

# 行政院國家科學委員會專題研究計劃成果報告

## 移動式起重機過負荷預防系統智慧型控制器研究(2/2)

計劃編號：NSC 88-2213-E-032-026

執行期限:89年8月1日至90年7月31日

主持人:楊智旭副教授 淡江大學機械系

地址：台北縣淡水鎮(251)英專路 151 號

Email:jrsyu@tedns.te.tku.edu.tw

Tel:(02)26215656-2760

**摘要：**過負荷預防裝置是為防止起重機承受之負荷超過額定荷重，發生起重機破壞或翻覆的情形，而本研究的方法主要藉由各種感測裝置檢測各自由度物理量，再經由演算器進行計算，判斷及控制。首先利用類神經控制法則，來解決三自由度耦合問題，設計一個類神經控制器，來針對移動式起重機的過負荷預防裝置做一個最佳化的控制設計。並且利用數值分析模擬，以 Matlab 軟體來進行分析，求得結果並討論。

**關鍵詞：**類神經控制、耦合

### 1. 前言

在產業機械中，移動式起重機已被列為危險性機械，因此在操作時需非常謹慎，所以其安全預警裝置及預防控制器就更為重要了，本研究的重點就是利用類神經控制法則，來解決三自由度耦合問題，針對移動式起重機的過負荷預防裝置做一個最佳化的控制設計，並配合油壓比例閥對起重機油量的調節，當作業即將發生危險時適當的選擇對三個操作變數(L:伸臂長度， $\theta$ :伸臂仰俯角度， $\phi$ :水平旋轉角)進行其操作速度上的自動調整，避免過負荷意外發生。

### 2. 起重機之簡介

假設起重機傾覆方向為八個區域(圖1)，因發生危險的情況以靠近車頭方向較多，所以上半部所劃分的區域較細，以方便類神經在訓練時的精確性。接著將右半部劃分為4區域，第一區域為水平旋轉角 $0\sim 30$ 度，第二區域為水平旋轉角 $30\sim 60$ 度，第三區域為水平旋轉角 $60\sim 90$ 度，第四區域為水平旋轉角 $270\sim 360$ 度。因左右對稱所以左半部也有4個區域，

W：荷物重

$\theta$ ：仰俯角(0度~51度)

L：伸臂長(0cm~104cm)

$\phi$ ：水平旋轉角(水平旋轉角範圍為0度~360度)

x：車輪連線形成長方形的長邊對稱軸

y：車輪連線形成長方形的寬邊對稱軸

a：車重心到x軸的距離

b：伸臂旋轉軸到x軸的距離

c：支撐架到x軸的距離

f1：右側支撐架伸出之長度

f2：左側支撐架伸出之長度

e：前輪到後輪的距離之半

f：兩前輪或兩後輪的距離之半

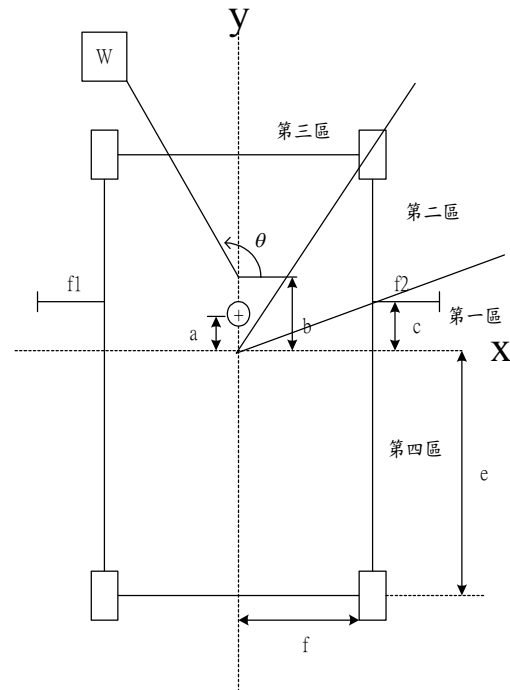


圖 1. 移動式起重機之區域分佈圖



圖 2.實驗機台

### 3. 危險因子分析

在實際的操作下，仰俯角 ( $\theta$ )、伸臂長 ( $L$ )、水平旋轉角 ( $\phi$ ) 及荷重 ( $W$ ) 為變數，而荷重在每一次搬運時又可視為定值 (constant)，此外，X、Y 軸的傾斜角，及各邊的支撐架在每次起重機操作時亦少變動，可視為系統中的參數 (parameters)，所以分析時即針對仰俯角 ( $\theta$ )，伸臂長 ( $L$ )，水平旋轉角 ( $\phi$ ) 三自由度之間變量的關係，作數值分析探討，本研究主要針對圖 2 之實驗機台之參數關係進行探討，從圖 3 可知伸臂長分析結果，水平旋轉角 0 度時，此時伸臂長度影響危險程度的成分很大 (“+”號越多代表越危險)，因此此次之數值模擬水平旋轉角角度我們就取此點  $\phi$  等於 0 度來進行分析 (因為危險程度較大)。從圖 4 可知仰俯角對伸臂長分析 ( $\theta$  vs  $L$ ) 結果，當 “ $\Delta$ ” 符號越多則越危險，如  $\theta$  等於 0 度時且長度伸到最長，可能發生比較危險之情形。從圖 5 可知旋轉角對仰俯角分析，當水平旋轉角位於 0 度與 180 度時較為危險，“\*” 號越多表示越危險 (危險因子大於或等於 0.85)。圖 6 為長度、仰角及荷重的綜合分析結果，其中長度為 X 軸，仰角為 Y 軸，荷重為 Z 軸，由仰角以及長度相對應時，所能承受的最大荷重值，所繪製成。危險度針對伸臂長、仰俯角的三維曲面圖，分析結果參(圖 6)。在圖 6 中圖形所表現的高度，為伸臂長度與仰俯角所造成的危險程度，圖形越高，代表危險的程度愈大，越容易造成起重機的傾覆[8]。

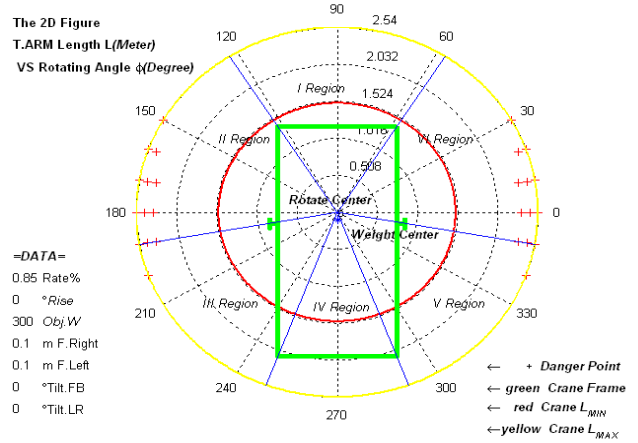


圖 3.水平旋轉角對伸臂長分析 ( $\phi$  vs  $L$ )

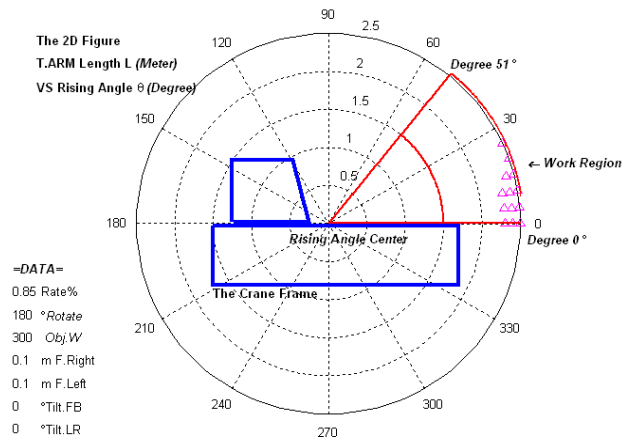


圖 4.仰俯角對伸臂長分析 ( $\theta$  vs  $L$ )

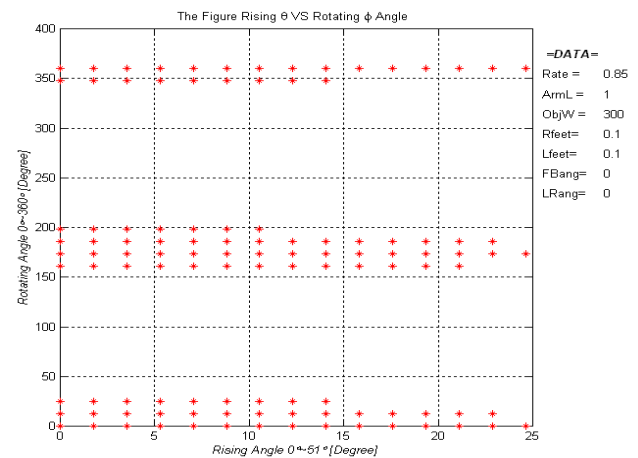


圖 5. 旋轉角對仰俯角分析 ( $\phi$  vs.  $\theta$ )



圖 6.長度、仰俯角及荷重的綜合分析

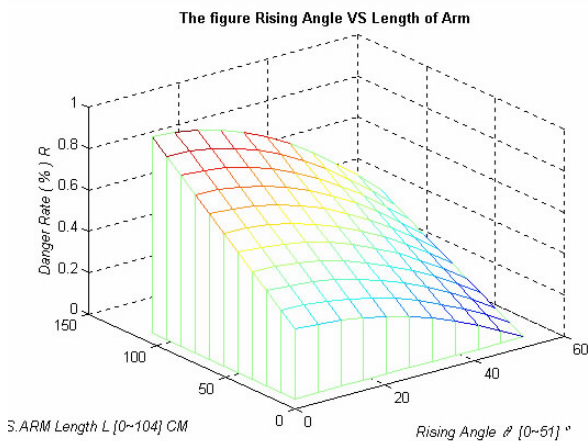


圖 7.仰俯角與伸臂長針對危險因子示意圖

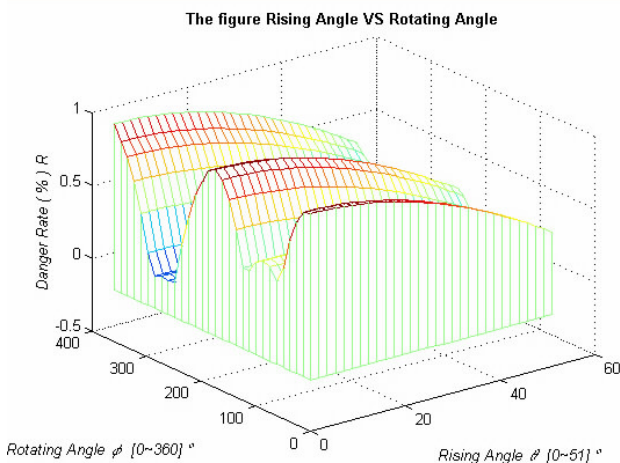


圖 8.水平旋轉角與仰俯角針對危險程度示意圖

最後根據分析伸臂長度 ( $L$ )、仰俯角 ( $\theta$ )、水平旋轉角 ( $\phi$ )，所造成的危險因子，並依此為依據來設計類神經控制器，此外也配合實際操作所得的資料分析，以期設計法則更為合理。在圖 7 為以仰俯角為 X 軸，伸臂長度為 Y 軸，危險程度為 Z 軸，所構成的 3-D 曲面圖，當曲面的高度越高時就是越危險的時候，其中危險程度的構成是因為仰俯角以及伸臂長度的耦合交互作用所形成的。圖 8 為以仰俯角為 X 軸，水平旋轉角為 Y 軸，危險程度為 Z 軸，X、Y 軸相互間因耦合作用所構成的危險程度。

#### 4. 類神經控制器

此類神經控制器的架構視為多輸入多輸出 (MIMO) 型，它是將所有擷取到的變數輸入訓練出來的類神經控制器。

##### 4.1 類神經控制器設計理論

此類神經控制器的理論基礎為倒傳遞網路，在輸入訓練方面參考了起重機在一定負載時，其所能達到的最大工作範圍，並且配合實機的實驗來抓取資料點，訓練出一個可行的類神經控制器，期能達到解決兩自由度間的耦合問題。因為在起重機操做過程中，欲使速度達至最大但是又要考慮安全的情況，並且如果操作範圍過大，有可能導致翻覆，因此在伸臂長度 ( $L$ )、仰俯角 ( $\theta$ ) 與水平旋轉角 ( $\phi$ ) 的考量必須都兼顧，此三者的考量 ( $L$ 、 $\theta$ ) 即是所謂的耦合問題。至於控制方面它是直接將三變數 ( $L$ 、 $\theta$ 、 $\phi$ ) 及參數輸入於控制系統，再直接經由一個類神經控制器作為起重機操作三變數 ( $L$ 、 $\theta$ 、 $\phi$ ) 的控制，方塊示意圖如圖 9 所示。

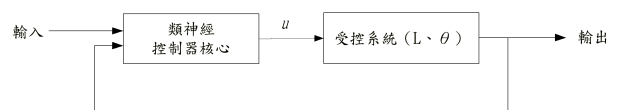


圖 9.類神經控制器細部架構示意圖

類神經控制器的控制行為是利用輸入變數 ( $L$ 、 $\theta$ 、 $\phi$ )，經過類神經控制器，判斷出是何種變數 ( $L$ 、 $\theta$ 、 $\phi$ ) 影響其危險程度，進而改變其速度增益，來達到控制效果，以期達到解決耦合性之問題。

在過去的控制方法中將各維度變數給予相同的遞減工作速度，甚至於同時切斷動力源的方法，並無法有效解決實際在過負荷預防的問題。如果假設長度變數 ( $L$ )、仰俯角變數 ( $\theta$ )、水平旋轉角 ( $\phi$ ) 都各具獨立性，且在三維度的操作情況下，使安全性的提高並且不縮小工作裕度，實在是造成難以取舍的矛盾現象。而本控制器的功能，即可以隨危險程度的遞增情況下能將速度漸漸減緩外，也能使變數伸臂長 ( $L$ )、仰俯角 ( $\theta$ )、水平旋轉角 ( $\phi$ ) 有不同的增減曲線，而非一味的減低速度。同時也能克服隨危險度增加而  $L$ 、 $\theta$ 、 $\phi$  速度漸減，因為在傳統電磁閥的限制，及過去以開關切斷 (Switch on / off) 電源的作法，往往造成運作中的機構突然停止作動，致使機構的損耗及人

員的危險。

#### 4.2. 實驗設計：

本實驗之設計，先假設長度輸入(圖 10)與仰俯角輸入(圖 11)，並且將旋轉角度固定於 0 度，根據這些參數的排列組合來進行模擬。

#### 4.3. 模擬過程：

以 Matlab 之 Simulink 對整體系統作綜合的數值模擬，輸入訊號以模擬實際油壓比例閥之速度輸出情況，參數設定有荷重 (W)、支撐架 ( $f_1, f_2$ )，變數有伸臂長度 (L)、仰俯角 ( $\theta$ )、水平旋轉角度此項固定在 0 度，長度範圍 [0 104] cm，仰角為 [0 51] degree，而各項參數設定荷重 (W=300kgw)，左右支撐架 ( $f_1=10\text{cm}, f_2=10\text{cm}$ )。

##### (a) 輸入項目：

本實驗給予三輸入，長度位置輸入(圖 10)、仰俯角位置輸入(圖 11)，水平旋轉角位置輸入(圖 12)，但是本模擬的控制項目是伸長長度、仰俯角與水平旋轉角的速度控制因此首先將圖 10~12 之位置輸入微分，得到長度輸入速度與仰俯角輸入速度(圖 13~15 實線部分)。

##### (b) 模擬結果：

在圖 13 點 E 點時，由輸入可知，此時伸臂長度為最長而且仰俯角為 0 度水平旋轉角為 360 度(亦即 0 度)此時可知道危險程度變大因此輸出速度下降。在 F 點時由於伸臂長度為 0.5 公尺仰俯角亦為 0 度，而水平旋轉角為 180 度，因此危險程度小，所以輸出速度小幅減低。同理可以推至圖 14 的 G 點。而圖 15 的 H 點也是由於伸臂長度最長，仰俯角最低，水平旋轉角在 180 度的高危險區因此輸出速度降低。I 點的狀態就如同圖 13F 點的情形。

##### (c) 解耦合：

由參考圖 10~12 的輸入資料點，在 0~10 秒時，伸臂長度逐漸伸長，但是經由仰俯角的伸高，水平旋轉角的轉動，雖說此時伸臂長度達最危險的程度，但是經由其他二維度減低危險的程度，導致起重機的控制輸出速度並不受影響，因此確實達到解耦合效果。

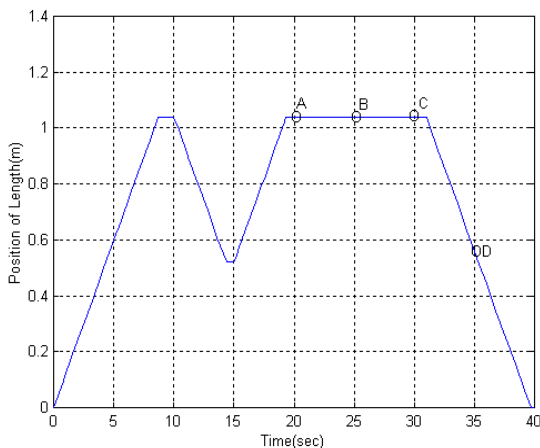


圖 10. 長度輸入位置示意圖

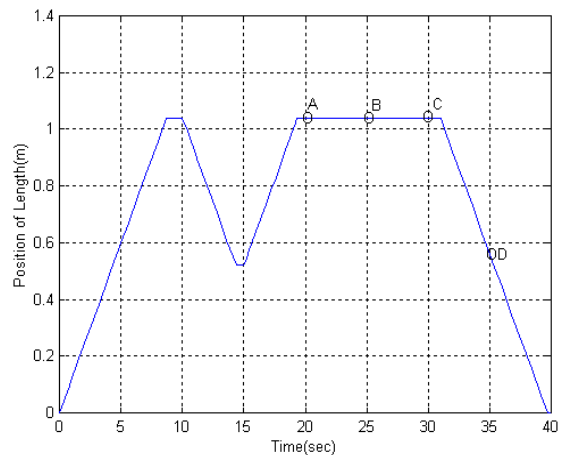


圖 11. 仰俯角輸入位置示意圖

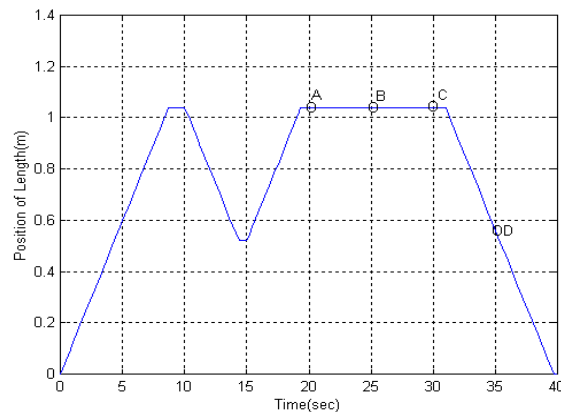


圖 12. 水平旋轉角輸入位置示意圖

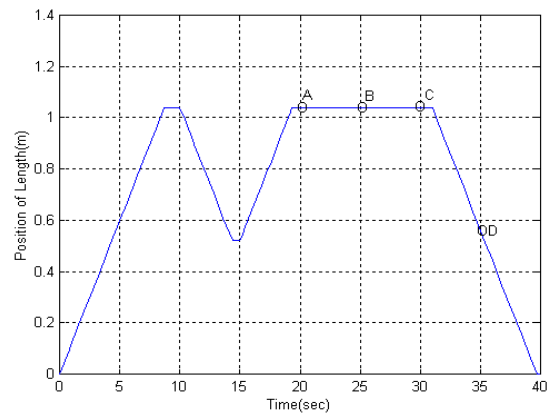


圖 13. 長度輸入速度與輸出速度比較圖

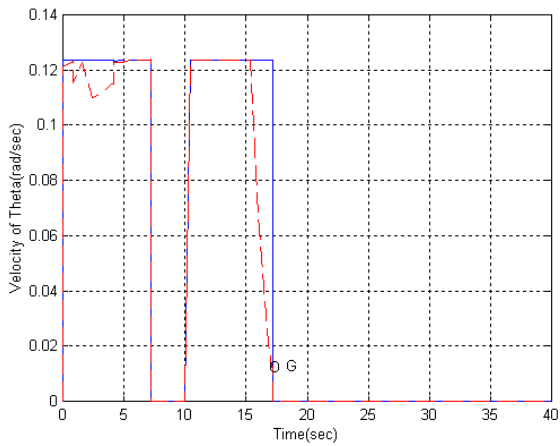


圖 14. 仰俯角輸入速度與輸出速度比較圖

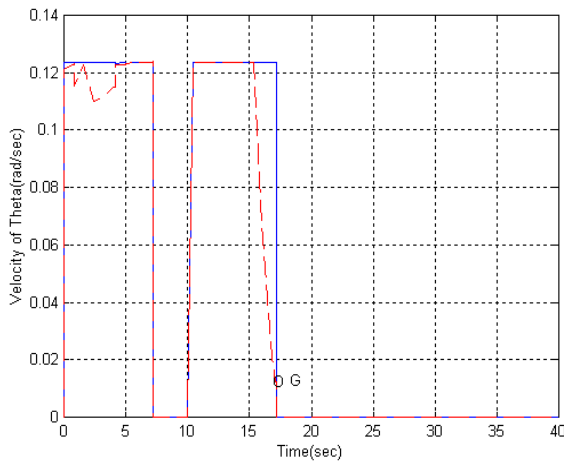


圖 15. 水平旋轉角輸入速度與輸出速度比較圖

## 5. 結論與討論

本研究從數值結果模擬，由研究結果可看出類神經控制器可達到預期的輸出目標，不但可以解決伸臂長度、仰角的耦合問題，並且可以隨著危險程度的增加，使輸出速度減慢，並且在輸出增益部分有所改變，可知類神經控制器針對伸臂長度、仰俯角控制均在 10% ~95% 之間。因而達成類神經控制器的設計目的即 (a) 隨危險因子的增加而  $L$ 、 $\theta$ 、 $\phi$  速度漸減與 (b) 去耦合性，故由此結果可知，未來如果配合 Turbo C 語言的撰寫，並燒錄於單晶片中，再結合周邊硬體的設備(AD/DA 卡及油壓比例閥)，則有朝一日可將整個控制系統模組化並應用於工業界。

## 6. 參考文獻

- [1] Chakraborty K., Mehrotra K., Mohan C.K. and Ranka S." Forecasting the Behaviour of Multivariate Time Series Using Neural Networks, Neural Networks", Vol. 5, pp961-970. 1992.
- [2] 蘇木春、張孝德，機器學習：類神經網路、模糊

系統以及基因演算法則，全華科技公司，pp.15~58，民國 84 年 7 月。

- [3] Cveticanin, L., "Dynamic Behavior of the Lifting Crane Mechanism", Mechanism and Machine Theory, pp.141~151, 1995.
- [4] Majetic, D, "Dynamics Neural Network for Prediction and Identification of Non-linear Dynamic Systems", Journal of Computing and Information Technology - CITi 3(2), pp99-106. 1995.
- [5] 塗劍峰，移動式起重機過負荷感測裝置之設計改進研究，淡江機械所，民國 87 年 7 月。
- [6] 蒙以正，MATLAB 5 專業設計技巧，基峰資訊股份有限公司，民國 87 年 12 月。
- [7] 葉怡成，類神經網路模式應用與實作，儒林圖書有限公司，pp.4-2~4-51，民國 89 年 4 月。
- [8] 張嘉峰，移動式起重機過負荷預防裝置之模糊灰預測控制研究，淡江機械所，民國 89 年 6 月。
- [9] Liu Tiennan; Ren Weijian; Chen Guangyi; Xu Baochang; Yu Di, "Second order back-propagation learning algorithm and its application for neural network", Intelligent Control and Automation, 2000. Processing of the third World Congress, vol.2, p817-820, 2000.