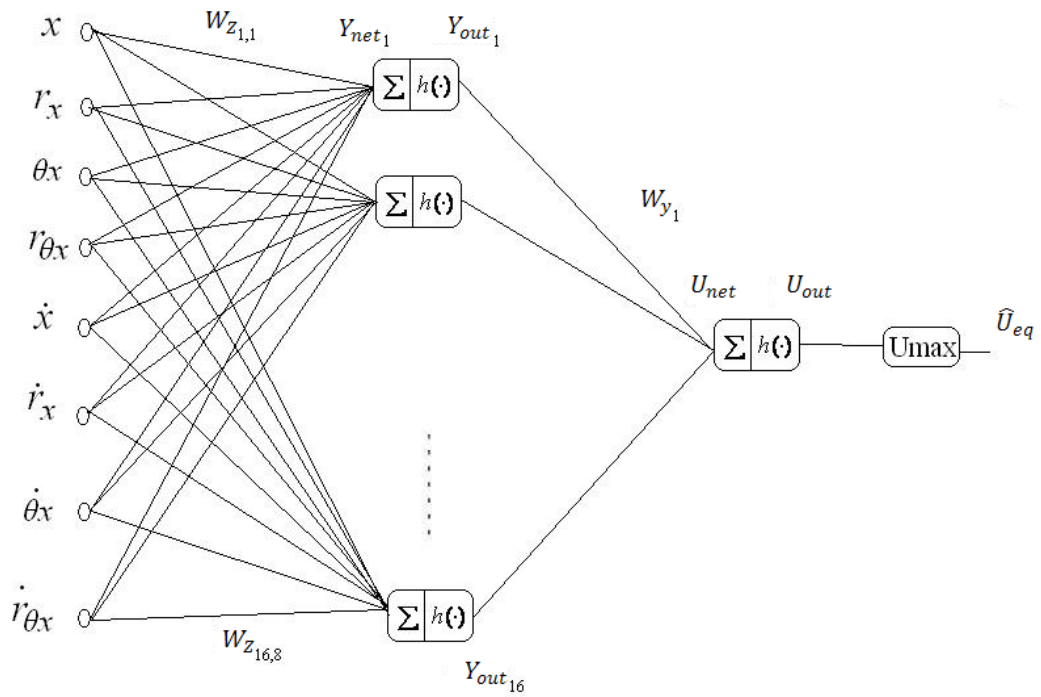


圖 4: NN1 架構圖

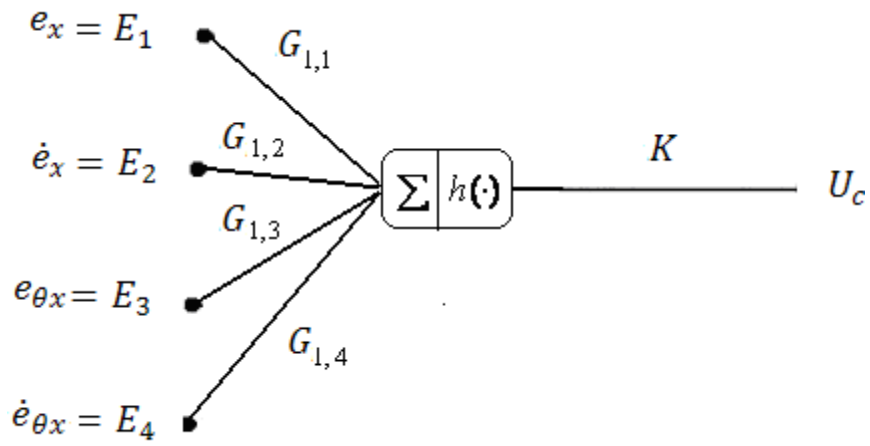


圖 5: NN2 架構圖

參、主要發現與結論

一、實驗結果

實驗的設計是要將吊車移動 1.9m，同時吊掛物在 0 到 10 秒間被由 1m 拉升到 0.3m，然後 10 到 20 秒間由 0.3 下降到 1m 間。我們使用 PID 控制器來操控吊掛物的下降和上升。此外，NN1 的初始權重值由亂數設置為 -0.1 到 0.1 之間，NN2 的初始權重值則設定為 $G = [G_{1,1} \ G_{1,2} \ G_{1,3} \ G_{1,4}] = [4 \ 3 \ 4 \ 3]$ 。兩個平行類神經網路的相關參數，則為 $\mu = 0.01$ 、 $\gamma = 0.1$ 、 $K = 15$ 。

圖 6 顯示此控制方式所獲得的結果，我們可以發現表現相當不錯。吊車到達目的地約時 8 秒鐘，並幾乎準確停止在目標上，不需要額外的利用馬達去驅動吊車前進和後退來停止裝運裝置，在圖 7 則顯示吊載物的擺動角度，由圖上也可見本計畫提出方法的性能，整個系統運輸過程中最大的擺動只有 6 度，擺動也可以很快的被抑制。經過 10 秒後的運輸過程後，擺動的角度即可降到幾乎為零。

圖 8 則描述此方法在追蹤控制上的效果，對於我們規劃的路徑---拉升和下降鋼索以虛線繪製，而實際的控制設計軌跡則以實線繪製；我們可以發現本系統提出的控制方法，幾乎可以使吊車以完全相符的方式運行在所設定的軌跡上，同時，操作拉升或下降吊掛物時也不會帶來額外的晃動。

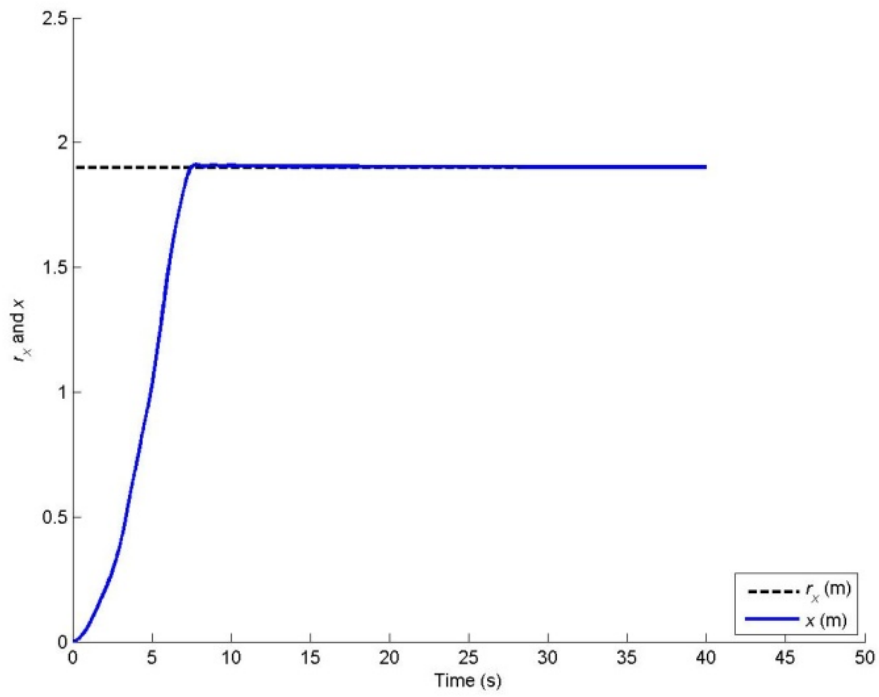


圖 6: 吊車位置圖

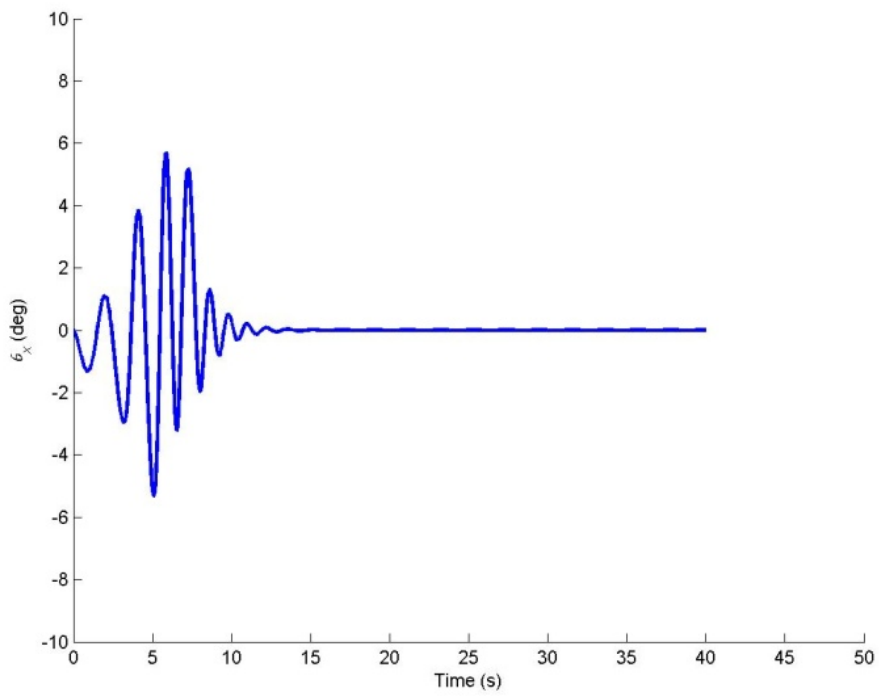


圖 7: 搖擺角度圖

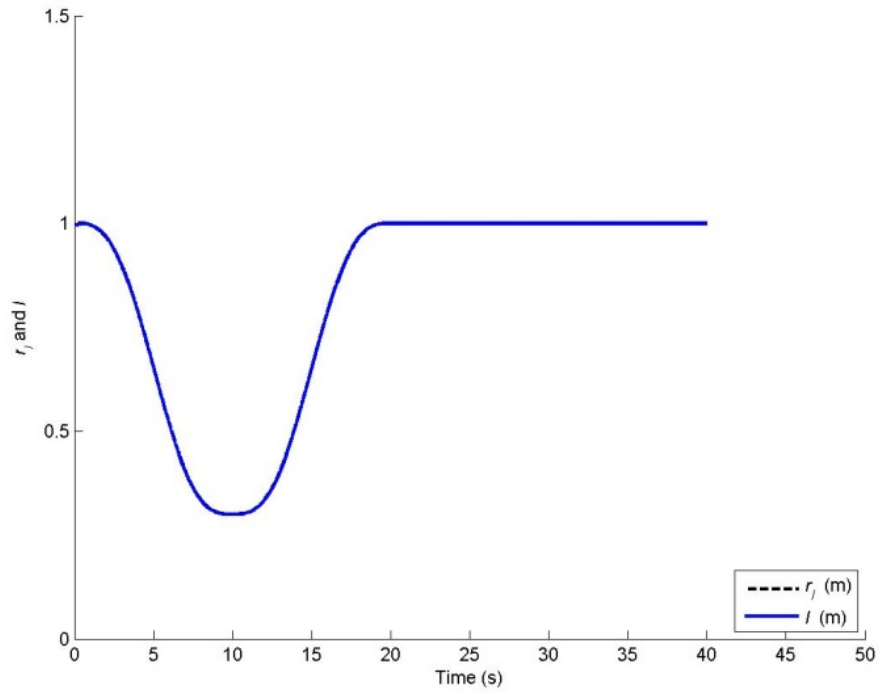


圖 8: 鋼索長度變化圖(虛線:設定值, 實線:實際值)

二、有關貴所馬達控制方式與系統匹配需求之相關建議

一般工業用馬達的分類可依輸入電源不同而分類為直流馬達、交流馬達與步進馬達三大類；若依構造分類則可區分為同步馬達、感應馬達、伺服馬達等幾種。其中，伺服馬達採用閉迴路控制，有著較好的控制精度，可分類為直流伺服、交流伺服、交流感應伺服等。一般感應馬達屬於送電即可運轉的交流馬達，而本實驗室使用的吊車馬達為直流伺服馬達，但也有些研究採用交流伺服馬達來進行吊車控制。

伺服馬達伺服驅動器之控制設計主要在於控制工程技術的掌握，這其中包含了控制理論的應用、微電腦為基礎的軟硬體設計、以及軟體控制技術。控制設計上主要的考慮因素包括穩定度、頻寬、伺服剛度、強韌度等。現今的工業伺服驅動器多採用以微電腦為基礎的數位控制方式，控制的方式則是藉由編碼器讀取轉速等相關資訊傳送數位脈衝信號給馬達驅動控制電路計算後，再傳給受控馬達。因此以數位控制理論為基礎的微電腦軟體控制技術在設計伺服驅動器時也扮演著關鍵的角色。

感應馬達主要應用於定速及多段變速，傳統控制方式是用調頻(變頻器)採開迴路方式或利用控制精度較高(閉迴路)的方法，包含"滑差控制"與"磁場向量控制"等方式來控制。有許多學術論文也針對感應馬達為受控體，設計控制器增加控制精度。傳統產業控制此型

馬達的方法大都以可程式控制器(Programmable logic control, PLC)配合軟體程式去做控制器的設計；也有以 PC 當主控連接各個 PLC 控制器並用的例子，並根據所需的功能(規格)及操作的方式(硬體介面)，選擇(設計)適當的 PLC 控制方法。

另外，如要套用智慧行控制方法也可以利用 PC-BASED 控制器當基底，配合控制介面卡(例如 TI-TMS320F2812 或 NI 馬達控制卡)及相關 DSP 軟體(如 Matlab/Simulink DSP toolbox)去操作吊車實驗，藉由 DSP 與 PC 間通訊連結，將在 PC 計算的負荷透過數位控制板週邊對吊車馬達執行即時控制，也可達到相當的控制性能。

三、結論

核設施的除役工作由於部分組件具有較高輻射，需要利用遙控吊運的方式來輔助核設施拆除工作，以維護人員安全。因此，本計畫探討一個智慧型控制方法，以遙控的方式操作吊車，使之可以精確地移動至所設定位置，同時在吊車移動的過程中可以兼具抑制所吊掛物品搖擺的功能；相關實驗也證明所提方法的可行性與有效性，本計畫所獲得成果將可以用來遙控操作吊車，有利於日後核能機組拆除之進行。

肆、參考文獻

1. Makio Suzuki, and Kazuhiko Terashima, "Semi-automatic control of overhead crane using potential method," IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 5, pp. 3224-3229, 2000.
2. Y. Fang, W. E. Dixon, D. M. Dawson, and E. Zergeroglu, "Nonlinear coupling control laws for an underactuated overhead crane system," IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 8, no. 3, September 2003.
3. Y. Fang, W. E. Dixon, D. M. Dawson, and E. Zergeroglu, "Nonlinear coupling control laws for a 3-DOF overhead crane system," Proceedings of the 40th IEEE Conference on Decision and Control, vol. 4, pp. 3766-3771, December 2001.
4. H. H. Lee, and S. K. Cho, "A new fuzzy-logic anti-swing control for industrial three-dimensional overhead cranes," IEEE International Conference on Robotics and Automation, vol. 3, pp. 2956-2961, 2001.
5. Chunshien Li, and Chun-Yi Lee, "Fuzzy motion control of an auto-warehousing crane system," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 48, no. 5, pp. 983-994, October 2001.

6. Y. C. Liang, and K. K. Koh, "Concise anti-swing approach for fuzzy crane control," IEE, Electronics Letters, vol. 3, no. 2, pp. 167-168, January 1997.
7. S. T. Lin, and A. K. Huang, "Hierarchical fuzzy force control for industrial robot," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 45, no. 4, pp. 646-653, August 1998.
8. K. Yoshida and H. Kawabe, "A design of saturating control with a guaranteed cost and its application to the crane control," IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 37, no. 1, pp. 121-127, January 1992.
9. K. A. F. Moustafa, and A. M. Ebeid, "Nonlinear modeling and control of an overhead crane load sway," ASME Transactions Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, vol. 110, pp. 266-271, 1988.
10. 3DCrane: Installation and Commissioning Version 1.3, Inteco, Krakow, Poland, 2002. <http://www.3DCrane.com>
11. K. Hirata, Y. Kimura, and K. Sugimoto, "Visual feedback control of cart-pendulum systems with webcam," Proc. of Intl. Conf. Mechatronics, pp.1-6. May 2007.
12. D. Xu; L. W. Han; M. Tan; Y. F. Li, "Ceiling-based visual

- positioning for an indoor mobile robot with monocular vision ,”
IEEE Trans. Industrial Electronics, vol. 56 , no. 5, pp. 1617-1628,
May 2009.
13. C. Wook, M. Akbarian, V. Rubtsov, C. J. Kim, “Microhand with
internal visual system ,” IEEE Trans. Industrial Electronics, vol. 56 ,
no. 4, pp. 1005-1011, Apr. 2009.
 14. W. F. Xie, Z. Li, X. W. Tu, C. Perron, “Switching control of
image-based visual servoing with laser pointer in robotic
manufacturing systems,” IEEE Trans. Industrial Electronics, vol.
56 , no. 2, pp. 520-529, Feb. 2009.
 15. H. Y. Chen, Y. F. Li, “Vision-servo system for automated cell
injection,” IEEE Trans. Industrial Electronics, vol. 56 , no. 8, pp.
2992-2997, Aug. 2009.
 16. Y. H. Hu, W. Zhao, L. Wang, “Vision-based target tracking and
collision avoidance for two autonomous bbotic fish,” IEEE Trans.
Industrial Electronics, vol. 56, no. 5, pp. 1401-1410, 2009.
 17. Y. Zhang, K. K. Tan, S. Huang, “Vision-servo system for automated
cell injection,” IEEE Trans. Industrial Electronics, vol. 56, no. 1,
pp. 231-238, Jan. 2009.
 18. H. Kawai, Y. Choi, Y. B. Kim and Y. Kubota, “Measurement system

- design for sway motion based on image sensor,” Proceedings of the 2009 IEEE Intl. Conf. Networking, Sensing and Control, pp.185-188, Mar. 2009.
19. H. Osumi, A. Miura and S. Eiraku, “Positioning of wire suspension system using CCD cameras,” Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots and Systems, pp.258-263, Aug. 2005.
 20. D. Miyamoto, S. Nara and S. Takahashi, “Visual feedback control with laser for the position detection of crane hook,” SICE-ICASE Intl. Joint Conf., pp. 2079-2083, Oct. 2006.
 21. T. Matsuo, R. Yoshino, H. Suemitsu and K. Nakano, “Nominal performance recovery by PID+Q controller and its application to antisway control of crane lifter with visual feedback,” IEEE Trans. Control System Technology, vol. 12, no. 1, pp. 156-166, Jan 2004.
 22. Y. Yoshida and K. Tsuzuki, “Visual tracking and control of a moving overhead crane load,” IEEE the 9th Int’l Workshop on Advanced Motion Control, pp. 630-635, 2006.
 23. H. H. Lee, “Modeling and control of a three-dimensional overhead cranes,” ASME Journal of dynamic Systems, Measurement, and Control, vol. 120, no. 4, pp. 471-476, Dec. 1998.
 24. C. Y. Chang, “Adaptive fuzzy controller of the overhead cranes with

- nonlinear disturbance,” *IEEE Trans. Industrial Informatics*, vol. 3, no. 2, pp. 164-173, May 2007.
25. C. Li and C. Y. Lee, “Fuzzy motion control of an auto-warehousing crane system,” *IEEE Trans. Industrial Electronics*, vol. 48, no. 5, pp. 983-994, Oct. 2001.
 26. C. Y. Chang, K. H. Chiang “Fuzzy projection control law and its application to the overhead crane”, *Mechatronics*, vol. 18, no. 10, pp. 607-615, Dec. 2008.
 27. Y. J. Chen, W. J. Wang, C. L. Chang, “Guaranteed cost control for an overhead crane with practical constraints: fuzzy descriptor system approach,” *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 22, no. 4-5, pp.639-645, June 2009.
 28. D. Liu, J. Yi, D. Zhao, and W. Wang, “Adaptive sliding mode fuzzy control for a two-dimensional overhead crane,” *Mechatronics*, vol. 15, no. 5, pp. 505-522, Jun. 2005.
 29. C. Y. Chang, K. C. Hsu, and K. H. Chiang “Anti-sway and motion planning control of overhead cranes,” *Intl. Journal of Innovative Computing, Information and Control*, vol. 6, no. 7, pp. 3313-3328, Jul. 2010.
 30. M. S. Park, D. Chwa, and S. K. Hong, “Antisway tracking control

- of overhead cranes with system uncertainty and actuator nonlinearity using an adaptive fuzzy sliding-mode control,” *IEEE Trans. Industrial Electronics*, vol. 55 , no. 11, pp. 3972-3984, Nov. 2008.
31. K. K. Shyu, C. L. Jen, L. J. Shang, “Sliding-mode control for an underactuated overhead crane system,” *Proceedings of the 2006 IEEE IECON*, Paris, France, 2006.
32. A. Arsenio, J. Santos-Victor, “Robust visual tracking by an active observer,” *Proc. of the IEEE Intl. Conf. Intelligent Robots and Systems*, vol. 3, pp.1342-1347, Sept. 1997.
33. J. Ning, L. Zhang, D. Zhang and C. Wu, “Interactive image segmentation by maximal similarity based region merging,” *Pattern Recognition*, vol. 43, pp. 445-456, Feb. 2010.
34. H. H. Lee, “Motion planning for three-dimensional overhead cranes with high-speed load hoisting,” *International Journal of Control*, vol. 78, no. 12, pp. 875-886, Aug. 2005.
35. 鄒應嶼，電動機控制簡介
<http://pemclab.cn.nctu.edu.tw/pelib/%E6%8A%80%E8%A1%93%E5%A0%B1%E5%91%8A/TR-001.%E9%9B%BB%E5%8B%95%E6%A9%9F%E6%8E%A7%E5%88%B6%E7%B0%A1%E4%BB%8B/html/index.htm>