

國立勤益科技大學
電機工程系碩士班

DT
448
4421
100
225158

碩士論文

類小腦神經網路於字元辨識

及影像伺服控制之研究

CMAC Neural Network Applications on Character
Recognition and Visual Servo Control



研究生：蔡秉承

指導教授：洪清寶 教授

國立勤益科技大學圖書館



225158

中華民國 一〇〇 年 七 月

國立勤益科技大學

博碩士論文全文上網授權書

(提供授權人裝訂於紙本論文書名頁之次頁用)

本授權書所授權之論文為授權人在國立勤益科技大學
電機工程系 控制 組 99 學年度第 2 學期取得碩士學位
之論文。

論文題目：類小腦神經網路於字元辨識 及影像伺服控制之研究
指導教授：洪清寶

■ 同意

本人具有著作權之論文全文資料，非專屬、無償授予本人畢業學校圖書館，不限地域、時間與次數，以微縮、光碟或數位化等各種方式重製與利用，提供讀者基於著作權法合理使用範圍內之線上檢索、閱覽、下載及列印。

論文全文 上載 網路 公開 之範圍及 時間：	校內區域網路	<input checked="" type="checkbox"/> 立即公開
	校外網際網路	<input checked="" type="checkbox"/> 立即公開

授權人：蔡秉承

簽名：蔡秉承

中華民國 100 年 7 月 27 日

國立勤益科技大學
研究所碩士班
論文口試委員會審定書

本校電機工程系碩士班 蔡秉承 君

所提論文 類小腦神經網路於字元辨識及影像伺服控制之研究

合於碩士資格水準，業經本委員會評審認可。

論文口試委員會：

召集人：

洪三山

委員：

郭昭奇

洪三山

王碩勝

指導教授：

洪清寶

主

任：

姚賀騰

中華民國一〇〇 年 七 月

類小腦神經網路於字元辨識及影像伺服控制之研究

學生：蔡秉承 指導教授：洪清寶

國立勤益科技大學 電機工程研究所碩士班

摘要

本論文主要提出以類小腦神經網路為基礎的字元辨識方法，並進一步應用於一維之影像伺服控制。於字元辨識之應用，主要使用在阿拉伯數字之辨識，亦可以拓展到英文字母的辨識。而當字元處於非理想的垂直狀態時，藉由字元旋轉技巧，亦能得到良好的辨識效果。辨識系統整體架構上可分為訓練模式和辨識模式兩部分。在訓練部分，首先搜集各種字元的訓練樣本，樣本的選定會影響辨識的效果。其次是開發類小腦神經網路的字元辨識系統，其包括一個影像輸入層、二進制編碼層、激發位址編碼單元、儲存單元層和輸出層。藉由所搜集的樣本對建構之辨識系統進行足夠的訓練，類小腦神經網路可記住訓練樣本的特徵。而辨識模式，首先使用攝影機抓取數字的圖像。其次是執行圖像預處理，如二值化、邊緣切割、姿態調整。最後，圖像特徵

的編碼值送到輸入層，經由激發位址編碼及激發位址的權值加總，輸出層可輸出所代表字元的可能性。所完成的類小腦神經網路辨識系統，以三種不同字型的阿拉伯數字進行實驗，分別是標楷體、新細明體與新羅馬來驗證本文所設計之系統的可行性與準確性。而在影像伺服之應用，主要是結合 CCD 擷取影像，以類小腦神經網路判別目標物是否在正中間，以移動 CCD 保持擷取之影像可位於中央，此可以使用在移動追蹤等地方。藉由實驗的測試，亦驗證了本文所提架構的有效性。



關鍵詞：字元辨識、類小腦神經網路、圖像處理、影像伺服控制。

CMAC Neural Network Applications on Character Recognition and Visual Servo Control

Student : Bing-Cheng Tsai Advisor : Chin-Pao Hung

Department of Electrical Engineering

National Chin-Yi University of Technology

Abstract

This thesis proposes a CMAC based character recognition methodology to recognize the Arabic numeral and applies it on the one-dimension visual servo control. On the character recognition applications, especially, it can solve the Arabic numerals' attitude is not ideal vertically case by the character rotation scheme. Also, the recognition scheme can be extended to the English characters.

The overall recognition scheme includes training mode and recognition mode. In training mode, firstly, the character training pattern is collected by experimental test to benefit the recognition results. Secondly, a CMAC neural network is developed to recognize what number is. The developed CMAC neural network contains an input layer, binary coding layer, excited memory addresses coding unit, memory cells layers and an output layer. By enough of patterns' training, the developed CMAC neural network can be used to recognize what number is, i.e. recognition mode. To recognize input character the number image is captured firstly by the web camera and some image pretreatment is executed, such as binarization, edge cutting, and attitude adjustment. The character feature is encoded as the input space depends on the input layer size of the developed CMAC neural network. By firing addresses coding and adding the weights of the fired addresses, the output layer will output the

possibility of what number is. Three major fonts are used in the developed CMAC neural network recognition system, including DFKai-sb, PMingliu, and Times New Roman.

In visual servo control application, the CMAC recognition scheme can judge the character is located on right or left of the image. Depending on the location, the web camera would be driven to keep the character locating on the central of the image. Web camera is installed on a one-dimension slider platform. The experimental results demonstrate the success of the proposed scheme.



Keywords: character recognition, CMAC neural network, image processing, visual servo control.

誌謝

時光飛逝即將畢業，就讀碩士班時遇到各種困難，多虧指導教授洪清寶老師，給予多方面的指導，並提供學習上的協助，讓學生克服困難；更於本文撰寫時多次逐字斧正，使本文順利完成，學生才能於兩年內順利完成學業與論文。同時特別感謝百忙之中撥冗擔任口試委員的逢甲大學自動控制工程學系洪三山教授、高雄海洋科技大學海事資訊科技研究所郭昭霖教授與勤益科技大學電機工程學系白能勝教授對於論文上的建議與指導，使本文更加完善。

其次感謝機電整合研究室的偉健學長、威佐學長、碩士班同學及家偉、顏忠、人丰、宥丞等學弟們的幫忙，研究所這兩年的固然辛苦，有你們的協助能讓我順利完成碩士學業，最後感謝家人的支持，讓學生沒有後顧之憂。碩士班畢業並非學習的終止，而是另一個階段的開始，希望未來大家能夠一起無止境的學習。

這兩年的碩士生活要感謝的人很多，無法一一提起，所以最後總規一句：「謝謝你們。」

目錄

摘要.....	i
Abstract.....	iii
誌謝.....	v
目錄.....	vi
圖目錄.....	viii
表目錄.....	ix
符號說明.....	x
第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機與目的.....	1
1.2 文獻回顧.....	3
1.3 本論文貢獻.....	4
1.4 章節概要.....	5
第二章 類小腦神經網路.....	7
2.1 類神經網路簡述.....	7
2.1.1 生物神經元模塊.....	8
2.1.2 人工神經元簡介.....	9
2.1.3 類神經網路架構.....	10
2.2 類小腦神經網路理論.....	12
2.3 類小腦神經網路字元辨識系統之建立.....	13
2.3.1 樣本蒐集.....	14
2.3.2 訓練階段.....	19
2.3.3 辨識階段.....	22
第三章 實驗測試與結果.....	24
3.1 硬體架構.....	24
3.2 軟體撰寫.....	25
3.3 實驗結果.....	27
第四章 視覺伺服之應用.....	33
4.1 視覺伺服實驗架構.....	33
4.1.1 滑軌機構介紹.....	34
4.1.2 伺服控制卡設計.....	36
4.1.3 主控電腦.....	39
4.2 實測方法與結果.....	41

4.4.1 影像追蹤之區塊.....	42
4.4.2 目標物判斷.....	42
4.4.3 執行轉動命令.....	42
第五章 結論與未來研究方向.....	45
5.1 結論.....	45
5.2 未來研究方向.....	45
參考文獻.....	47
作者簡介.....	49



圖目錄

圖 2-1 神經元各部份	9
圖 2-2 回歸型類神經網路	11
圖 2-3 前授型類神經網路	11
圖 2-4 類小腦模式神經網路字元辨識示意圖	14
圖 2-5 (a)為原始影像(b)為經過二值化框起區塊	15
圖 2-6 取出圖 2-5(b)框起區塊	16
圖 2-7 經過正規化轉變之圖像	17
圖 2-8 每個區塊轉換成 0 或 1 的值	18
圖 2-9 (a)標楷體(b)新細明體(c)新羅馬	18
圖 2-10 經過二值化、邊緣切割和旋轉校正	23
圖 3-1 (a)攝影機與電腦連接(b)攝影機	25
圖 3-2 辨識系統流程圖	26
圖 3-3 字元辨識系統初始介面	28
圖 3-4 字元辨識系統正面	29
圖 3-5 字元辨識系統傾斜	29
圖 4-1 視覺伺服系統架構圖	34
圖 4-2 滑軌設計架構圖	35
圖 4-3 滑軌架構示意圖	35
圖 4-4 直流伺服控制功能方塊圖	36
圖 4-5 直流馬達驅動電路	38
圖 4-6 伺服控制卡	38
圖 4-7 主控版的程式流程圖	40
圖 4-8 影像追蹤之流程圖	41
圖 4-9 圖像偏左人機介面	43
圖 4-10 圖像偏右人機介面	44
圖 4-11 圖像在中央人機介面	44

表目錄

表 3-1 三種阿拉伯數字字型	28
表 3-2 標楷體辨識結果	30
表 3-3 新細明體辨識結果	30
表 3-4 新羅馬辨識結果	31
表 3-5 標楷體經校正後辨識結果	31
表 3-6 總辨識成果	32



符號說明

dX ：舊寬度與新寬度的寬度比。

dY ：舊高度與新高度的高度比。

dx ：舊寬的像素位置與寬度比的乘積。

dy ：舊高的像素位置與高度比的乘積。

ix ： dx 的整數部分。

iy ： dy 的整數部分。

fx ： dx 的小數部分。

fy ： dy 的小數部分。

clr ：新的像素位置色彩。

$clr1$ ： (ix, iy) 像素位置色彩。

$clr2$ ： $(ix+1, iy)$ 像素位置色彩。

$clr3$ ： $(ix, iy+1)$ 像素位置色彩。

$clr4$ ： $(ix+1, iy+1)$ 像素位置色彩。

$W_{i(new)}^{a_i}$ ：激發記憶體調整後之權值。

$w_{i(old)}^{a_i}$: 激發記憶體調整前之權值。

a_i : 被激發的記憶體位址。

β : 學習增益。

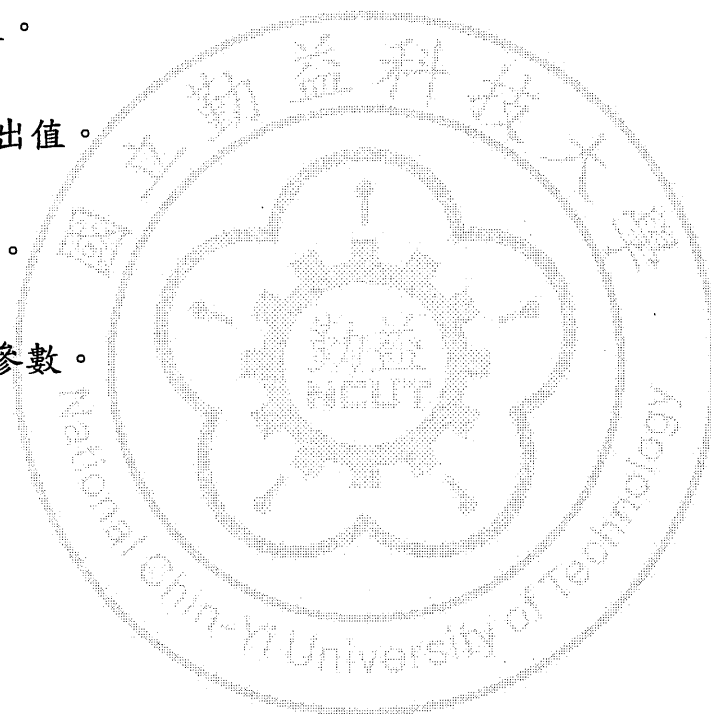
n : 激發記憶體的數目。

y_d : 目標值。

y : 實際輸出值。

E : 誤差值。

ε : 為收斂參數。



第一章 緒論

1.1 研究動機與目的

近幾十年來，隨著科技的日新月異，智慧生活扮演著重要的腳色。由於電腦的快速發展，許多複雜的計算均已獲得解決，因此人們會將電腦視為生活必需品，在生活上與電腦息息相關。人們講求快速便利，電腦自動化更是為主要的發展，其可以運用範圍廣大，如影像處理、語音辨識、疾病診斷等。人類大腦在影像處理和語音辨識上遠勝於電腦，這是因為人腦有聯想性的記憶，能將新舊記憶結合成新的形態，這些學習能力是電腦目前無法比擬的。影像處理常看到光學字元辨識、物體追蹤、人臉辨識等，這些都是需要經過電腦精密計算，而人腦卻可以快速的達成。光學字元辨識亦是利用攝影機或掃描機等輸入工具，將文件讀入電腦。

在圖像辨識領域裡面，字元辨識有許多的應用，如車牌辨識、信件分類等。隨著汽機車的增加，車牌辨識格外重要，停車控管、道路電子收費、贓車查稽等都是一大問題。為了解決這些問題，近年來先進的國家發展智慧型交通系統，停車控管的管理員需要重複性的動作

控管車輛，電子收費需要花費大量人力，贓車查稽則需要龐大的警力。在傳統的信件分類，都需要依靠人力做區域號碼的區分，耗費大量的人力資源為主要的問題。利用電腦結合影像處理和圖像識別將可以大大的減少人力上的使用，也可以提升工作效率和降低成本。在這些應用裡，主要的核心都是需要將圖像辨識出來，為了辨識這些圖像，各項技術因應而生，諸如霍普菲爾神經網路(Hopfield neural network)[1]、可拓理論(Extension theory)[2]、統計方法[3]等，這些技術在各類系統上都得到成功的驗證，但也存在些許問題。諸如需要冗長的訓練時間，記憶體使用的侷限性，對專家經驗的依賴性高等。而類小腦神經網路在這些特性上都有著突出的表現，其不但在控制領域裡因演算速度快，在即時控制的應用得到良好的控制效果。且在故障診斷領域的應用[4,5]，已經被證明有抗雜訊能力、訓練速度快、以及高正確率等優點。因此本論文以類小腦神經網路的架構進行字元辨識，以驗證其在影像識別的應用，在訓練、辨識速度及抗雜訊等同樣具有優於習用技術的優點。而將此一技術應用於一維伺服控制系統的追蹤控制，更進一步證明了類小腦神經網路突出特性。

1.2 文獻回顧

智慧型字元辨識廣泛應用在各類型的系統上，如車牌辨識系統、手寫辨識系統、郵政分類系統...等。例如以樣本比對法進行車牌辨識[6]，藉由字元與樣本逐一比對，找出最為相似的；以模糊方法手寫辨識[7]，採用模糊集和多層前饋神經網路；再者以螺旋結構辨識[8]，用六角型結構的圖像，使用歸納學習方法辨識阿拉伯數字。近年來，人工智慧理論發展快速，使人工智慧廣泛運用，在辨識方法有利用類神經網路[9,10]、可拓工程方法[2]、統計方法[3]等。

以類神經網路為字元辨識之方法，其雜訊處理能力好、良好學習能力及平行處理方式，但其缺點為訓練時間冗長，有時甚至難以得到收斂的答案。以可拓工程方法來實施，其從定性和定量的特性去研究，矛盾問題可獲得改善，但其缺點為單一物元無法辨識，則需做物元轉換。以統計方法為基礎的辨識，需要大量的影像資料，在特徵上建立準則，但其缺點要有足夠量的資料才能實施。本論文主要提出與類神經網路不同的學習架構，即為類小腦神經網路(Cerebellar model articulation controller)，顧名思義，其運作有如人類小腦的模式，執行反射性的動作。其在學習階段時，僅需針對激發的神經元進行權重的

調整即可。且整個網路的演算，主要是進行加總運算，不會涉及非線性的函數計算，在訓練速度、具收斂性、抗雜訊能力及計算簡單等特點上有優於其它神經網路的優點。

1.3 本論文貢獻

本論文完成了類小腦神經網路之字元辨識系統，並應用於一維的視覺伺服控制，其主要的貢獻如下：

- (1) 本文以類小腦神經網路為架構進行光學字元辨識，對輸入的影像字元以數位式二進制編碼，以應用於類小腦神經網路的激發位址編碼技術，在字元辨識上得到良好的結果，其在辨識的高正確率、高抗雜訊功能、及訓練辨識的速度快等特性上有良好的表現。
- (2) 字元辨識系統會遇到不同的字型，相差甚大的字型會造成辨識上的不正確。本論文將利用常用字型作為樣本，以對類小腦神經網路進行訓練，解決了多種不同字型的辨識問題。
- (3) 提出輸入字元歪斜的處理方法，利用長寬比的概念自動轉正歪斜字元，提昇歪斜字元的辨識率。

- (4) 開發一 C++ Builder 的人機介面系統，整合 web cam 的字元擷取介面，以實現影像字元辨識系統。
- (5) 整合類小腦神經網路的辨識技術，以應用於一維的視覺伺服控制，所建構之實驗平台，實現了視覺伺服的可行性。

1.4 章節概要

本論文以類小腦神經網路於字元辨識及影像伺服控制為研究主題，內容共分為五個章節，其介紹如下：

第一章 針對研究動機與目的、文獻回顧、本文貢獻、章節概要予以說明。

第二章 介紹類神經架構、類小腦神經網路的基本原理，以及所架構之字元辨識系統。訓練樣本的取得、訓練的步驟及辨識的演算法均在此一章節說明。

第三章 本章說明實驗設備的建置，相關軟硬體設備的介面及整合，程式設計及人機介面的規劃，以及字元辨識的實測結果及討論。

第四章 建構視覺伺服追蹤平台，使網路攝影機配置於滑軌，能進行特

定字元的追蹤，控制網路攝影機追蹤目標物，相關的伺服控制設計及實測結果在此一章節介紹。

第五章 對本論文做一總結，並揭示未來的研究方向。



第二章 類小腦神經網路

類神經網路(Neural network)，也稱為人工神經網路，是一種模仿生物神經網路的計算系統，包含硬體與軟體，它使用大量的相連人工神經元來模仿生物神經網路的能力[11]。眾所皆知人腦是經過幾千萬年演化而成，在視覺和聽覺方面的辨識能力遠比目前的電腦優秀許多。人腦藉由特殊的演算架構，才有辦法完成複雜的圖形和語音辨識。類神經網路即是模擬人腦的演算架構，以期能達成類似人腦的演算能力，進而能利用所建構的架構，來設計強大的計算系統。

2.1 類神經網路簡述

類神經網路是由多層神經元組合而成，它是一個平行計算的網路，使用人工神經元來模仿生物神經網路，經過反覆學習，做出正確的結果。一般來說人腦概分為大腦和小腦，大腦的功能主要為思考、運算和邏輯判斷，小腦主要功能為反射性的動作。人類的大腦是由大量的神經細胞組成的神經網路，所以擁有高智慧能力。而要讓類神經網路有人工智慧的功能，必須將大量的神經元經連接構成類神經網路。

2.1.1 生物神經元模塊

人類的大腦大約由 100 億個神經元或神經細胞所組成[12]，而各神經元和其它神經元的連結高達 10,000 條。神經元是神經系統裡的基本元件，整個神經網路是由神經元組成，主要負責接收、產生、傳遞和處理的基本單位。如圖 2-1 所示，神經元主要分為幾個部分：(1)神經體(cell body)：內部有神經核，主要為訊號產生及處理的單位。(2)軸突(axon)：延伸到身體的各個部位，傳送細胞核產生的訊號到其他的細胞核，為訊號輸出的部分。(3)樹突(dendrite)：為神經元的訊號接收處，多個樹突會連接到一個軸突上的神經鍵。(4)神經鍵(synapse)：神經元相互連接的部分，此部分的連結強度會以一個數值表示，也就是類神經網路的加權值。

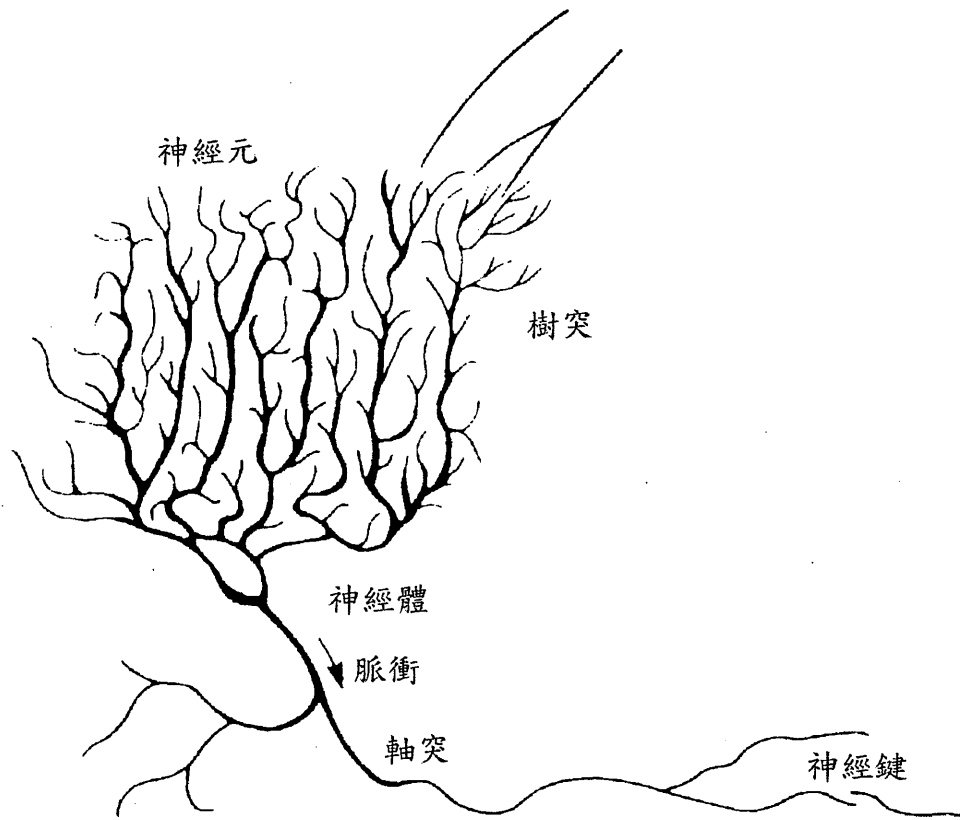


圖 2-1 神經元各部份

2.1.2 人工神經元簡介

西元 1943 年，McCulloch 和 Pitts 提出神經元(M-P 神經元)的數學模型[12]，M-P 神經元為一個簡化神經模型的架構。在 1949 年，Hebb 提出神經鍵修正說的假設[13]，在 Hebb 的學習法則中，神經鍵的強弱是根據神經元之間的關連性來決定，因此稱為關聯式學習法。現今許多類神經網路的訓練方法皆由此演變而來。後來在 1960 年 Rosenblatt

提出認知器的模型[14]來模仿動物的視覺和大腦系統，設想人類的眼睛在接受到光訊號的圖像分類情形，為最早的類神經網路模型。單層認知器無法解決 XOR 邏輯，需要加入隱藏單元解決，但沒有學習算法可以決定適當的權值。針對這個問題，1982 年 Hopfield 提出 Hopfield 網路[15]，屬於聯想式記憶，解決多年研究上的問題，也才能夠將類神經網路應用到各個領域裡。

2.1.3 類神經網路架構

類神經網路的基本架構[11]主要分為兩大類：回歸型網路(recurrent net)和前授型網路(feed-forward net)。回歸型神經網路中的人工神經元相互連接，神經元的輸出連接到其它的神經元，而神經元的輸入是來自所有其它神經元的輸出。也就是每個神經元平行地接受所有神經元的輸入，再平行地將結果輸出到其它的神經元。回歸型的神經網路最具代表即是 Hopfield 神經網路(如圖 2-2 所示)。其中， V_1, V_2, \dots, V_N 是網路神經元的狀態值， X_1, X_2, \dots, X_N 是輸入狀態值， X'_1, X'_2, \dots, X'_N 是經過聯想運作之後的收斂輸出值。

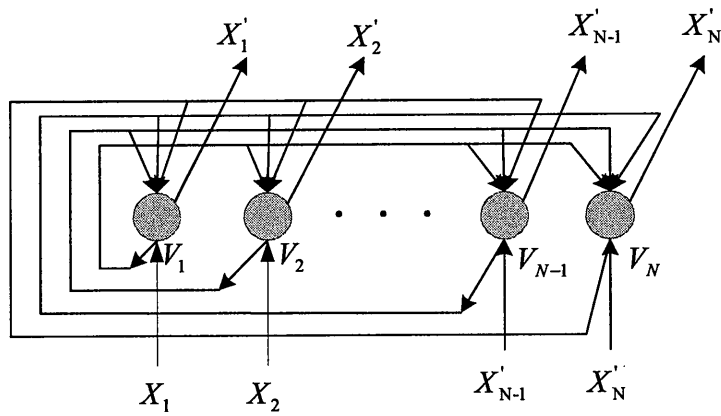


圖 2-2 回歸型類神經網路

而前授型神經網路是屬於一種階層式網路，網路包括很多“層 (layer)”，如輸入層、隱藏層、輸出層等。在同一層中的神經元彼此不相連，不同層的神經元則彼此相連。而傳輸方向為單方向，由輸入層傳輸到輸出層，此前授型神經網路最具代表為倒傳遞神經網路(如圖 2-3 所示)。其中， x 為輸入， y 為輸出值， T 為理想輸出值。

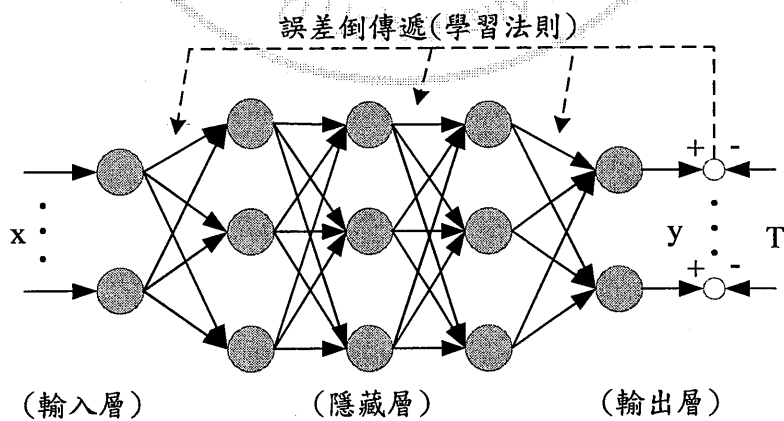


圖 2-3 前授型類神經網路

2.2 類小腦神經網路理論

類小腦神經網路(CMAC)於 1970 年 Albus[16]所提出，最早是使用在機器臂的控制，學習機器臂的動態模型。類小腦主要是模仿人類小腦的神經系統，當人類的小腦接收到訊號時，會傳送出一個反射的訊號，使身體做出反射的動作。如果再次接收到相同訊號時，人類小腦會傳送相同的訊號使身體做反射動作。CMAC 辨識系統就如同人類小腦，根據輸入不同的訊號來激發不同的記憶體，越是相近似的訊號輸入辨識系統時，所激發的記憶體將會越相近。整個神經網路的架構中，並無需多層的記憶層演算，而是直接以記憶格來儲存輸入與輸出的映射關係，並不會使用到全部的記憶體。此特徵與人類小腦的架構類似，人類小腦記憶量很大，但只針對特定的區塊激發，所以只需要用到一部分的記憶體。CMAC 神經網路在映射的過程中，一個記憶體位址只記憶一個權重值(weights)。當輸入一組訊號時，經過編碼及激發記憶體位址，而被激發記憶體位址內的權值做加總，可映射出針對此組輸入信號的輸出。此輸出值與理想的輸出值做比對，將其誤差值平均分配到所激發的記憶體進行調整，即為完成一次的訓練。此時被激發的記憶體內即儲存著該輸入信號的特徵。若有相似的輸入訊號，則會再

次經過編碼及激發記憶體位址，加總記憶體位址的權值，即可獲得理想的輸出值。但隨著雜訊越大，與原來輸入訊號的相似度降低，所激發的記憶體相同於原輸入訊號所激發的記憶體位址的數目會減少，輸出值便會與理想的輸出值產生差距，差距的大小即可用來作為相似度的判斷。

2.3 類小腦神經網路字元辨識系統之建立

在 CMAC 運算流程中，必須經過一些步驟，在本論文中，包含攝影機的影像輸入電腦，經過處理轉換成二進制碼，將其對應到記憶體位置，最後將所對應到的記憶體位址的權值加總得到輸出值，所得到的輸出值做為辨識結果的依據。如圖 2-4 為本論文所建構的類小腦模式神經網路的字元辨識示意圖。

類小腦模式神經網路字元辨識系統基本運算流程，包括從攝影機獲得輸入影像，經過圖像預處理、二進制編碼後，映射出一群記憶體之位址，被稱為激發位址。被激發的位址分別儲存著記憶權值，過程中會滿足相似的輸入空間會激發到相似的記憶體位址。

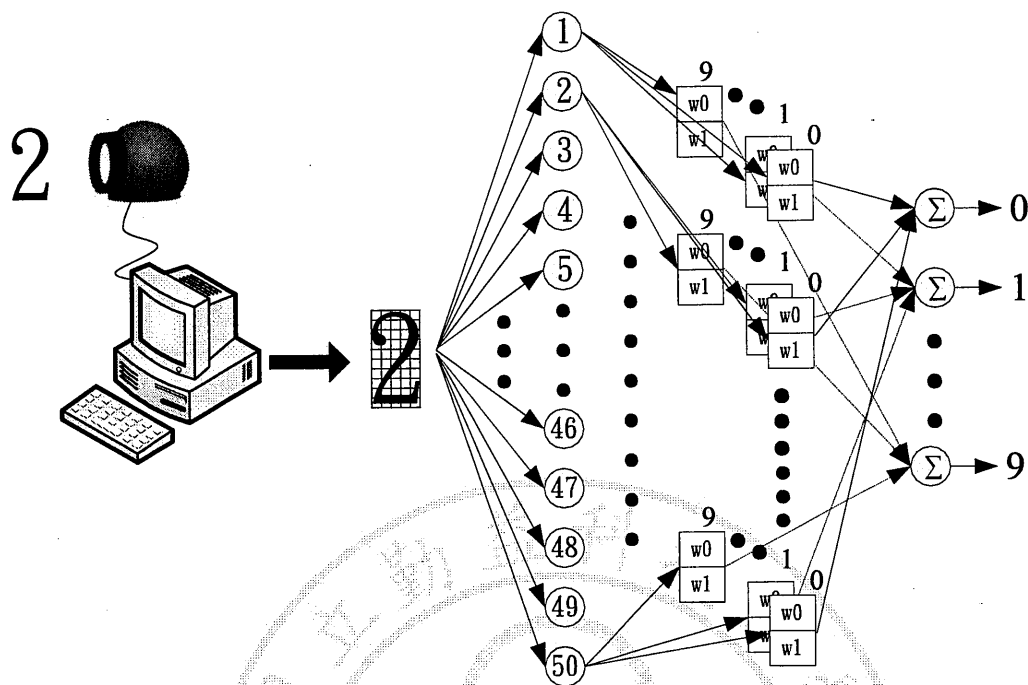


圖 2-4 類小腦模式神經網路字元辨識示意圖

CMAC 神經網路字元辨識系統運算過程中，必須先對已知的圖像樣本做訓練，調整其激發記憶體權值以得到一個理想的輸出值。而類小腦字元辨識系統之建立主要分為(1)樣本蒐集、(2)訓練階段、(3)辨識階段。

2.3.1 樣本蒐集

要建立類小腦神經網路字元辨識系統必須先蒐集需要之樣本，此樣本是根據要辨識的部分做蒐集，圖像是否為樣本，如果是才會進行訓練。在類小腦字元辨識系統中，是由輸入訊號進行分析，將分析的

結果做為判斷之依據。一般來說，影像為連續與類比的，攝影機轉成數位訊號傳至電腦後，我們才能夠使用這些訊號。要達成字元辨識系統，圖像預處理是必須的，圖像之處理主要包括以下幾個步驟：

2.3.1.1 圖像二值化

在圖像領域裡，最常看到的是使用色彩三元素 Red、Green、Blue(RGB)，每個像素點裡面都包含著 RGB 三元素，以 8 位元的解析度而言，RGB 值各為 0 到 255。當 RGB 的三個值都是 255 為白色，如果都為 0，則是黑色。二值化的處理係針對所輸入的圖像設定門檻值，高於門檻值設定為 255，反之設為 0。藉此可以找出字元所在處，框出字元所在之區塊，如圖 2-5 所示。

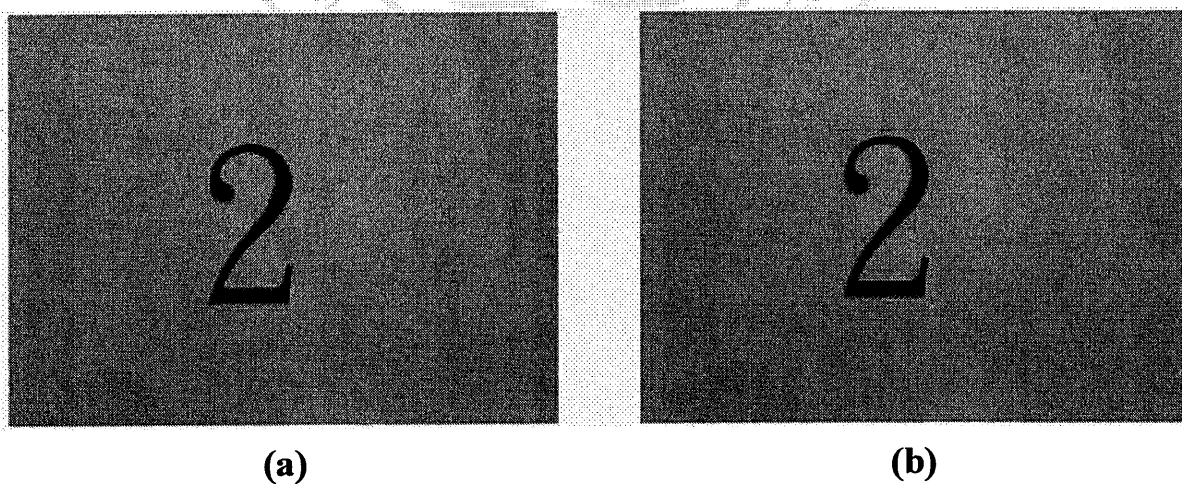


圖 2-5 (a)為原始影像(b)為經過二值化框起區塊

2.3.1.2 邊緣切割

輸入的影像大小為 320 X 240，而經過二值化圈出的區塊大小也有所不同，對於圖像的處理是針對每個點的像素，因此對於需要的區塊才做處理，其它不必要的將去除，可以使處理的區塊縮小。圖 2-5(b)所框出來的區塊如圖 2-6 所示。

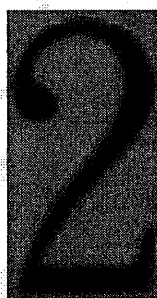


圖 2-6 取出圖 2-5(b)框起區塊

2.3.1.3 圖像正規化

每個圈起的區塊會因為攝影機的距離而將會有大有小，這些不同大小的圖像，必須把圖像轉變為相同的大小，其主要的概念為接近的像素，占的比例較大，遠的話較小。分別計算出舊寬度與新寬度比 dX 和舊高度與新高度比 dY ，將舊像素位置分別乘於 (dX, dY) 可獲得 (dx, dy) ，而 (dx, dy) 的整數部分為 (ix, iy) ，小數部分則為 (fx, fy) ，新的像素色彩公式如(2-1)所示：

$$clr = (1 - fx) \times (1 - fy) \times clr1 + fx \times (1 - fy) \times clr2 + (1 - fx) \times fy \times clr3 + fx \times fy \times clr4 \quad (2-1)$$

其中

clr：新的像素位置色彩。

clr1：為(ix,iy)像素位置色彩。

clr2：為(ix+1,iy)像素位置色彩。

clr3：為(ix,iy+1)像素位置色彩。

clr4：為(ix+1,iy+1)像素位置色彩。



圖 2-7 經過正規化轉變之圖像

經過以上的公式，可以將圖像變為想要的固定大小(如圖 2-7 所示)，更改新寬度與高度即可改變自定的寬度與高度。

2.3.1.4 樣本轉換

經過正規化後，每個圖像的大小皆相同，會將圖像分割為等分的區塊，而每個區塊將轉換成 0 或 1，這些 0 和 1 的資料會成為蒐集的樣本，為後來訓練用之資料，如圖 2-8 所示。

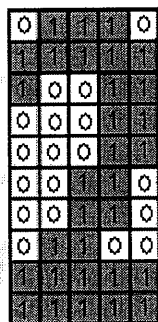


圖 2-8 每個區塊轉換成 0 或 1 的值

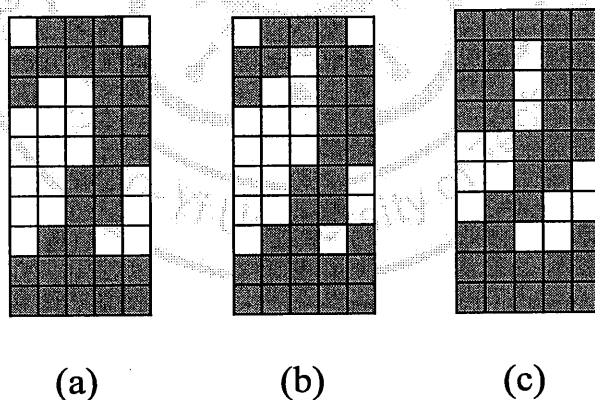


圖 2-9 (a)標楷體(b)新細明體(c)新羅馬

本論文所採用的訓練字形如圖 2-9 所示，主要針對標楷體、新細明體和新羅馬，以數字 2 為例，字型不同樣本也會有所不同。

2.3.2 訓練階段

當樣本蒐集完畢後，需要經過訓練階段才能使所建構之辨識系統具備字元的辨識能力。如圖 2-4 所示，本論文所使用到的記憶層共 10 層，分別用以記憶 0~9 的字元特徵。因此於訓練階段時各字元是分別訓練的。亦即字元 1 的樣本只用來訓練記憶層 1，字元 2 的樣本則用來訓練記憶層 2，以此類推。各記憶層的訓練過程皆相同，訓練的步驟說明如下：

步驟 1 激發位址編碼

所有的輸入的影像訊號經過處理並分割區段，將區段都轉成二進制的值，如

01110111111001100011000110011000110011001111111111B

這些二進制的值共 50 個，從高位元到低位元的編碼分別為 $a_1, a_2, \dots, a_{49}, a_{50}$ ，經過編碼後獲得激發記憶體位址，每個激發記憶體位址的權值不同，而加總也會不同。

步驟 2 輸出值加總

將各個激發記憶體位址的權值做加總，則可得到輸出值。

步驟 3 激發記憶體權值調整

在記憶體權值加總所得到的輸出值，將會與理想值做比較，如果輸出值與理想值有段差距，則將會作為激發記憶體權值的調整，以得到理想輸出。類小腦神經網路字元辨識系統輸出目標值為 1，代表辨識接近的目標值，採用的學習規則為：

$$w_{i(new)}^{a_i} \leftarrow w_{i(old)}^{a_i} + \beta \times \frac{y_d - y}{n} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2-2)$$

其中， $w_{i(new)}^{a_i}$ 為激發記憶體調整後之權值， $w_{i(old)}^{a_i}$ 為激發記憶體調整前之權值， a_i 為被激發的記憶體位址， β 為學習增益 ($0 < \beta \leq 1$)， n 為激發記憶體的數目， y_d 為目標值 (設定為 1)， y 為加總後實際輸出。每種訓練的樣本只有一組，可以把 β 設為 1，但如果超過一筆以上的樣本資料，通常會將 β 略小於 1。

步驟 4 學習效果評估

若字元 1 的樣本數有 n 個，則此 n 個樣本必須重複輸入，直到每一個樣本輸入所得到的輸出值，皆滿足預設的誤差值時，訓練才算完成。一般是定義一評量函數如(2-3)式

$$E = \sum_{i=1}^n (y_i - 1)^2 \quad (2-3)$$

令 ε 為收斂參數，即可以作為學習成效的評估，也就是當 $E < \varepsilon$ 時，即認為訓練完成。否則必須重複步驟 1~4 的動作。

2.3.2.1 收斂性

使用類小腦神經網路的架構，使用監督式學習算法，其學習的收斂性可以被確保[17]。

2.3.2.2 抗雜訊能力

使用類小腦神經網路具有良好的抗雜訊能力，輸入的訊號有可能有雜訊一起輸入，在辨識上可能會有影響，類小腦神經網路是相似的輸入激發相似的記憶體，舉例來說：

正確值：10011001b

錯誤值：10011011b

正確值與錯誤值相差一位元，所激發的記憶體差別不大，能保有大部分的正确特徵，而輸出加總也會接近正確值。因此使用類小腦神經網路可以降低雜訊的影響，並且可以提升正確辨識的百分比。

2.3.3 辨識階段

經過前面的樣本蒐集與訓練後，每個記憶體位址都有一個記憶權值，而有這些記憶權值，我們將可以進行字元辨識，其辨識的步驟如下：

步驟 1 圖像預處理

在辨識的階段裡面，其影像訊號輸入，需要經過圖像處理，而這部分將會跟樣本蒐集的預處理過程相同，經過圖像二值化圈起圖塊，然後邊緣切割將圖塊擷取出來，進行正規化與樣本轉換，此可將圖像以二進制的 0 或 1 表示。

步驟 2 旋轉校正及二進制編碼

在字元辨識系統裡面，圖像可能會有傾斜的部分，而必須將其校正，當字元的長寬比為最大時，則為理想的垂直狀態，如果非為理想狀態，則會校正後再進行正規化與樣本轉換。傾斜的字體每轉動一度記錄長寬比與轉動的角度，進行各個角度的記錄後，會找出校正後讓長寬比會為最大的角度，把字體校正為理想的垂直狀態(如圖 2-10 所

示)。

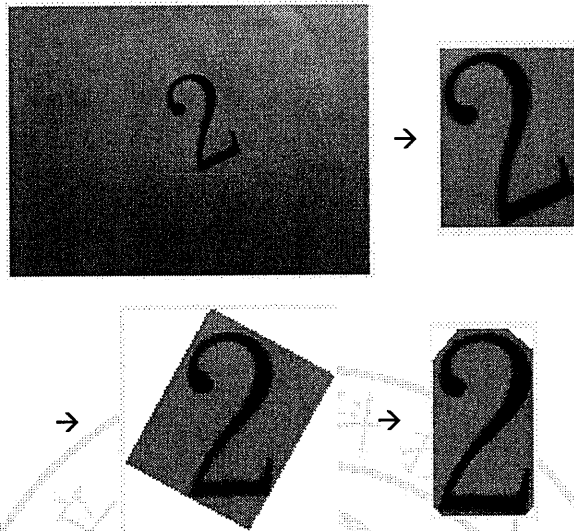


圖 2-10 經過二值化、邊緣切割和旋轉校正

步驟 3 激發記憶體位址及輸出值

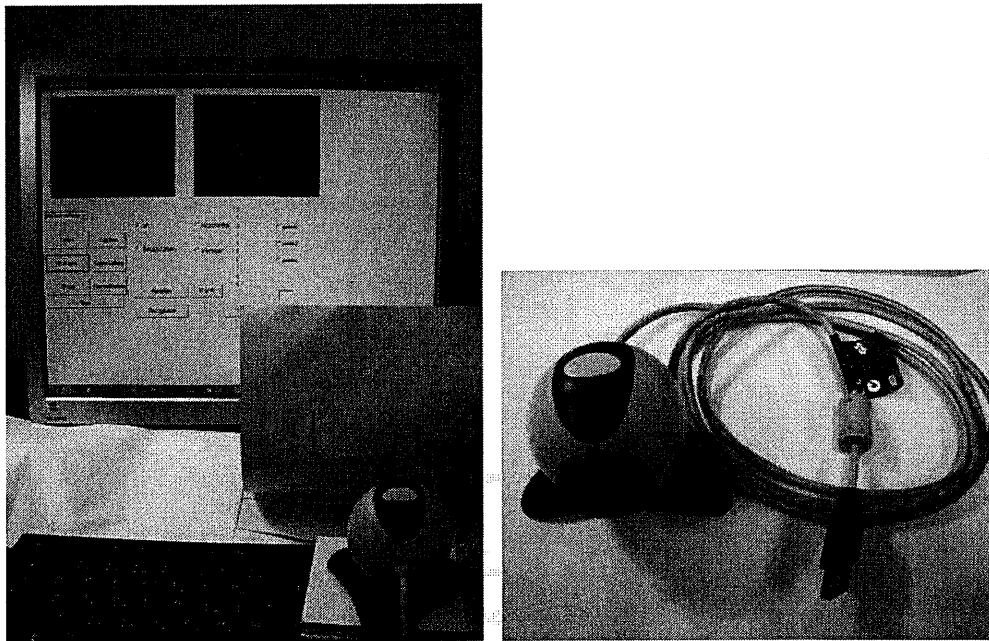
樣本轉換使每個區塊皆為 0 或 1 表示，而這些 0 或 1 將會激發記憶體位址。與訓練階段不同處在於此編碼出的激發位址，會激發每一記憶層，亦即每一層記憶層內的激發位址均被激發。各層被激發的記憶體位址各自加總，每一層均會得到一個輸出值。此時輸出值最接近 1 者，即可用來判斷輸入字元為何。例如記憶 2 的輸出值最接近 1，即可表輸入字元為 2。

第三章 實驗測試與結果

為了驗證本論文所提辨識架構之可行性，本章節建構了一套辨識系統，以實際測試字元辨識的效果。此一辨識系統所採用的硬體配備有個人電腦(Q9500 2.83 GHz, 3.25GB RAM)及攝影機(Logitech V-UM14)。軟體所採用的作業系統為 Microsoft Windows XP，辨識的演算軟體為 Borland C++ Builder 6。以下依序加以說明：

3.1 硬體架構

在硬體方面，主要使用一台攝影機(Logitech V-UM14)來獲取影像資料，此攝影機解析度最大可以到達 640 X 480，本論文設計上使用到的解析度為 320 X 240，而錄影速度為 30 FPS (Frames per second)，攝影機可以達到清晰度與及時性的效果，與電腦連接則為最常用的 USB 傳輸，詳細硬體如圖 3-1(a)、(b)。



(a)

(b)

圖 3-1 (a)攝影機與電腦連接(b)攝影機

3.2 軟體撰寫

以高階語言 Borland C++ Builder 6 撰寫辨識系統的人機介面，包含初始介面、樣本的獲得、訓練及辨識結果，程式撰寫流程如圖 3-2 所示。

本實驗的輸入圖像大小為 320 X 240(如圖 3-3 所示)，左圖為原始的輸入影像，右圖為經過二值化處理圈起之圖像，操作介面按鈕分別有擷取圖像、切邊、姿態調整和正規化...等等。

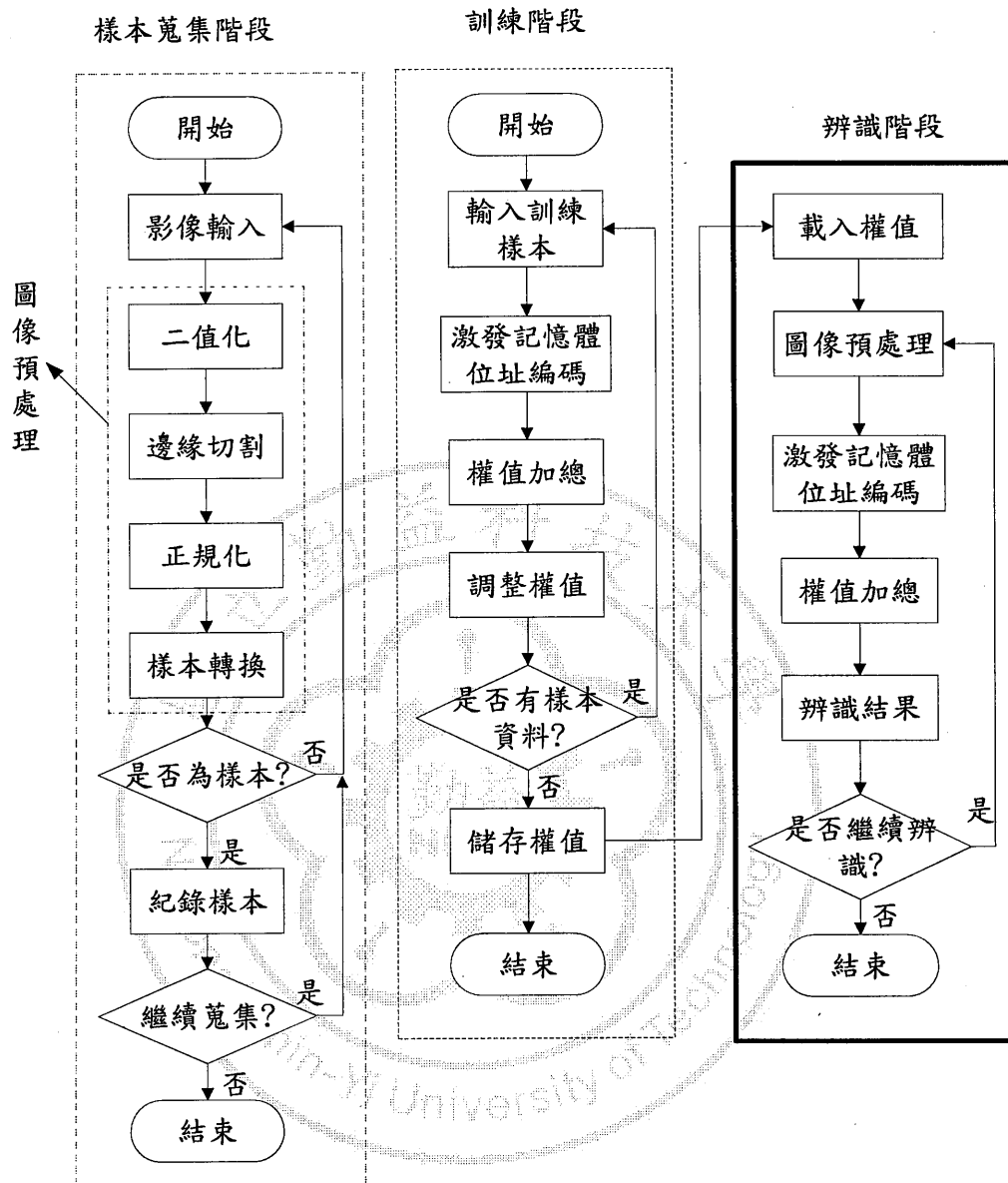


圖 3-2 辨識系統流程圖

為了驗證辨識方法的有效性，本論文採用三種字體作為訓練樣本，分別為標楷體、新細明體和新羅馬如表 3-1。這三種字體經過訓

練階段的二值化編碼，分別為各字元的記憶體層進行訓練，假設收斂參數 $\varepsilon=0.0016$ 為訓練完成，每個數字訓練約為 20 次，則總訓練次數為 200 次。相較於其他神經網路的訓練次數高達數百次到上萬次，足見本論文所提出方法在訓練速度的優異功能。

3.3 實驗結果

完成訓練後，依序的將待辨識字元透過攝影機擷取影像，在可擷取的距離內，對所擷取的字元進行辨識。表 3-2 到 3-4 分別為各種字型的辨識結果，在理想垂直的狀態下且能辨識的距離下(如圖 3-4 所示)，辨識率接近於 100%(如表 3-6 所示)，在手持正面的部分，無法與固定放置的理想垂直狀態一樣，手持會有稍微晃動，因此手持部份有雜訊，但辨識效果不變。即使字體傾斜的狀態(如圖 3-5 所示)辨識率也可以到達 97%，嚴重傾斜校正後會與樣本差別較多，其辨識效果也不會有太大差距。如表 3-5 為標楷體經過姿態調整的辨識結果，輸出接近 1 為最可能的輸出結果，此測試的訓練為高於 0.96 為即為訓練完成，在 0.96 以上的輸出總和即是有可能的數字。

表3-1 三種阿拉伯數字字型

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
標楷體	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
新細明體	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
新羅馬	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

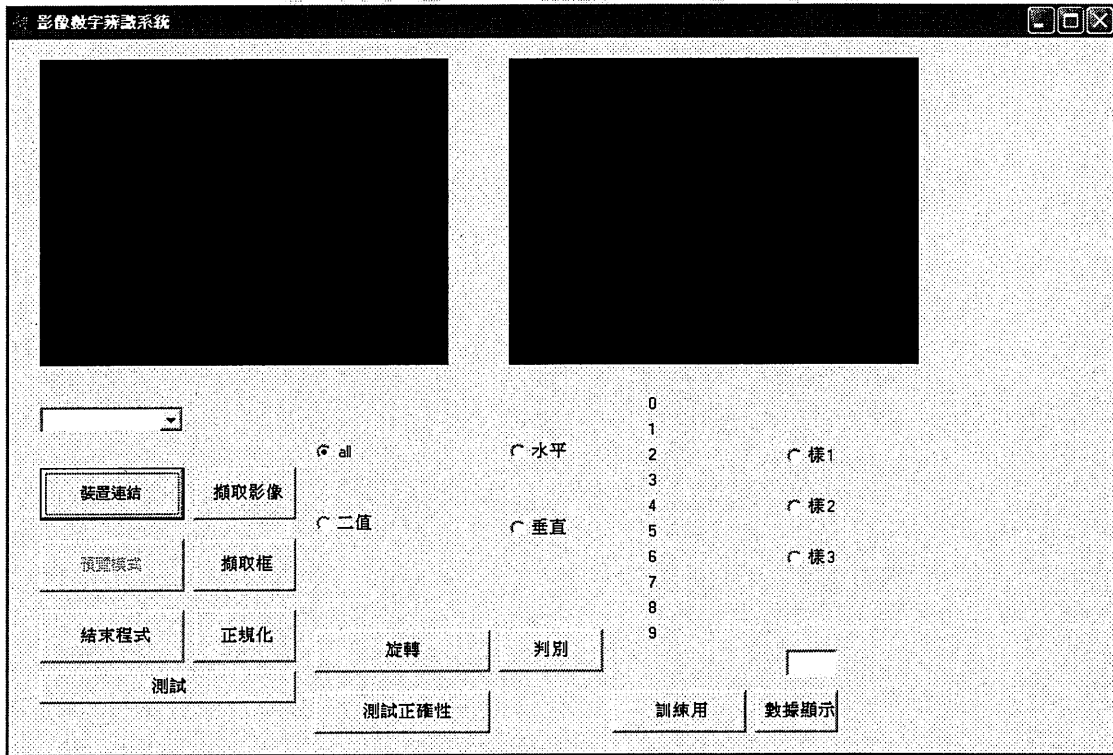


圖 3-3 字元辨識系統初始介面

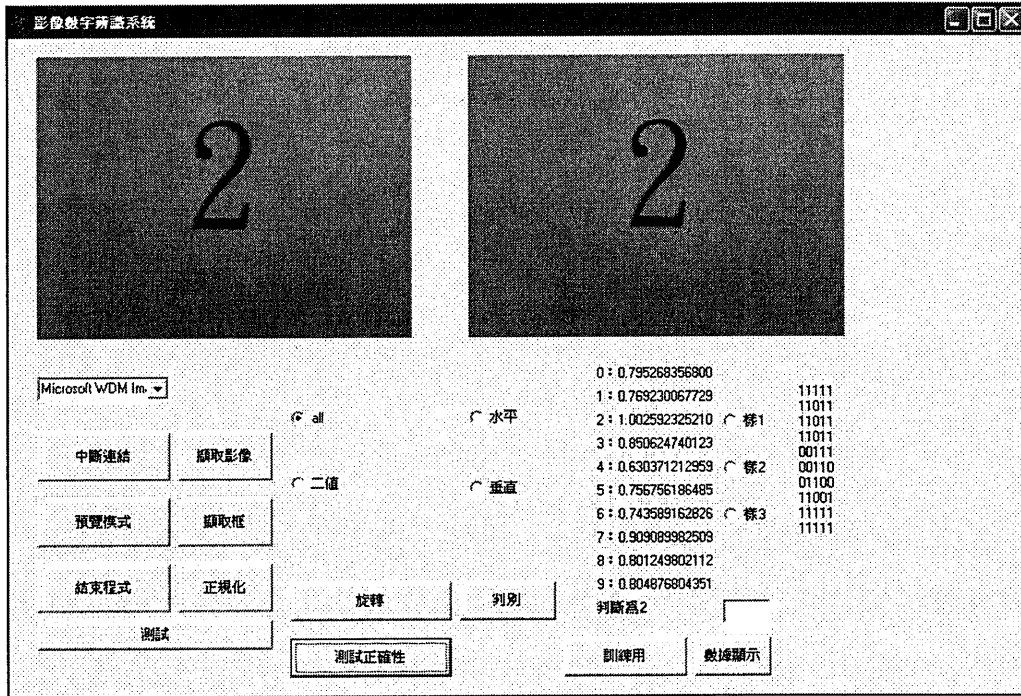


圖 3-4 字元辨識系統正面

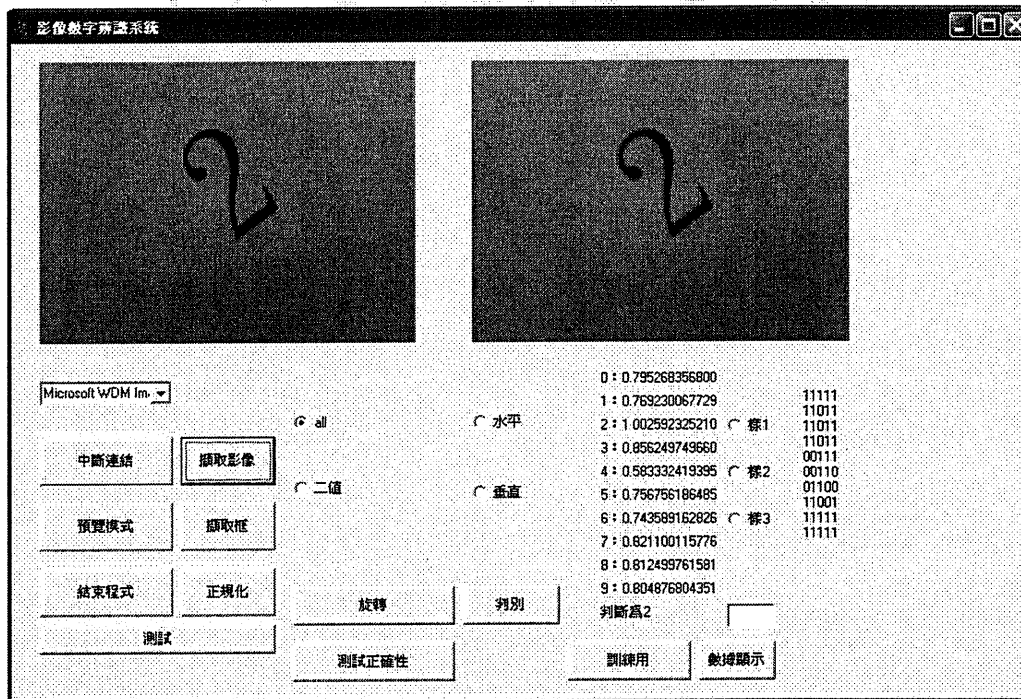


圖 3-5 字元辨識系統傾斜

表3-2 標楷體辨識結果

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	0.320	0.586	0.723	0.377	0.652	0.925	0.201	0.778	0.936
1	0.425	0.995	0.632	0.513	0.505	0.474	0.532	0.644	0.618	0.441
2	0.665	0.610	1.036	0.772	0.514	0.486	0.730	0.475	0.858	0.704
3	0.830	0.504	0.803	1.019	0.445	0.678	0.941	0.446	0.957	0.825
4	0.469	0.783	0.511	0.589	1.014	0.464	0.611	0.325	0.741	0.515
5	0.833	0.515	0.634	0.852	0.505	1.026	0.964	0.466	0.845	0.774
6	0.862	0.357	0.525	0.761	0.470	0.821	1.010	0.264	0.807	0.755
7	0.446	0.676	0.763	0.718	0.489	0.601	0.637	1.029	0.833	0.559
8	0.693	0.363	0.724	0.806	0.435	0.616	0.797	0.362	1.028	0.728
9	0.859	0.356	0.606	0.693	0.321	0.616	0.752	0.287	0.745	1.028

表3-3 新細明體辨識結果

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.964	0.214	0.509	0.503	0.267	0.498	0.640	0.227	0.639	0.733
1	0.418	0.961	0.586	0.524	0.478	0.538	0.392	0.481	0.553	0.506
2	0.602	0.436	1.002	0.749	0.462	0.474	0.404	0.559	0.731	0.574
3	0.746	0.331	0.728	0.998	0.313	0.734	0.614	0.509	0.899	0.608
4	0.408	0.291	0.537	0.448	0.964	0.449	0.441	0.325	0.556	0.467
5	0.752	0.334	0.535	0.712	0.339	0.963	0.791	0.431	0.804	0.613
6	0.744	0.261	0.386	0.507	0.323	0.679	0.968	0.235	0.754	0.495
7	0.423	0.462	0.689	0.634	0.455	0.448	0.257	0.995	0.755	0.672
8	0.610	0.273	0.530	0.561	0.279	0.436	0.582	0.360	0.986	0.544
9	0.802	0.180	0.498	0.487	0.259	0.448	0.425	0.391	0.677	0.992

表3-4 新羅馬辨識結果

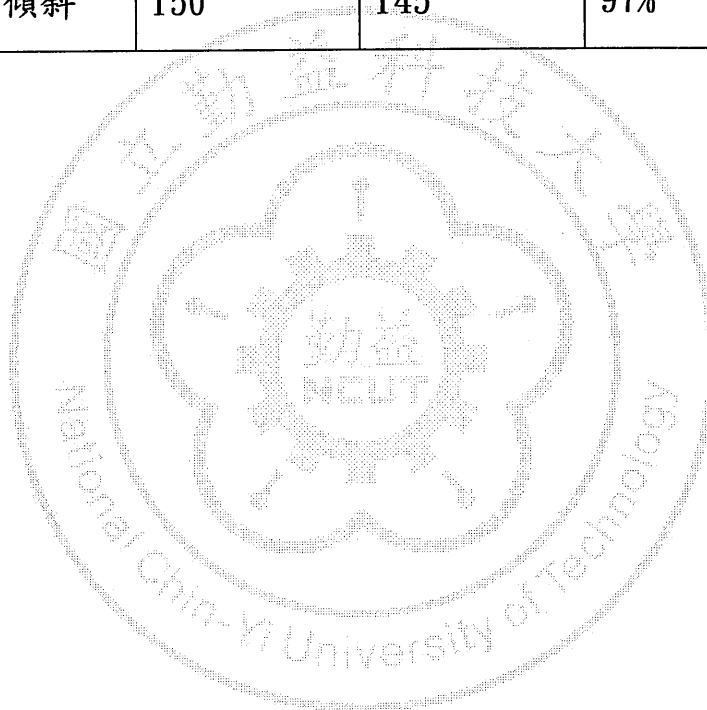
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	0.363	0.595	0.583	0.412	0.511	0.631	0.326	0.692	0.698
1	0.425	0.992	0.744	0.472	0.478	0.545	0.420	0.611	0.567	0.466
2	0.605	0.610	1.006	0.757	0.470	0.542	0.404	0.646	0.733	0.623
3	0.709	0.564	0.762	1.007	0.431	0.843	0.626	0.565	0.934	0.697
4	0.489	0.817	0.600	0.509	0.963	0.511	0.657	0.423	0.618	0.527
5	0.841	0.585	0.628	0.807	0.451	1.017	0.850	0.471	0.892	0.704
6	0.819	0.406	0.467	0.589	0.527	0.741	0.980	0.307	0.809	0.545
7	0.371	0.752	0.767	0.568	0.456	0.599	0.429	0.964	0.793	0.562
8	0.614	0.402	0.541	0.612	0.397	0.538	0.611	0.373	1.019	0.592
9	0.801	0.411	0.617	0.573	0.341	0.508	0.541	0.488	0.703	0.982

表3-5 標楷體經校正後辨識結果

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	0.363	0.530	0.707	0.393	0.648	0.798	0.481	0.760	0.893
1	0.450	1.045	0.632	0.539	0.698	0.481	0.420	0.615	0.625	0.513
2	0.687	0.724	0.983	0.826	0.522	0.543	0.607	0.681	0.769	0.710
3	0.779	0.613	0.791	1.029	0.503	0.738	0.893	0.710	0.893	0.825
4	0.549	0.844	0.477	0.607	0.956	0.526	0.594	0.531	0.802	0.573
5	0.834	0.629	0.624	0.852	0.567	0.960	0.932	0.652	0.897	0.800
6	0.868	0.406	0.449	0.729	0.536	0.798	0.986	0.581	0.827	0.755
7	0.410	0.752	0.763	0.757	0.522	0.563	0.506	0.961	0.749	0.597
8	0.655	0.402	0.679	0.768	0.514	0.656	0.750	0.594	0.965	0.805
9	0.814	0.416	0.594	0.703	0.285	0.671	0.679	0.618	0.683	1.001

表3-6 總辨識成果

	辨識次數	正確辨識	辨識率
固定放置	100	100	100%
手持正面	200	200	100%
手持傾斜	150	145	97%



第四章 視覺伺服之應用

視覺伺服主要是利用影像擷取信號進行回授，以驅動伺服馬達追蹤特定之信號源。為了將影像信號轉換成回授的物理量，通常需要進行快速的演算，才能來得及在控制週期內達成信號回授的處理。因此快速的演算法是視覺回授成功的基本要求。本章進一步延伸類小腦神經網路的演算法則，其可以快速判別影像的左右位置，由馬達驅動視訊擷取裝置快速追蹤物體，使其能位於視訊擷取裝置的正中央。本章將針對影像追蹤與馬達控制結合做介紹，進一步驗證類小腦神經網路的快速演算能力。

4.1 視覺伺服實驗架構

本論文所建構之視覺伺服架構如圖 4-1 所示，主要包括伺服控制卡、滑軌機構、主控電腦等等，以下針對這些單元作說明：

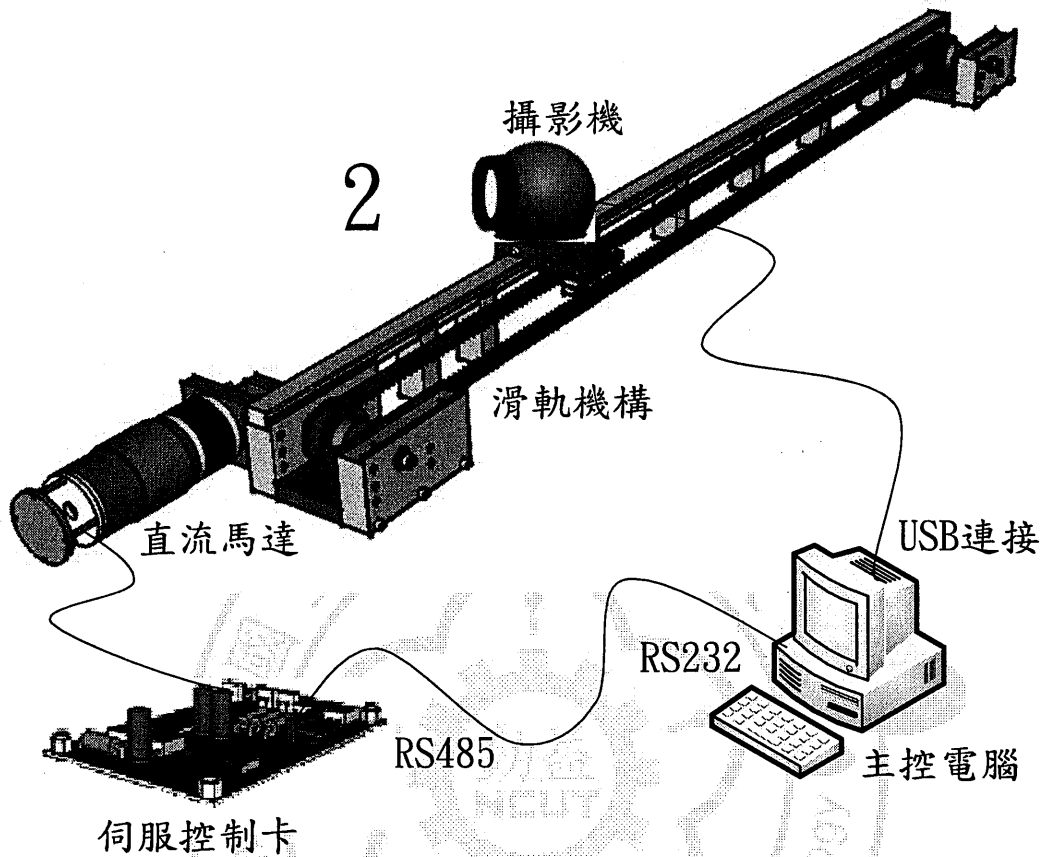


圖 4-1 視覺伺服系統架構圖

4.1.1 滑軌機構介紹

滑軌機構設計之示意圖如圖 4-2 及 4-3 所示，主要由一滑軌及固定基座所組成。滑軌上組設有一承載平台，平台(如圖 4-2 點 A 所示)上可依應用需求組設一適當之機構，主要會將攝影機搭載在此平台上。滑軌移動之控制則由一直流伺服馬達所驅動(如圖 4-3 點 A 所示)，

平台之移動是以皮帶搭配時規齒輪(如圖 4-3 點 B 所示)來傳動，以達到高速移動之效果。於滑軌二端並設置有馬達極限開關，以避免平台超過滑軌之極限。直流馬達設置在一端，藉由減速機及傘形齒輪(如圖 4-3 點 C 所示)傳動時規齒輪，使皮帶輪帶動滑軌上的平台移動。馬達可因應設計需求更換，如直流馬達或步進馬達皆能作為平台的驅動動力來源。

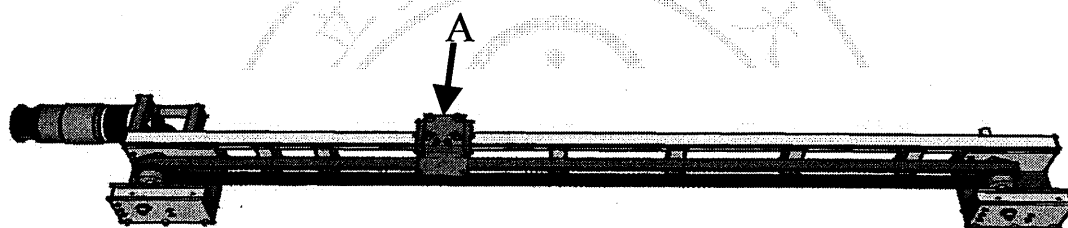


圖 4-2 滑軌設計架構圖

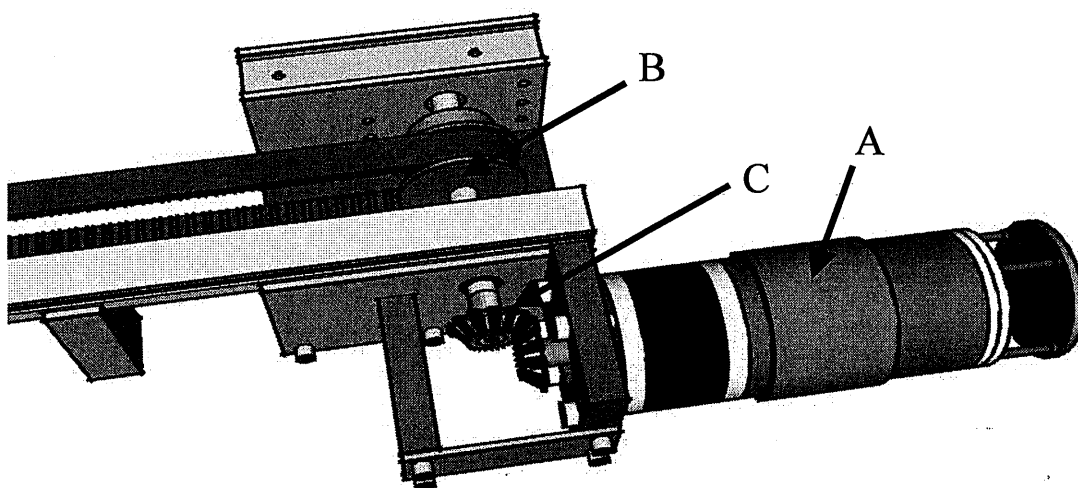


圖 4-3 滑軌架構示意圖

4.1.2 伺服控制卡設計

本文所設計之伺服控制卡以影像追蹤為應用對象，主要包括 PIC 微控制器、編碼回授信號處理、周邊信號處理及功率級驅動電路，圖 4-4 為數位式直流伺服系統的基本控制方塊圖，其中黃色區塊即為伺服控制卡。此伺服控制卡具備 RS232 埠以接收來自 PC 的命令，據以驅動滑軌向左或向右移動，使攝影機盡可能保持在追蹤體的正前方。

當 PC 擷取到一張影像時，首先進行擷取影像的演算，以判斷影像的特徵點是偏左、置中或偏右，並依偏移量的大小傳送數值到伺服控制卡，使滑軌進行追蹤之控制。伺服模組內的組成如圖 4-4 所示：

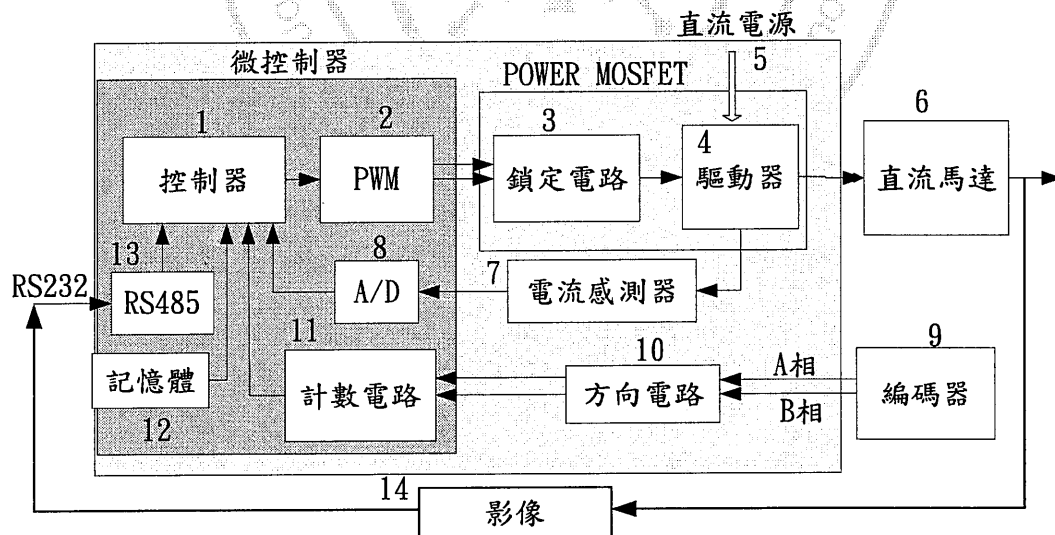


圖 4-4 直流伺服控制功能方塊圖

4.1.2.1 微控制器單元

隨著微控制器的技術發展，許多的周邊功能均已整合到晶片內部，如 A/D、TIMER/COUNTER、PWM、UART 及中斷等，大大增加了使用上的方便性，其中 RS485 可作為晶片及周邊的信號傳遞介面，方便控制命令的接收。

4.1.2.2 驅動電路

習用的驅動電路為橋式電路，由電晶體或 MOSFET 等組合而成。而由於類似電路的應用相當普及，早期由多顆晶體組合並配合分相錯開(lock-out)電路的設計方式，逐漸由專用功率晶體模組所取代。本文所設計之驅動電路則採用 SGS-THOMSON 公司的 L6203 全橋式驅動器[18]，其最高切換頻率可達 100kHz，最大峰值電流達 5A，並具過熱自我保護功能，且容易直接與微控制器連結進行控制，使得控制卡的體積可以縮小。而於主要電流路徑串接小阻值之功率電阻，亦能輕易的取得電流信號，如圖 4-5 所示[19]。

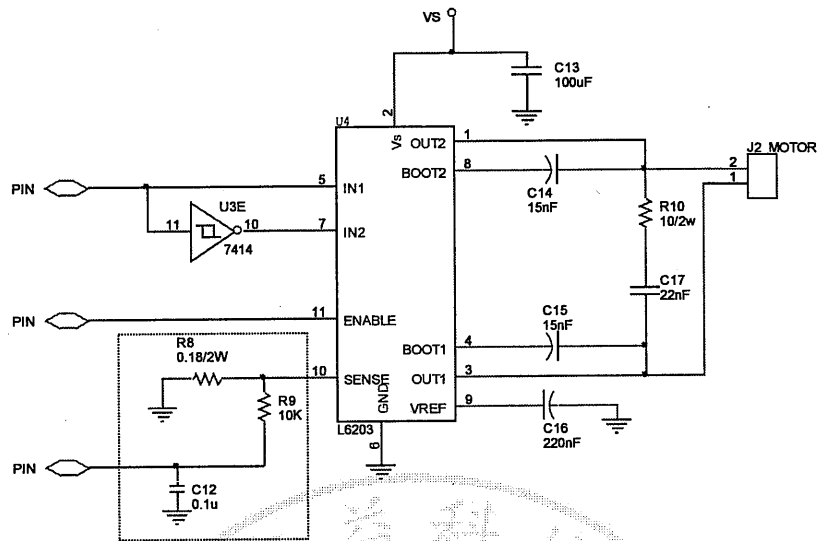


圖 4-5 直流馬達驅動電路

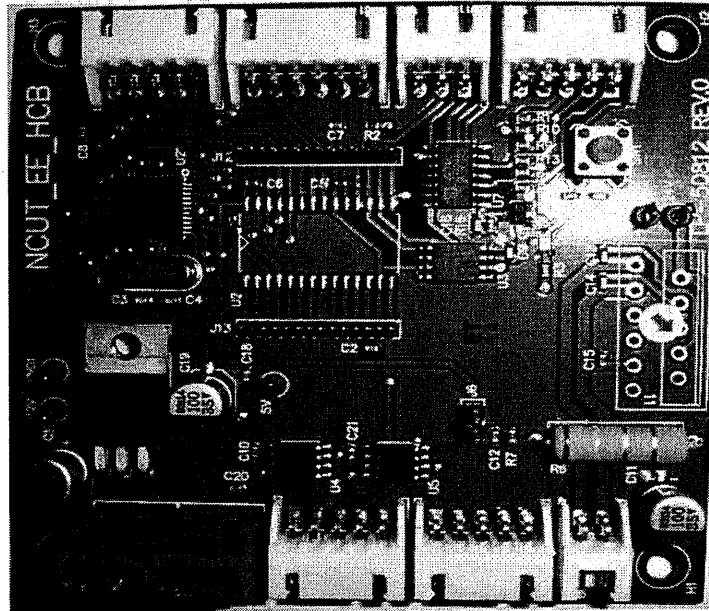


圖 4-6 伺服控制卡

4.1.2.3 方向判別

一般市售之伺服馬達皆附有編碼器，此編碼器的信號線有四條，其中分別為電源、接地和二條相差 90 度的 A、B 二相。由於馬達轉動時，不論正反轉皆會產生脈衝，單一計數器無法正確定義正反轉脈衝信號。因此必須以二個計數器分別計數正轉反轉之信號，再進行加減以換算得到絕對位置。本文主要的方式為影像之回授，判別馬達轉動的方向，進行目標物追蹤。

4.1.2.4 控制程式設計

伺服控制卡必須依所接收之命令，完成伺服控制之任務。控制模組主控制程式為數位式之控制流程。配合所採用之晶片及周邊，除了必須作相對應的初始規畫，如中斷功能的設定、計時/計數器的規畫、capture 模式設定、PWM 的初始化等。而本文的伺服控制卡以 RS232/RS485 來進行通信，UART 中斷程式需加以設計，其主控板的流程圖如 4-7 所示。

4.1.3 主控電腦

本論文視覺伺服的主控電腦可以 PC 來進行，其優點是易於與先

前所建置之字元辨識系統相結合，方便資料的顯示及分析。視覺伺服控制 PC 端的操作人機介面如圖 4-9 所示，同樣利用 BCB6(Borland C++ Builder 6)進行設計。人機介面進行影像追蹤操作所需之移動判斷，規畫完之轉動命令，經由 PC 既有之 RS232 介面傳到伺服控制卡，伺服控制卡再依所接收命令驅動滑軌之平移。PC 端程式介面的控制流程如圖 4-8 所示。

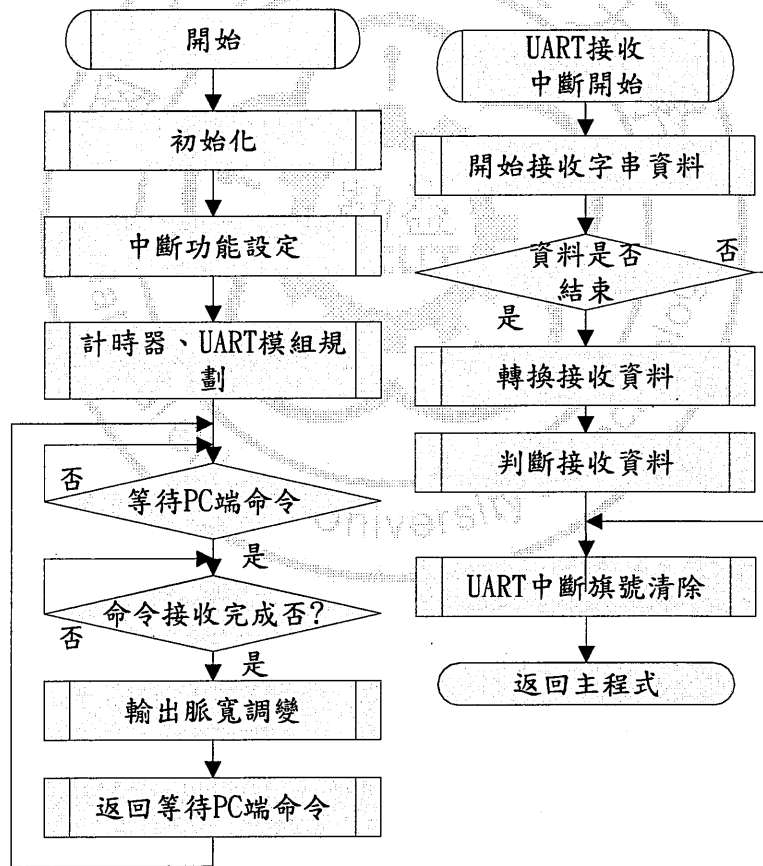


圖 4-7 主控版的程式流程圖

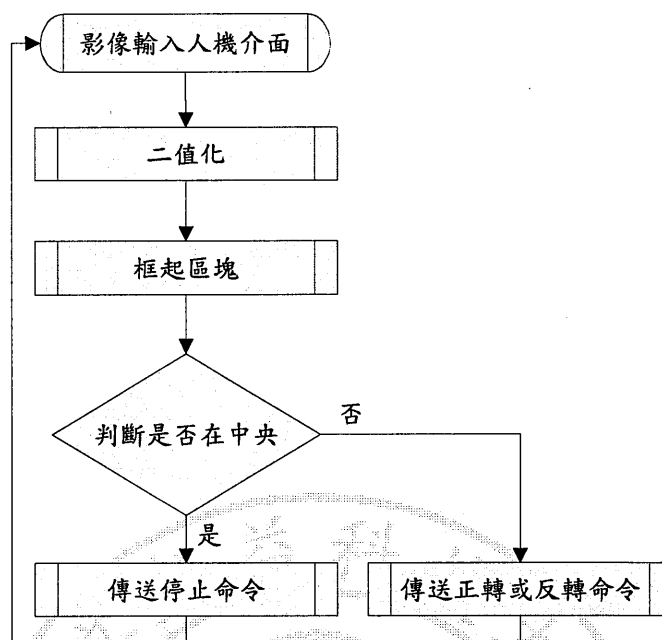


圖 4-8 影像追蹤之流程圖

4.2 實測方法與結果

針對影像伺服控制之應用，主要實施之軟硬體為：

硬體：

- 個人電腦(Q9500 2.83 GHz，3.25GB RAM)
- 攝影機(Logitech V-UM14)
- 滑軌機構
- 電控板

軟體：

- Borland C++ Builder 6 (影像追蹤)
- MPLAB(電控板接收命令及輸出 PWM)

4.4.1 影像追蹤之區塊

在執行追蹤之前，我們必須先將要追蹤的區塊圈出來，在這部分，我們使用前面有提到過的將 RGB 值以 0 到 255 表示，當 RGB 的值皆大於 100 時，將認為是我們要的區塊，而根據區塊的位置來判斷是否在中央，如果非中央則滑軌將會移動，直到目標物在中央。

4.4.2 目標物判斷

在前面提到的目標物框選後，主要針對 X 軸做一維控制，目標物圈起的左邊像素位置與左邊線的差值，和目標物圈起的右邊像素位置與右邊線的差值，此兩個差值做相減，則可以判斷接近左邊或右邊，當差值差別不大時，則是認為在正中央，如圖 4-9 到 4-11 所示。

4.4.3 執行轉動命令

人機介面上所看到的圖像有偏左或是偏右，而將會透過

RS232/RS485 傳送轉動的命令給主控板，而主控板接收到命令會使馬達轉動，當影像畫面到達中央時，則會再透過 RS232/RS485 將停止的命令傳送給主控板，因此可以持續的追蹤目標。

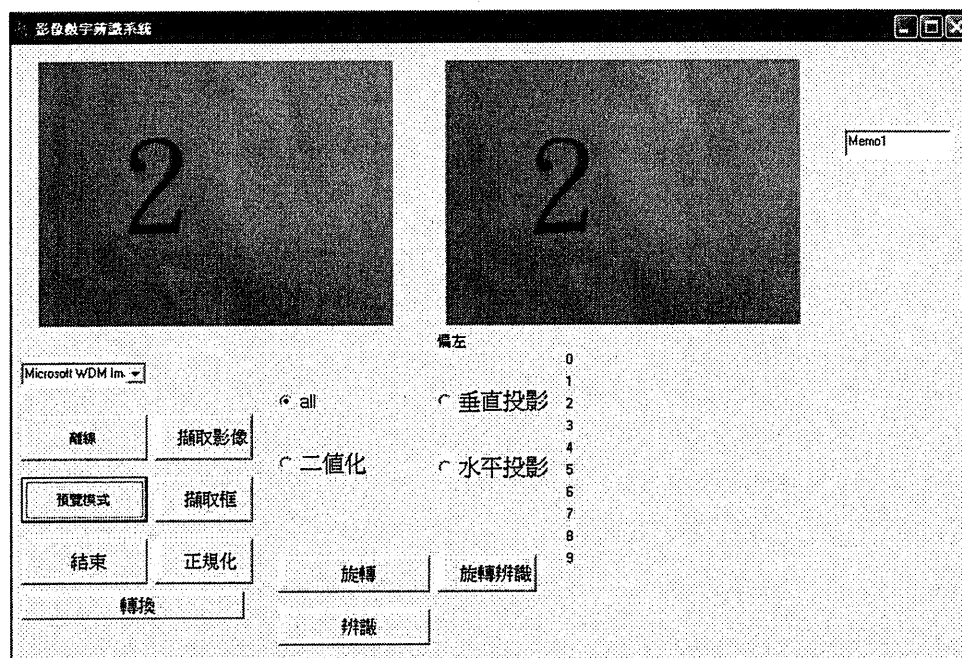


圖 4-9 圖像偏左人機介面

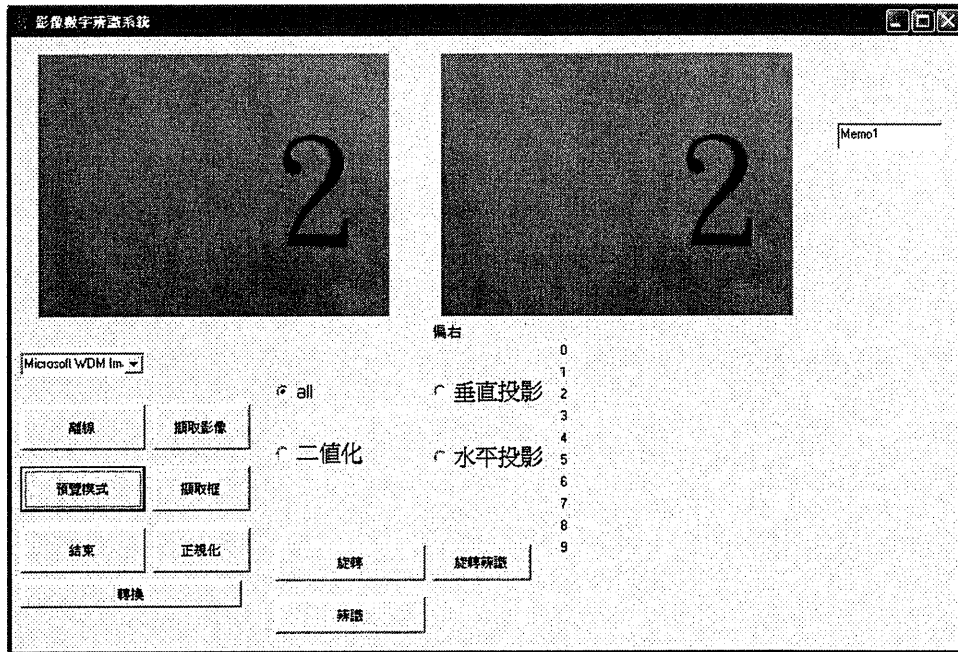


圖 4-10 圖像偏右人機介面

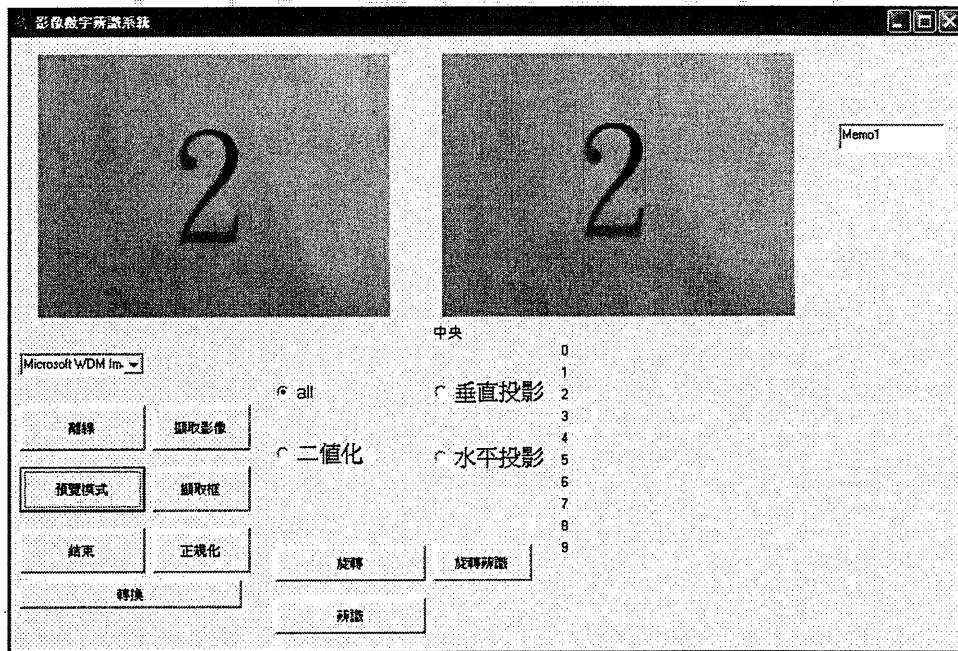


圖 4-11 圖像在中央人機介面

第五章 結論與未來研究方向

5.1 結論

本論文成功的提出一種新的類小腦神經網路系統以辨識阿拉伯數字，此辨識方法加入了姿態調整來解決阿拉伯數字處於非理想垂直的狀態，以提高字元的辨識率。相較於已知的技術，此辨識系統有較快的訓練速度、較低的記憶體消耗、高的雜訊抑制能力和較為簡單的計算。以類小腦神經網路辨識系統可建立多種字型的樣本，對於不同的字型進行訓練與辨識。本文針對三種字型做訓練及辨識，其訓練速度快，也有高辨識效果。而進一步將此系統結合伺服控制，以應用於一維之視覺伺服控制，利用 CMAC 快速辨識目標物所在方位，再依方位之誤差驅動滑軌上之攝影機，以使讓目標物可以保持在鏡頭中央，實際測試亦驗證了其有效性。

5.2 未來研究方向

本論文提出的類小腦神經網路辨識系統及視覺伺服控制之應用，其可運用於各領域，針對不同領域可做不同的修改，而需要增加其研究部份：

- (1) 在字元辨識部分，增加英文字母的辨識，以其可以運用於車牌辨識部分。
- (2) 加入整排的字元辨識，而非單一字元辨識，可使應用方面更廣。
- (3) 針對字元校正部分，找尋其判斷傾斜角度方法，能更快速的校正字元，以利辨識。
- (4) 在機構方面，目前為一維的視覺伺服控制，能夠準確的追蹤目標，而可將改為使用二維的視覺伺服控制，使追蹤能達到全方面的追蹤。
- (5) 追蹤部分，依照不同的需求增加影像之判別，以減少目標物誤判問題，增加追蹤的準確度，其可用於人臉追蹤等方面。

參考文獻

- [1] 張經民，“以新型距離探測系統完成環境辨識和即時車型機器人控制”，碩士論文，國立中央大學電機工程學系，2005年6月。
- [2] Neng-Sheng Pai, Sheng-Fu Huang, Ying-Piao Kuo, Chao-Lin Kuo, “License plate recognition based on extension theory”, *IEEE Computer Communication Control and Automation*, pp. 164-167, Oct. 2010.
- [3] 林家緯，“以統計數據為基礎的車牌影像處理與辨識方法”，碩士論文，國立中山大學機械與機電工程學系，2006年6月。
- [4] 洪清寶，王孟輝，白能勝，喻國滿，“類小腦模式神經網路之空調系統故障診斷”，*勤益學報*，第20卷，第一期，第41-56頁，6月，2002。
- [5] 廖高進，“類小腦為基礎之神經網路應用於充氣電纜漏氣點障礙診斷”，碩士論文，逢甲大學電機工程所，台中，2006年6月。
- [6] 洪文斌，陳奕志，陳俊文，陳志遠，廖維中，“嵌入式車牌辨識系統之建構”，*第一屆台灣軟體工程研討會*，2005年6月。
- [7] Paul D. Gader, James M. Keller, Raghu Krishnapuram, Jung-Hsien Chiang, Magdi A. Mohamed, “Neural and fuzzy methods in handwriting recognition”, *IEEE Computer*, pp. 79-86, 1997.
- [8] Lihong Zheng, Xiangjian He, Qiang Wu, Tom Hintz, “Learning-based number recognition on spiral architecture”, *IEEE Control, Automation, Robotics and Vision*, pp. 1-5, Jun. 2006.
- [9] Mohini Nalawade, Manoj Pawar, Vijay Pophale, Prabhat Kumar Maurya, “Vocal digit recognition using artificial neural network”, *IEEE Computer Engineering and Technology*, vol. 6, pp 88-91, Oct. 2010.

- [10] Jian Wang, Jingfeng Yang, Shaofa Li, Qiufang Dai, Jiaying Xie, "Number image recognition based on neural network ensemble", *IEEE Natural Computation*, pp. 237-240, Jul. 2007.
- [11] 王進德，類神經網路與模糊控制理論入門與應用，全華科技圖書股份有限公司，2007年。
- [12] 周政宏，神經網路理論與實務，松崗電腦圖書資料股份有限公司，1996年。
- [13] D. O. Hebb, *The Organization of Behavior*. New York: *Wiley*, 1949.
- [14] F. Rosenblatt, "Perceptron simulation experiments", *Proc. of the IRE*, vol. 48, pp. 301-309, 1960.
- [15] J. J. Hopfield, "Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities", in *Proc. Nat. Academy Sci., USA*, vol. 79, pp. 2554-2558, 1982.
- [16] J.S. Albus, "A new approach to manipulator control: the cerebellar model articulation controller (CMAC)", *Trans. ASME J. Dynam. Syst. Meas. And Contr.*, vol. 97, pp. 220-227, 1975.
- [17] Y. F. Wong, A. Sideris, "Learning convergence in the cerebellar model articulation controller", *IEEE Trans. on Neural Network*, vol. 3, no. 1, pp. 115-121, 1992.
- [18] SGS-THOMSON, "L6201/L6201P/L6202-L6203 Data Sheet", 1995.
- [19] Microchip Technical Library CD-ROM application note 696, 2007.

作者簡介

姓名：蔡秉承(Bing-Cheng Tsai)

出生日期：民國七十五年十月十三日

籍貫：彰化市

學歷：

國立勤益科技大學 電機工程研究所 (98.9~100.8)

國立勤益科技大學 電機工程系 (94.9~98.6)

國立彰師附工 電機科 (91.9~94.6)

著作論文：

- [1] Chin-Pao Hung, Bing-Cheng Tsai, "Character recognition using CMAC neural network approach," *ILT* 2011.