

南臺科技大學

資訊工程系碩士班

碩士學位論文

加權特徵字模比對法之創新設計與效能評估

**A Novel Design of Characteristic Font Template Matching
Method and its Efficiency Evaluation.**

研 究 生：李美億

指導教授：鄞宗賢

中華民國一一二年六月





南臺科技大學 碩士論文

加權特徵字模比對法之創新設計與效能評估

研究生：李美億

本論文業經審查及口試合格特此證明

論文考試委員

陳朝鈞

陳朝鈞

林朝興

林朝興

鄧宗賢

鄧宗賢

指導教授

鄧宗賢

鄧宗賢

所

長

鄧宗賢

鄧宗賢

中華民國一十二年六月三十日

加權特徵字模比對法之創新設計與效能評估

摘要

在光學字元辨識(Optical Character Recognition)的過程中，可分為全圖掃描、目標鎖定、字元辨識三大階段。其中，字元辨識是將目標影像判斷是何字元的最終重要步驟，其方法大致有模板比對法(Template Matching)與特徵比對法兩大方向。模板比對法是逐一比對像素點，較基本且直觀的字元辨識方式，而特徵比對是把字元筆畫經過向量轉換或點密度分布統計來辨識字元。本論文是結合模板比對與特徵比對兩種方法之優點，設計出一種加權特徵字模比對法，以模板為基礎設計字元的關鍵特徵比對點，減少模板多餘的比對像素，並在近似易誤判字元之間增加加權特徵比對點，以強化近似字元間的差異。最後，蒐集實際的車牌字元影像作統計實驗，在變異量、鑑別率、辨識率、計算效率上與常見之模板比對法做比較，由實驗結果證實，此方法在整體數據上皆呈現相對穩定且優異的結果。

關鍵詞：影像辨識、光學字元辨識(OCR)、模板比對法(Template Matching)、字元骨架(skeleton of a character)、特徵比對(feature comparison)

目錄

摘要.....	i
目錄.....	ii
表目錄.....	iv
圖目錄.....	v
1、緒論.....	1
1.1 研究目的與背景	1
1.2 模板與特徵辨識方法之特性與優缺點	2
1.3 論文架構	4
2、研究背景介紹.....	5
2.1 車牌偵測	5
2.1.1 邊界資訊	6
2.1.2 全局特徵	6
2.1.3 紋理特徵	6
2.1.4 顏色特徵	6
2.1.5 字元特徵	6
2.2 車牌切割	7
2.2.1 像素連通性	7
2.2.2 剖面投影	7
2.2.3 字元先驗知識	7
2.2.4 字元輪廓	8
2.3 字元辨識	8
2.3.1 模板比對	8
2.3.2 特徵比對	8
2.4 台灣車牌的字元種類	9
3、關鍵字元筆畫之模板設計.....	11
3.1 特徵字模模板比對之方法設計	11



3.2 字筆畫粗細對符合度的影響	13
3.3 字位置偏移對符合度的影響	14
3.4 破碎與雜訊對符合度的影響	15
4、提高近似字元鑑別率之特徵加權設計.....	16
4.1 近似字元鑑別率之意義	16
4.2 加權特徵字模的設計原則	19
4.2.1 字元筆畫多於近似字	19
4.2.2 字元筆畫少於近似字	20
4.2.3 近似字元間筆畫轉角之直角或圓角	21
4.2.4 字元筆畫部分近似	22
4.3 字元間之加權關係對照表	24
5、實驗結果與效能分析.....	31
5.1 不同模板比對法之實際資料變異量	33
5.2 不同模板比對法之近似字元的鑑別率	35
5.3 不同模板比對法之辨識準確率	37
5.4 不同模板比對法之計算效能	44
5.5 傳統 OCR 與機器學習之技術討論.....	45
6、結論.....	46
7、參考.....	47

表目錄

表 3-1、字元筆畫粗細不同時兩種字模比對符合度對照表.....	13
表 3-2、字元偏移時兩種字模比對符合度對照表.....	14
表 3-3、字元破碎與雜訊兩種字模比對符合度對照表.....	15
表 4-1、實際字元與近似字模比對符合度表.....	16
表 4-2、全部英數字交叉比對符合度.....	18
表 4-3、特徵字模相對應之近似字所修改之筆畫為加權特徵字模對照表.....	24
表 5-1、混淆矩陣.....	37
表 5-2、各種模板比對法之準確率.....	39
表 5-3、各種字模比對法之計算效能.....	44



圖目錄

圖 1-1、標準字模、目標影像、比對結果.....	1
圖 1-2、二值化影像、細線化、細線化後分割成 9 個區塊.....	1
圖 1-3、二值化影像、在輪廓線上等距採樣建立離散輪廓點.....	1
圖 1-4、灰階影像、Sobel 濾波後的輪廓線.....	2
圖 1-5、二值化值方圖統計、標準字值方圖特徵、實際值方圖特徵.....	2
圖 1-6、標準字模比對缺點示意圖.....	3
圖 1-7、字元骨架特徵示意圖.....	3
圖 1-8、字元骨架特徵比對缺點示意圖.....	4
圖 2-1、車牌辨識流程圖.....	5
圖 2-2、全圖輪廓特徵.....	5
圖 2-3、偵測車牌位置.....	6
圖 2-4、原始車牌影像.....	7
圖 2-5、幾何校正後的車牌影像.....	7
圖 2-6、正規化到固定模板大小的單一車牌字元影像.....	7
圖 2-7、台灣六碼車牌標準字模.....	10
圖 3-1、字元 0 的特徵字模.....	11
圖 3-2、英數字共 34 個特徵字模設計圖.....	12
圖 3-3、字元筆畫較細、標準、字元筆畫較粗.....	13
圖 3-4、偏左、標準、偏右.....	14
圖 3-5、破碎、標準、雜訊.....	15
圖 4-1、目標字元 0 比對特徵字模 D、目標字元 D 比對特徵字模 0、目標字元 8 比對 特徵字模 B、目標字元 B 比對特徵字模 8.....	16
圖 4-2、特徵與加權特徵字模 0 比對近似字元 C、U 的符合度.....	19
圖 4-3、特徵與加權特徵字模 0 比對近似字 8、Q 的符合度.....	20
圖 4-4、特徵與加權特徵字模 0 與 D 相互比對符合度.....	21
圖 4-5、特徵與加權特徵字模 8 與 B 相互比對符合度.....	21
圖 4-6、特徵與加權特徵字模 H、M、N 相互比對符合度.....	23
圖 5-1、不同模板比對法之實際資料變異量.....	34

圖 5-2、近似字元間不同模板比對法之鑑別率..... 36



一、緒論

1.1 研究目的與背景

字元辨識的技術，主要有兩大方向，一是模板比對法，把預先知道的標準字模與目標字元影像做逐一像素點的比對(如圖 1-1 示意圖)，通常用在二值化影像上。

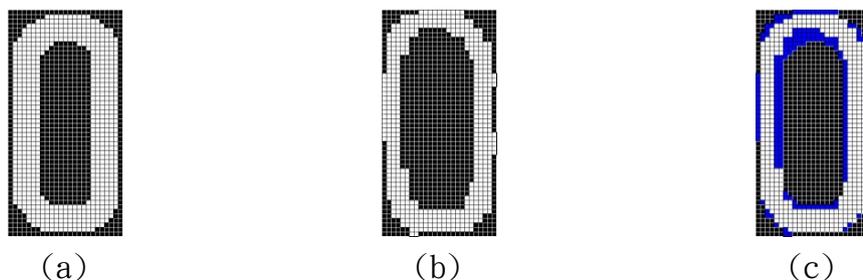


圖 1-1(a)標準字模、(b)目標影像、(c)圖(a)與(b)的比對結果。
藍色為比對有差異的像素點。

二是特徵比對法，字元特徵可分為前景的骨架、輪廓、背景的空白區等等。骨架是從二值化影像細線化後的字元筆畫計算出不同的特徵型態來辨識字元(如示意圖 1-2[1])。輪廓可由二值化影像提取(如示意圖 1-3[2])或用特定濾波器在灰階影像做邊緣檢測提取(如示意圖 1-4[3])，再針對輪廓圖計算出特徵向量做比對。亦可將二維之二值化影像經過直方圖統計出字元之一維的像素點密度分布特徵做為辨識依據(如示意圖 1-5[4])。

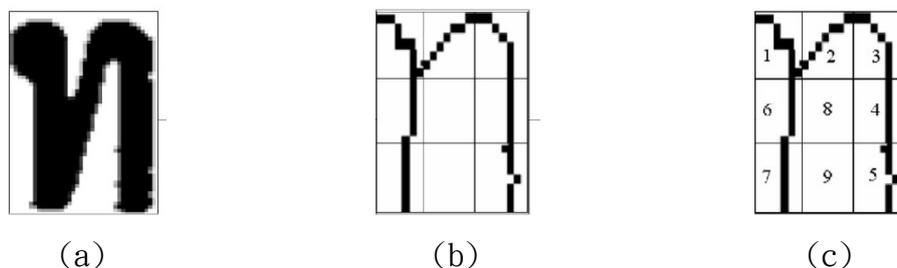


圖 1-2(a)二值化影像、(b)細線化、(c)細線化後分割成 9 個區塊，每個區塊依筆畫特性建立特徵屬性。圖片資料來源[1]。

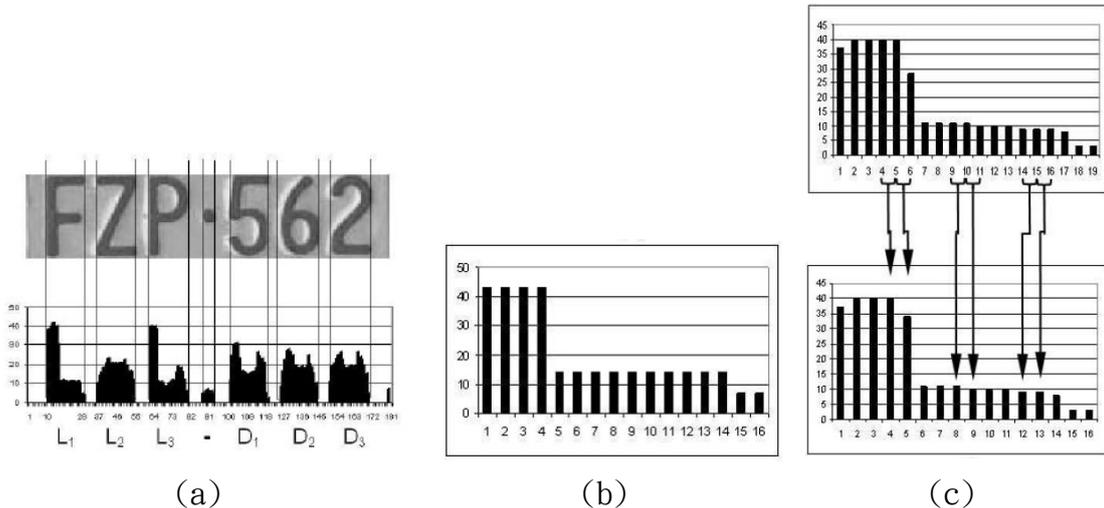


圖 1-3(a)二值化影像、(b)在輪廓線上等距採樣建立離散輪廓點，採樣點的值與展開輪廓的變化有關，由此來量化離散輪廓。圖片資料來源[2]。



(a) (b)

圖 1-4(a)灰階影像、(b)Sobel 濾波後的輪廓線。圖片資料來源[3]。

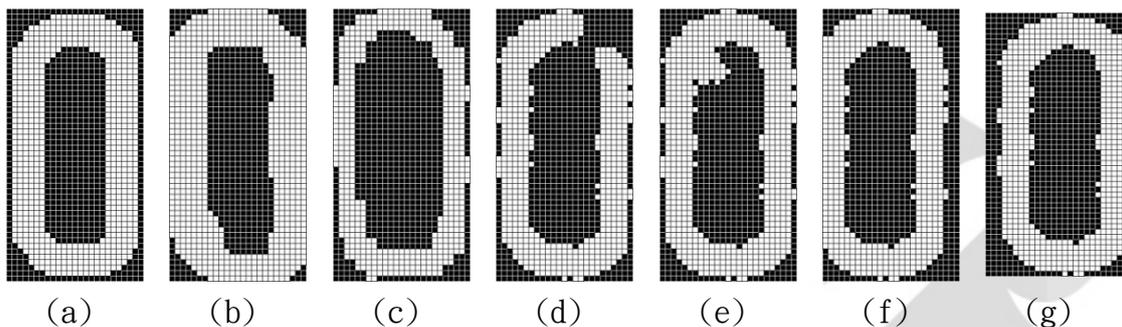


(a) (b) (c)

圖 1-5(a)二值化值方圖統計、(b)標準字值方圖特徵，定義 16 為字元寬度，依垂直方向紀錄筆畫黑點數量、(c)實際字元值方圖特徵，如果實際字元寬度大於預先定義值(上圖)，則必須減少至一致寬度再做比較(下圖)，此圖範例為減少 3 像素寬度。圖片資料來源[4]。

1.2 模板與特徵辨識方法之特性與優缺點

在模板比對裡，所有的前景與背景像素點皆計算其符合度，優點是包含整體字元比對的內容，即使背景的空白區，其空白的位置與區域大小對字元辨識亦有其重要性；但不是所有像素點與對於辨識字元的重要性皆為等價，在影像品質較差時，字筆畫邊緣的像素點不穩定，如字元邊緣有突出的雜訊點時，正規化到字模比例大小時可能有偏差(圖 1-6(e)(f))，二值化門檻直的高低會造成字元筆畫粗細不同(圖 1-6(a)(b))，細微的破碎或雜訊(圖 1-6(c)(d))，這些因素皆會大幅度的影像符合度(圖 1-6(g)~(l))，也花費較多時間計算與字元辨識正確與否無關的資訊。



(a) (b) (c) (d) (e) (f) (g)

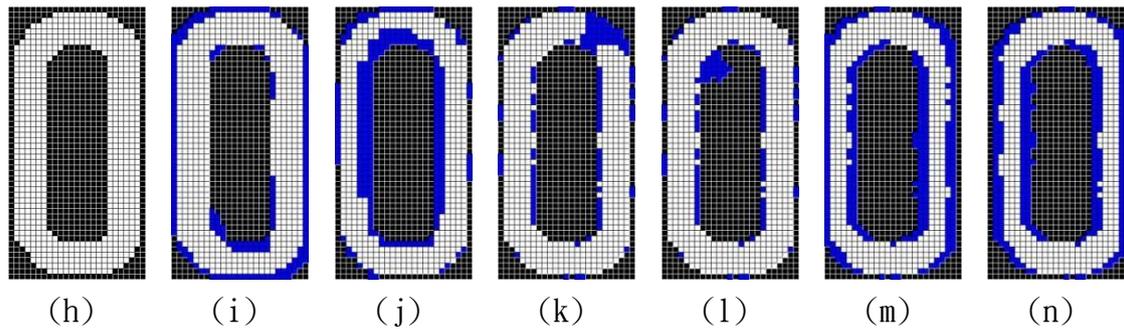


圖 1-6 標準字模比對缺點示意圖。(a)標準字模、(b)筆畫較粗、(c)筆畫較細、(d)破碎、(e)雜訊、(f)偏左、(g)偏右、(h)標準字模比對 100%、(i)筆畫較粗比對標準字模符合度 69.4%、(j)筆畫較細比對標準字模符合度 59.4%、(k)破碎比對標準字模符合度 80.5%、(l)雜訊比對標準字模符合度 83%、(m)偏左比對標準字模符合度 52.6%、(n)偏右比對標準字模符合度 51.7%。

相對的，目前主流的特徵比對方法，是將二值化影像做細線化處理後，針對細化的骨架分析它的向量，端點，分支數量或轉折點(圖 1-7)，再根據這些特性辨識字元。其優點是，只針對與字元筆畫的關鍵特徵做比對，因此字筆畫粗細不會影響符合度計算。缺點是，筆畫邊緣如出現雜訊，或破碎情況，細線化演算法的結果，筆畫可能產生多餘的分支或斷裂(圖 1-8)，因此所計算出的特徵值可能被扭曲，誤導辨識結果；另一個問題，是過於偏重前景特徵之辨識，忽略背景區域，雖然背景是空白區，看似無重要特徵，但其相對於前景區的位置與區域範圍大小，亦與辨識字元之判斷高度相關。

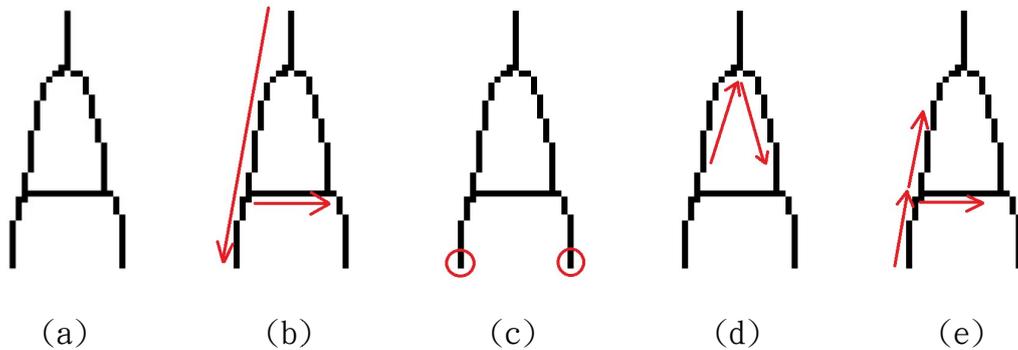


圖 1-7 字元骨架特徵示意圖。(a)字元 A 骨架、(b)筆畫向量、(c) 筆畫端點、(d) 筆畫轉折、(e) 筆畫分支。

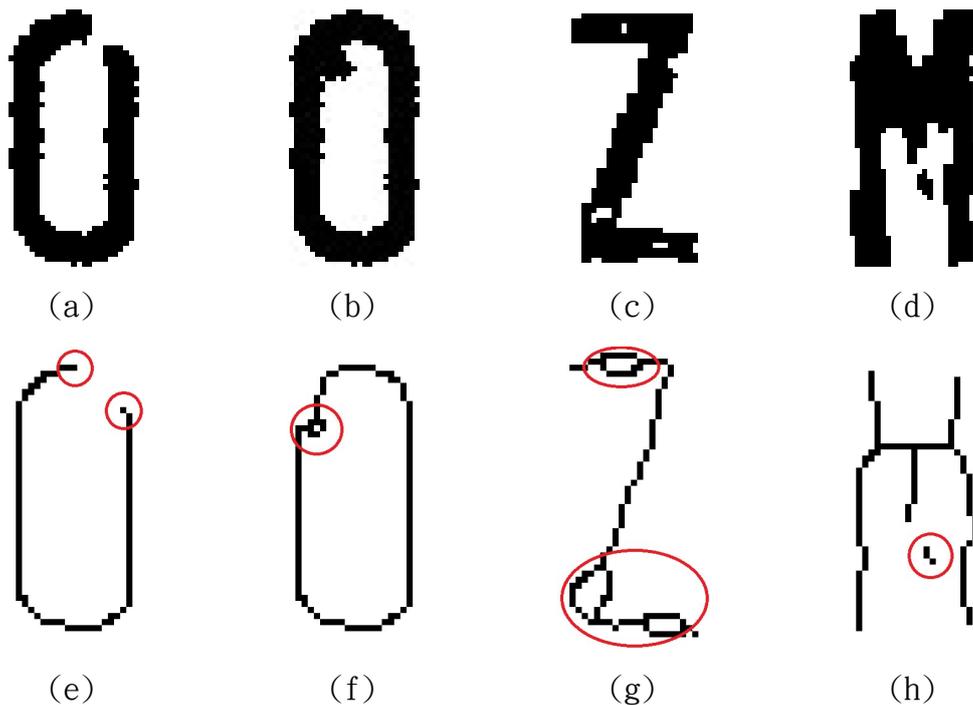


圖 1-8 字元骨架特徵比對缺點示意圖。(a)字元 0 破碎、(b)字元 0 雜訊、(c)字元 Z 破碎、(d)字元 M 雜訊、(e)圖(a)骨架特徵產生多於端點、(f)圖(b)骨架特徵產生多於分支、(g)圖(c)骨架特徵產生多於分支、(h)圖(d)骨架特徵產生多於特徵點。

因此，本論文以傳統模板比對法，兼具前景與背景的基本架構為基礎，導入細線化筆畫核心特徵之概念，忽略與字元特徵辨識無關區域之加權值，設計出一種加權特徵字模比對法，可兼具模板比對與特徵辨識兩大主流字元辨識演算法之優點，且大幅減少非必要之運算，提高辨識速度與效能。

1.3 論文架構

本論文第一章講述欲作此研究的目的與背景。第二章為與車牌辨識有關的文獻探討，說明在車牌辨識裡的整體流程，與各步驟所用到的相關技術。第三章為本論文所提出的特徵字模比對法。第四章為針對實務上易誤認字元之間，加強辨識之目的，調整特徵字模為加權特徵字模，以提升近似字之間的鑑別率。第五章為依據本研究收集之海量車牌字元資料，對於前述傳統及創新字模比對方法之統計分析。第六章為結論，說明本論文提出方法之實用價值與優勢。

二、 研究背景介紹

本論文所設計的特徵字模模板是以台灣六碼車牌的字型為標準，因此，本章節會先介紹車牌辨識的主要流程，大致可分為以下四個步驟，影像輸入、車牌偵測、車牌切割、字元辨識[5]，如圖 2-1。後續將說明流程內各個步驟目前常會使用到的技術內容。

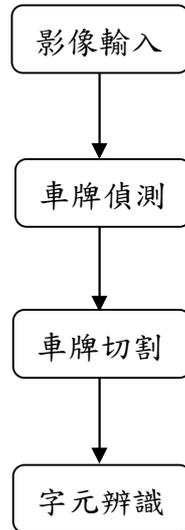


圖 2-1 車牌辨識流程圖

2.1 車牌偵測

因為影像是從各種不同角度與距離拍攝所取得，車牌可能在影像內的任何位置，或者單張影像不只一輛車牌，因此，需先在全圖搜尋車牌所在的位置(圖2-2、2-3)，大致可分類為以下幾種搜尋方法，邊界資訊、全局特徵、紋理特徵、顏色特徵、字元特徵[5]。

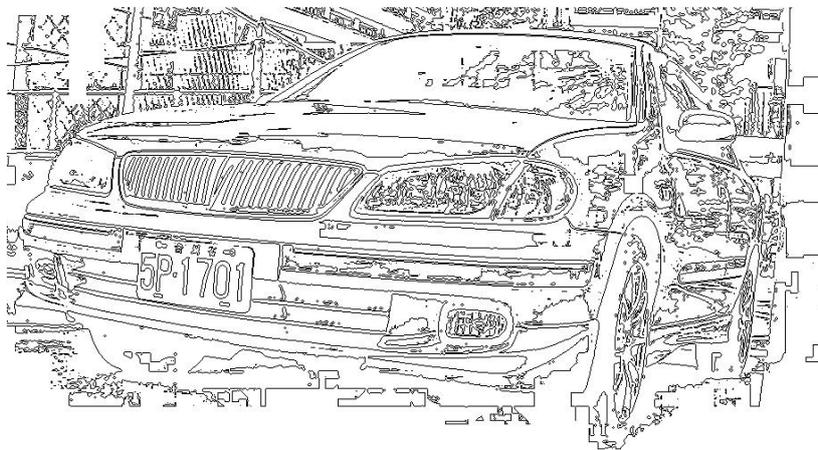


圖 2-2 全圖輪廓特徵

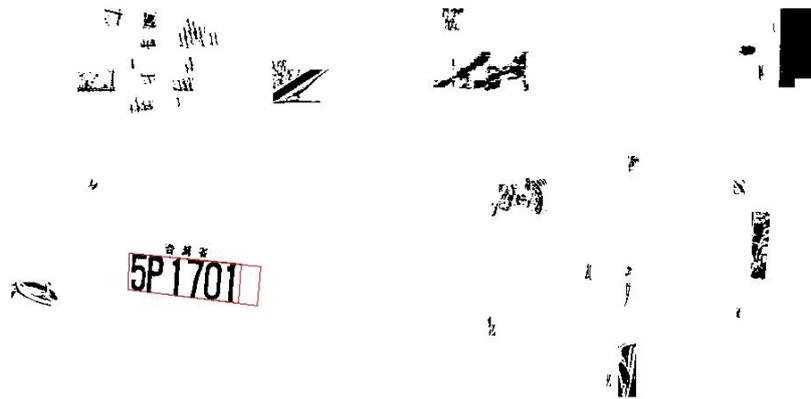


圖 2-3 偵測車牌位置

2.1.1 邊界資訊

邊界資訊是利用偵測車牌邊緣框的方法，再由邊界的連續線段結合形態學找出類似長方形的形狀，最常見的是用索貝爾濾波器 (Sobel filter)[6][7][8]-[14]來提取邊界線，但如果車牌本身無明顯的車牌邊緣框線則無法使用。

2.1.2 全局特徵

全局特徵是在二值化的影像裡，把相連通的像素標籤為某一物件[15]-[18]，並根據物件的長寬比來判斷是否為車牌，但如果車牌有嚴重的變形或扭曲則不適用。

2.1.3 紋理特徵

此方法依賴車牌內的字元與車牌背景間之亮度差異，來偵測出影像內某些區塊的亮度差異有較高頻的變換，表示這些區塊內可能有車牌[19]-[22]。

2.1.4 顏色特徵

車牌有不同的顏色設計標準，可通過 RGB、色調、亮度、飽和度等，統計出特定的顏色分配比例，來標記出有符合特定顏色分布的像素點，如果標記像素有部分連通區域的形狀是與車牌長寬比相同的矩形，則該區域被認為是車牌區域。但如果環境亮度不足如晚上時，則無法取得顏色資訊[23]-[25]。

2.1.5 字元特徵

車牌內的字元有某些共通的特徵，如字元的寬高有一定比例，字元有固定的字數組成橫排的排列方式，或字元之間間距寬窄等特徵。在影像中找到字元的相關資訊後以其所在區域來鎖定車牌位置。缺點是花費較多的計算時間，或影像

內有其他類似的字元特徵時，則容易誤判[26]。

2.2 車牌切割

確定車牌區域後，須把車牌內的字元逐一切割出來(圖 2-4、2-5、2-6)，切割字元的技術大致可分為以下幾種方法，使用像素連通性、使用剖面投影、使用字元的先驗知識、使用字元輪廓[5]。



圖 2-4 原始車牌影像



圖 2-5 幾何校正後的車牌影像



圖 2-6 正規化到固定模板大小的單一車牌字元影像

2.2.1 像素連通性

影像二值化後，對連續的像素進行標記，再對同一標記的像素進行分析，根據其大小和寬高比相同的標記視為車牌字元。缺點是當字元之間相互連接或有破碎時，此方法無法切割所有字元[10]、[18]。

2.2.2 剖面投影

將二值化影像的車牌垂直投影後，可以確定字元起始和結束的位置，然後依此投影後值得分布特性找出字元之間隔切割出單一字元。缺點是有陰影、髒汙等雜訊時會產生錯誤[27]、[28]、[24]、[4]。

2.2.3 字元先驗知識

將車牌投影到預先定義的車牌模板大小內，根據預先知道的字元數與字元在車牌模板內的固定位置來切割出字元，因為受到先驗知識的限制，如果實際影像有新的規則改變就會產生錯誤[29]、[12]、[30]、[31]。

2.2.4 字元輪廓

利用邊緣偵測演算法在灰階影像上找出概略的輪廓，再根據輪廓的梯度、曲率等特性切割出字元。缺點是計算耗時且如果輪廓不清楚時則無法使用[32]、[33]。

2.3 字元辨識

切割出單一字元後接著辨識出字元種類，也是屬於 OCR 的技術內容，會遇到的困難有字元在影像內的大小不同，這可以通過正規化到一致的大小來克服這個問題，另外有傾斜變形問題，可通過幾何運算來校正此問題(圖 2-5)，但字元筆畫粗細不同、雜訊或破碎的情況亦是會影響辨識結果的因素之一，這也是本論文提出方法主要想解決的問題。目前所使用的字元辨識技術大致可分為模板比對與特徵比對兩種[5]。以下針對此兩大類現有的方法做技術說明。

2.3.1 模板比對

模板比對(Template matching)是最簡單和直觀的方式來辨識字元，它會先把實際字元影像縮放正規化到與模板一致的大小後，計算模板與實際字元間的相似程度，通常用在二值化的影像上。模板比對可用於識別單一字體、非旋轉、非破裂和固定大小的字元。如果由於任何字體更改、旋轉或雜訊而導致字元與模板不同，則模板比對會產生錯誤識別[6]、[34]、[35]。

2.3.2 特徵比對

由於模板比對是每個像素點逐一比對，計算量較大，且不是所有像素點對於辨識字元皆同樣重要，因此發展出特徵比對，是只針對能明顯區別字元的特徵來計算其相似性。

以下列舉一些有使用特徵比對的相關文獻，做精簡的說明。在[1]中，先把字元二值化影像細線化後分割成 9 個區塊，然後將每個區塊內字元筆劃的方向轉換為一個代碼。在[3]中，使用了三個字元特徵，輪廓線交叉計數、方向計數和字元輪廓到影像邊界區的長度。在[4]、[36]中，是將二值化影像透過水平和垂直投影，分析其點數分布特性來計算字元特徵。

在[25]中，使用了字元的拓撲特徵包含洞、端點、三路節點和四路節點的數量來表示特徵。在[37]中，把字元經過霍特林轉換(Hotelling transformation)成特徵向量。在[38]中，二值化的字元影像分成 24 個區塊由 3×4 像素組成，每個區塊由 0~12 分別表示區塊內所占字元前景點數總和來表示字元特徵。在[39]中，將細線化後的二值化影像分成 3×3 區塊並計算具有 0° 、 45° 、 90° 、 135° 傾角的元素，並計算字元內相同角度出現的次數來表示特徵向量。

在[40]中，首先，在字元上邊界區間尋找中心點，和下邊界區間尋找中心點，

並把此上下中心點相連產生字元軸心線，然後沿著字元軸心線，尋找從字元的前景到背景轉換次數和筆畫之間的距離形成每個字元的特徵向量。

在[41]中，是把字元輪廓依據 X 軸，Y 軸， θ 角不同的特徵空間展開後的波形，等距離採樣，採樣值經過分級量化後產生為特徵向量。在[42]中，是使用 Gabor 濾波器用於特徵提取，結合了位置和方向訊息。在[43]中，Kirsch 邊緣檢測應用於八個不同方向的字元圖像來提取特徵。

2.4 台灣車牌的字元種類

台灣車牌號碼字體有六碼和七碼兩種字形，因七碼車牌本身字形設計即較容易辨識，車牌格式也有固定英文字母和數字排列順序，辨識上較少錯誤發生，因此本論文選用較難辨識的台灣六碼車牌之字形為主，執行車牌辨識前處理流程包含車牌提取，車牌切割，並正規化到字模模板大小 25×50 pixel 後，以其為標準字模如圖 2-7，分析用標準字模比對所產生的問題，並設計出能改善這些問題的加權特徵字模模板比對方法。

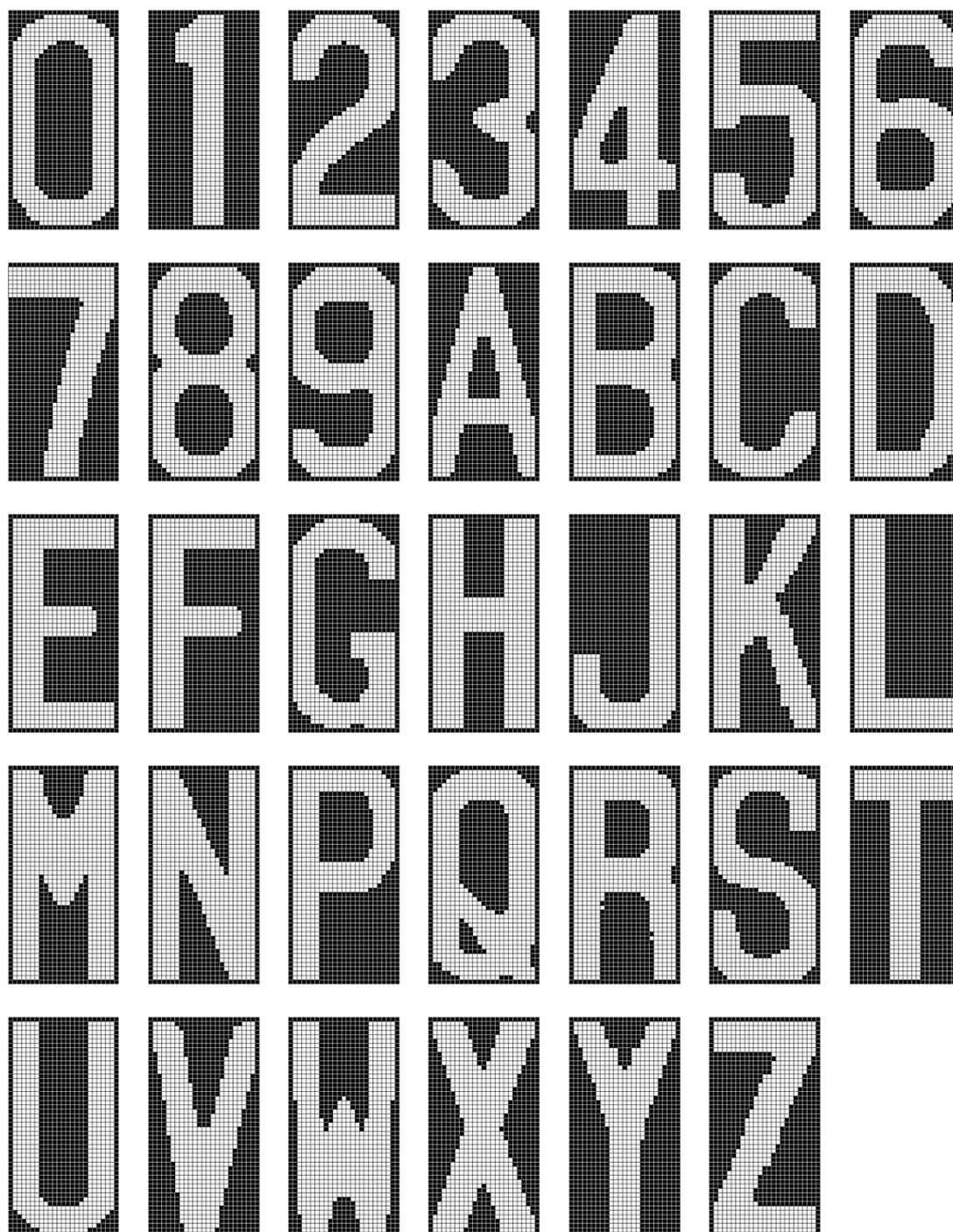


圖 2-7 台灣六碼車牌標準字模

三、 關鍵字元筆畫之模板設計

由於用標準字做模板比對，字元比畫胖瘦、偏移、雜訊和破碎會影響到符合度的差異，為了改善以上缺點，本論文提出了一種特徵字模比對法。本論文所設計的模板大小為 25×50 pixel，其顏色所示意思分別列舉說明，模板圖片的黑色為忽略區域，紅色為字元前景，綠色為背景，目標影像的白色為字元前景，黑色為背景，而藍色為模板與目標影像比對有誤的像素點。

3.1 特徵字模模板比對之方法設計

特徵字模的設計，首先觀察到字元筆畫走向，是以中心軸線為主，雖字元筆畫有粗細差異，但軸心位置相對變化不大，因此在字元筆畫中心畫紅色軸線，表示字元正相關比對點，背景部分，則在排除字元筆畫邊緣模糊區域之外，確定為背景的位置，每間隔 1 像素設計綠色的負相關比對點，如圖 3-1 所示，圖 3-2 為數字 0 到 9，英文 A 到 Z 排除英文字元 I、O 的特徵字模設計圖。

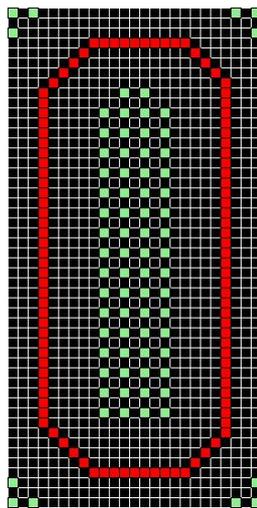


圖 3-1 字元 0 的特徵字模。

比對方式為模板的紅色點符合目標的前景像素值(白點)則加分，否則扣分；模板的綠色點符合目標字元背景像素值(黑點)則加分，否則扣分。數學公式如式(1)(2)。其中 T 為特徵模板， $T(x, y)=0$ 代表黑色點， $T(x, y)=1$ 代表紅色點， $T(x, y)=2$ 代表綠色點；I 為目標影像， $I(x, y)=1$ 是字元前景， $I(x, y)=0$ 是背景， n 為模板與目標影像比對吻合的像素點數， N 為紅點與綠點加總點數， R 為比對結果分數。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{if } T(x, y) = 1 \text{ and } I(x, y) = 1 \text{ then } n += 1 \text{ else } n -= 1 \\ \text{if } T(x, y) = 2 \text{ and } I(x, y) = 0 \text{ then } n += 1 \text{ else } n -= 1 \end{array} \right\} \dots \dots \dots (1)$$

$$R = \frac{n}{N} \dots \dots \dots (2)$$

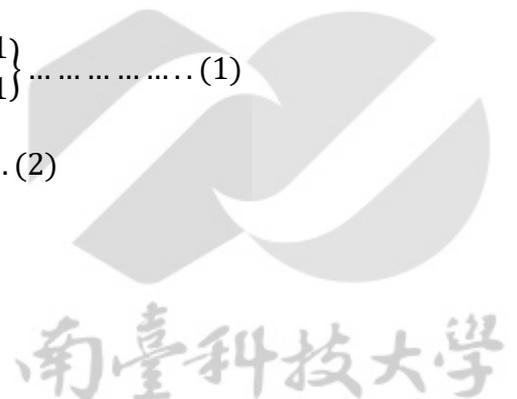




圖 3-2 英數字共 34 個特徵字模設計圖。

3.2 字筆畫粗細對符合度的影響

由於目標的二值化影像，容易受到閾值的高低而產生字元筆畫粗細不同的結果，此問題以本論文所設計之特徵字模比對，較不容易受字元筆畫粗細影響而產生符合度的劇烈落差。以下分別列舉字元筆畫較細、標準、較粗時比對的結果。

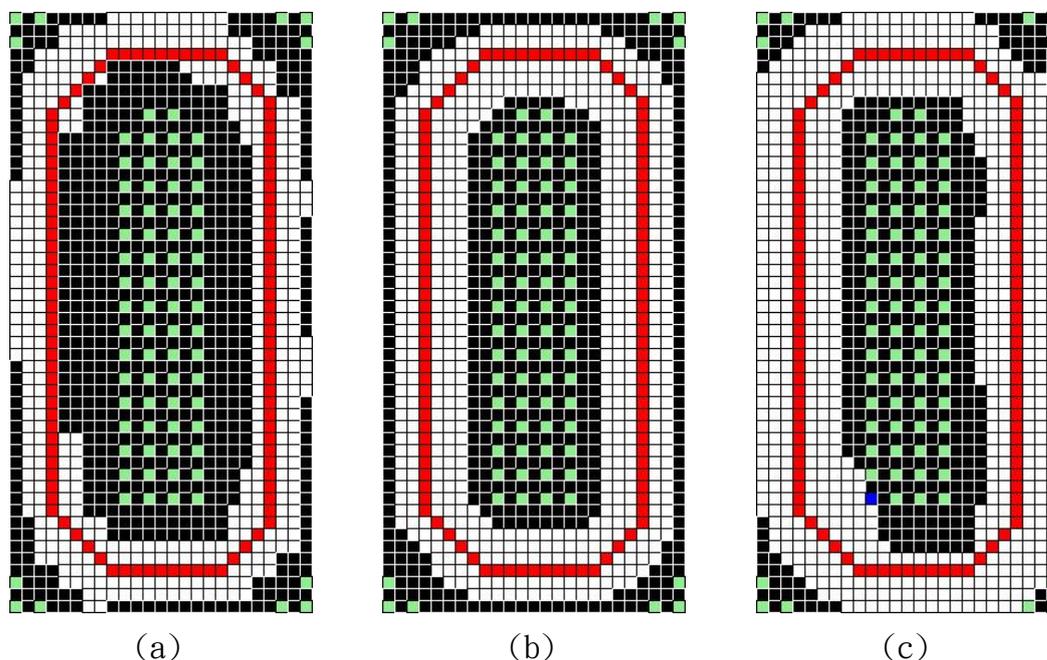


圖 3-3(a)字元筆畫較細、(b)標準、(c)字元筆畫較粗。

圖 3-3(a)~(c)的符合度分別為 100%、100%、98.9%，由此可見，字元筆畫粗細對特徵字模比對法影響符合度差異不大，與標準字模對應之符合度比較如表 3-1。

表 3-1 為圖 3-3 字元筆畫粗細不同時兩種字模比對符合度對照表。

	(a)細筆畫	(b)標準	(c)粗筆畫
標準字模比對	59.4%	100%	69.4%
特徵字模比對	100%	100%	98.9%

3.3 字位置偏移對符合度的影響

當實際影像裡的字元切割投影正規畫到預設字模大小時，因為浮點運算而產生截斷誤差，或字邊緣有雜點突出時，投影過程可能造成影像位置的偏移。以下分別列舉字元位置偏左、標準、偏右時用特徵字模的比對結果。

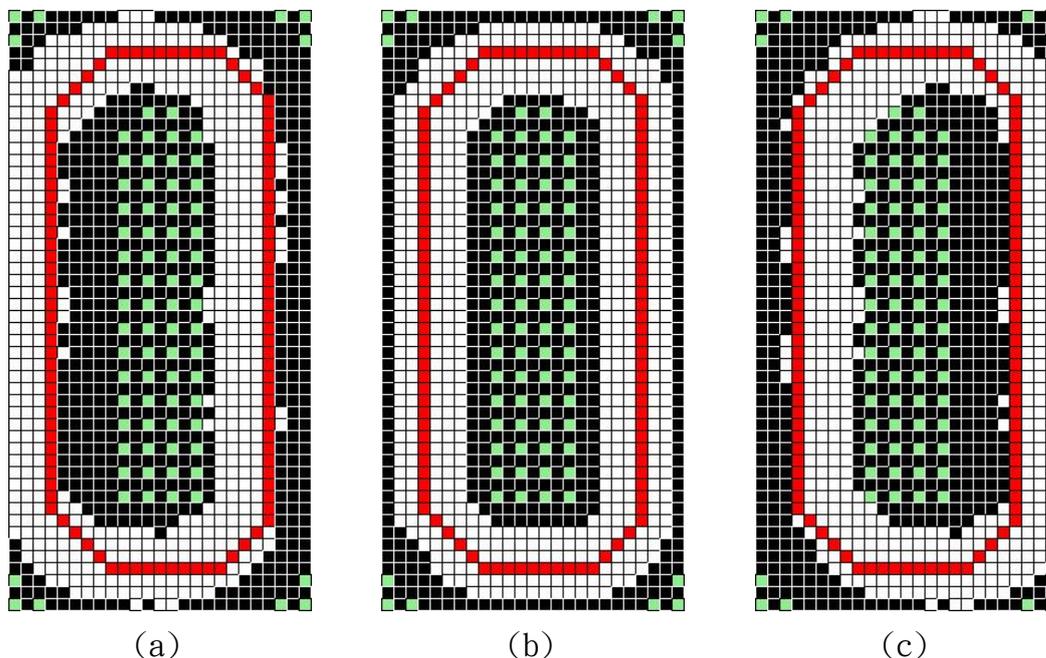


圖 3-4 字元位置偏移示意(a)偏左、(b)標準、(c)偏右。

表 3-2 字元偏移標準字模與特徵字模的比較，特徵字模的符合度分別為 100%、100%、100%，由此可見，字元投影後的位置偏移對特徵字模比對符合度影響較少。

表 3-2 為圖 3-4 字元偏移時兩種字模比對符合度對照表。

	(a)偏左	(b)標準	(c)偏右
標準字模比對	52.6%	100%	51.7%
特徵字模比對	100%	100%	100%

3.4 破碎與雜訊對符合度的影響

當實際影像產生反光或有髒汙時，二值化的影像則會產生破碎或雜訊，以下分別列出破碎、標準、雜訊的比對結果。

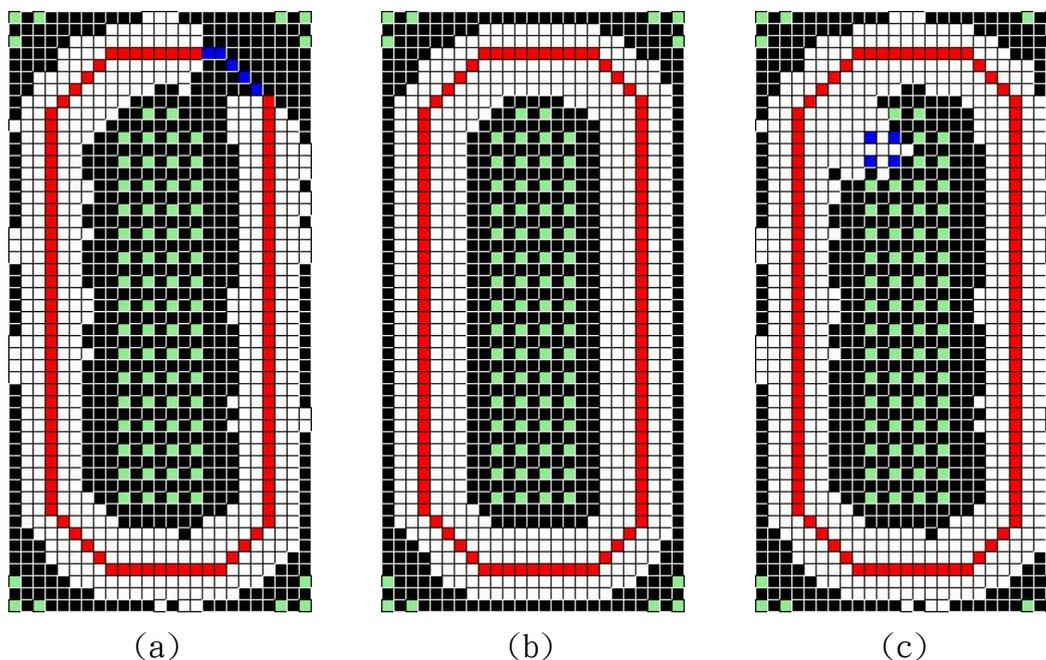


圖 3-5 字元破碎與雜訊示意(a)破碎、(b)標準、(c)雜訊。

圖 3-5(a)~(c)的符合度分別為 94.5%、100%、95.6%，由於特徵字模的前景與背景為正確比對點的基數較大，比對到錯誤點的比例較低，所計算出的符合度相對較高，因此，字元破碎與雜訊對特徵字模比對符合度的影響不大，與標準字模對應符合度如表 3-3。

表 3-3 為圖 3-5 字元破碎與雜訊兩種字模比對符合度對照表。

	(a)破碎	(b)標準	(c)雜訊
標準字模比對	80.5%	100%	83%
特徵字模比對	94.5%	100%	95.6%

從以上個案分析案例可看出，當字元有粗細、偏移、破碎或雜訊等狀況時，使用標準字模比對之符合度有較明顯的浮動，但使用特徵字模都能有比較高的符合度。

四、提高近似字元鑑別率之特徵加權設計

4.1 近似字元鑑別率之意義

特徵字模模板的設計，是保留筆畫特徵和排除與字元辨識較無關之過渡區域，以提高抗雜訊能力達到穩定符合度的概念，在相同字元比對時，可明顯看出符合度的偏差受雜訊干擾幅度減少。但在辨識某目標為何字元的過程中，需把目標與不同字元之字模做比對，取其符合度最高值之字元為結果。

由於部分字元筆畫近似，如 0 與 D，8 與 B 容易誤判，導致辨識錯誤。為減少近似字元之間的誤判機率，可適度增加近似字元模板之間的特徵差異，使目標比對到正確與非正確字模時，其符合度有較明顯之落差，即可提高字元之鑑別率以提升整體辨識的正確率。

表 4-1 為選擇部分易誤認字元，使用前一章介紹之特徵字模交叉比對(圖 4-1)二值化之標準字模所得之符合度。相同字元必然會產生 100%的符合度，不同字元之間通常會產生低於 100%之符合度，符合度越高表示字元相似度越高，即為是否容易誤認之量化指標，交叉比對之符合度百分比越高者代表越易誤認。

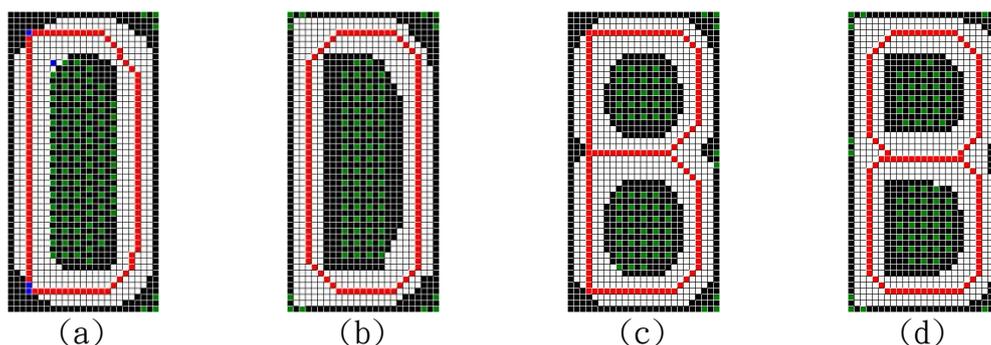


圖 4-1(a)目標字元 0 比對特徵字模 D。(b)目標字元 D 比對特徵字模 0。(c)目標字元 8 比對特徵字模 B。(d)目標字元 B 比對特徵字模 8。

表 4-1 實際字元與近似字模比對符合度表。

特徵字模 標準字模	0	6	8	B	D
0	100%	76.9%	88.6%	83.2%	<u>96.2%</u>
8	86.8%	<u>91.9%</u>	100%	<u>100%</u>	76.1%
B	81.3%	<u>91.9%</u>	<u>100%</u>	100%	74.2%
D	<u>100%</u>	78%	84.5%	83.2%	100%

由於我們使用特徵字模，忽略部分模糊區域，也有可能產生不同字元之間符合度 100%的結果，如表 4-1 之 B 與 8，這表示特徵字模事實上無法直接區別 B 與 8 這兩個字元。也因此我們必須調整特徵字模之內容，使得字元 B 與 8 差異之特徵能納入特徵字模模板之設計，達到區別此兩字元之目的。

為了鑑別那些字之間筆畫近似，本論文以交叉比對方式，將全部英數字比對完並計算其符合度，列出表 4-2，標示出符合度 80%以上偏高的近似字組，為了加強這些近似字的鑑別度，本研究分析其筆化差異，在前景關鍵筆畫加強正相關(紅色點)的權重，背景重要區塊加強負相關(綠色點)的權重，以強化字元之間的筆畫與空白區特徵之差異，並把特徵字模調整為加權特徵字模，加權方法在第 4.2 章節說明。

表 4-2 全部英數字交叉比對符合度

特徵字模		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
0	100	-51.7	42	62.6	-38.5	60.9	76.9	-20.9	88.6	75.4	-26.8	83.2	73.5	96.2	38.5	25.9	78.9	53.9	48.8	1.1	33	34.7	29.1	41.4	87.4	68.5	67.2	-63.8	80.5	-28.7	37.3	-61.6	-63.9	-16.2	
1	-52.7	100	-1.2	-11	53.8	-18.4	-35.3	60.4	-51.3	-22.9	6.2	-58.1	-19.3	-42.6	-10.8	-3.4	-32.2	-77	-19.1	-20.2	-8.9	-65.3	-58.6	-28.3	-50.9	-62.9	-22.4	84	-69.7	1.1	43.1	27.7	68.3	33	
2	44	-8.1	100	69.2	-37.5	16.2	34.1	28.6	54.4	53.1	-19.6	44.5	33.7	37.8	51.8	33.7	26.7	13.1	25.6	-11.2	17	11.6	-3.4	48.5	39.4	38.2	44.3	-7.4	23.2	12.6	26.5	2.8	-7.1	53.9	
3	69.2	-19.4	66.7	100	-33.7	63.1	61.8	23.1	77.2	81	-26.8	72.8	39.2	64.6	28.2	16.1	54.4	38.2	54.4	-9	3.6	27.4	21.2	32.3	50.9	56.2	77	-23.4	52.4	-11.5	27.5	-24.3	-25.7	19.4	
4	-31.9	33.6	-35.8	-18.7	100	-15.1	-9.8	4.4	-15	-38.5	50.5	-20.4	-14.9	-38.8	-16.9	-12.2	-12.2	-33	-8.8	23.6	-27.7	-26.3	-15.3	-30.3	-21.1	-24.7	-19.1	8.5	-37.3	-3.4	1	25.4	10.4	-9.9	
5	62.6	-39.3	13.6	48.4	-36.5	100	73.4	-25.3	61.7	59.8	-13.4	69.6	37	57.9	41.5	30.7	42.2	49.7	17.2	18	21.4	28.4	23.2	17.2	40.6	46.1	60.7	-26.6	45.9	-27.6	25.5	-23.2	-36.6	6.8	
6	73.6	-39.3	28.4	60.4	-23.1	74.3	100	-22	87.6	74.3	-20.6	88.5	65.7	69.4	59	46.3	71.1	51.8	22.8	20.2	27.7	29.5	24.1	41.4	61.1	68.5	83.6	-37.2	55.7	-27.6	34.3	-40.1	-44.3	-2.6	
7	-11	50.7	34.6	39.6	2.9	0.6	-16.8	100	4.7	3.9	-39.2	-6.8	-1.7	-8.1	-3.6	-0.5	-10	-39.3	7.9	-33.7	-28.6	-40	-38.9	10.1	-10.9	-16.9	6	64.9	-23.2	48.3	-11.8	16.4	60.7	45.5	
8	86.8	-53.6	45.7	71.4	-28.8	60.9	91.9	-22	100	84.4	-15.5	100	51.4	76.1	52.8	44.4	65.6	70.7	32.1	16.9	16.1	49.5	38.9	59.6	70.3	88.8	79.2	-53.2	67.6	-11.5	50	-44.6	-53	-6.8	
9	73.6	-37.4	46.9	75.8	48.1	62	78	-8.8	85.5	100	-33	85.3	42.5	67.5	39.5	27.8	54.4	38.2	26.5	-5.6	3.6	27.4	23.2	43.4	57.7	71.9	80.3	-37.2	52.4	-10.3	35.3	-37.9	-39.9	-1.6	
A	-13.2	1.4	-21	-12.1	51	-5	-5.2	-38.5	-1.6	-24	100	-9.9	-1.6	-23.4	-9.7	4.4	0	1.6	0.5	18	-13.4	-7.4	-5.4	-18.2	-6.3	6.7	-11.5	-14.9	-25.4	-29.9	1	4	-25.7	-5.8	
B	81.3	-60.2	44.4	71.4	-37.5	67.6	91.9	-24.2	100	84.4	-24.7	100	51.4	74.2	54.9	43.4	64.4	71.7	25.6	23.6	17	50.5	42.9	59.6	69.1	89.9	80.3	-55.3	69.7	-20.7	50	-49.2	-59.6	-6.8	
C	79.1	-28	37	37.4	-20.2	49.7	75.7	-8.8	68.9	50.8	-35.1	68.6	100	80.9	56.9	44.4	77.8	29.8	28.4	30.3	53.6	14.7	15.3	44.4	65.7	49.4	71.6	-27.7	62.2	-19.5	23.5	-26.6	-29	12	
D	100	-61.1	37	56	45.2	53.1	78	-27.5	84.5	73.2	-41.2	83.2	73.5	100	30.3	21	75.6	55	41.4	4.5	32.1	32.6	33	42.4	86.3	68.5	65	-66	82.7	44.8	40.2	-60.5	-67.2	-17.3	
E	48.4	-29.9	49.4	29.7	-28.8	38.5	76.9	-22	67.9	36.3	-25.8	69.6	62.4	34	100	76.6	50	34	-20	41.6	51.8	14.7	3.4	60.6	30.3	52.8	59.6	-5.3	27.6	-6.9	12.7	-13	-18	27.7	
F	34.1	-28.9	30.9	16.5	-22.1	28.5	64.2	-18.7	54.4	22.9	-14.4	56	48.1	22.5	83.6	100	28.9	45.5	-24.7	47.2	35.7	22.1	5.4	85.9	12	61.8	44.3	-4.3	14.6	-2.3	20.6	-10.7	-16.9	8.9	
G	83.5	-37.4	25.9	47.3	-24	44.1	80.3	-19.8	71	55.3	-20.6	67.5	83.4	76.1	44.6	23.9	100	30.9	30.2	28.1	41.1	14.7	23.2	23.2	71.4	55.1	78.1	-50	60	41.4	26.5	-41.2	-51.9	-6.8	
H	62.6	-92.4	13.6	42.9	47.1	41.9	68.8	-52.7	81.3	46.4	-12.4	81.2	27.1	41.6	24.1	28.8	42.2	100	19.1	48.3	6.3	89.5	76.4	46.5	50.9	86.5	46.4	-76.6	73	-11.5	70.6	-15.3	-50.8	-30.9	
J	58.2	-36.5	38.3	64.8	-32.7	31.8	28.3	-6.6	47.2	47.5	-6.2	38.2	30.4	58.9	4.6	-16.1	38.9	41.4	100	-19.1	18.8	14.7	12.3	-3	40.6	22.5	41	45.7	67.6	-24.1	25.5	-28.8	-33.3	5.8	
K	7.7	-32.7	-12.3	-6.6	24	14	36.4	41.8	28.5	2.8	10.3	29.8	29.3	3.3	38.5	42.4	31.1	46.6	-26.5	100	19.6	62.1	60.6	28.3	2.9	41.6	31.1	-24.5	14.6	-8	48	43.5	-3.8	1.6	
L	47.3	-33.6	24.7	-5.5	-31.7	26.3	49.1	44	39.9	12.8	-21.6	37.2	73.5	39.7	73.3	51.2	54.4	27.7	5.1	39.3	100	2.1	4.4	33.3	34.9	22.5	33.3	-30.9	56.8	-3.4	16.7	-16.4	-16.9	4.7	
M	34.1	-67.8	4.9	27.5	-26.9	26.3	39.9	-49.5	53.4	30.7	1	55	6.1	30.1	9.7	20	16.7	77	-2.3	51.7	-8.9	100	74.4	35.4	25.7	67.4	27.9	-63.8	44.9	-21.8	58.8	5.1	-30.1	-20.4	
N	35.2	-67.8	-3.7	28.6	-23.1	24	37.6	-50.5	50.3	33	-9.3	52.9	8.3	31.1	6.7	14.1	33.3	72.8	0.5	49.4	4.5	85.3	100	27.3	36	64	33.3	-64.9	47	-10.3	76.5	2.8	-36.6	46.6	
P	47.3	-36.5	54.3	39.6	-36.5	18.4	60.7	-1.1	67.9	52	-28.9	68.6	47	48.3	62.1	82.4	26.7	60.2	2.3	30.3	26.8	41.1	22.2	100	33.7	77.5	48.6	-29.8	40.5	11.5	37.3	-27.7	-29	5.8	
Q	81.3	49.8	33.3	40.7	-30.8	34.1	56.1	-17.6	67.9	54.2	-22.7	64.4	58	77	19	4.4	62.2	34	31.2	-5.6	11.6	18.9	32	21.2	100	52.8	43.2	-53.2	61.1	-10.3	53.9	-43.5	-54.1	-20.4	
R	69.2	-67.8	33.3	53.8	-36.5	39.7	75.7	-35.2	87.6	66.5	-4.1	87.4	38.1	55	42.6	52.2	54.4	78	1.4	34.8	1.8	71.6	52.7	69.7	56.6	100	60.7	61.7	52.4	-21.8	52.9	-35.6	-62.8	-21.5	
S	63.7	-36.5	40.7	71.4	-32.7	64.2	90.8	-13.2	84.5	79.9	-19.6	84.3	59.1	59.8	61	44.4	77.8	49.7	24.7	40.4	25	34.7	28.1	41.4	46.3	71.9	100	-26.6	50.3	-14.9	37.3	-18.6	-29	16.2	
T	59.3	78.2	-2.5	-12.1	-7.7	-8.4	-20.2	65.9	-30.6	-27.4	-24.7	-29.8	-23.8	41.6	4.6	-0.5	45.6	-78	-35.8	-23.6	-31.3	-60	-58.6	-25.3	-52	-60.7	-18	100	-73	14.9	-39.2	36.7	74.9	48.7	
U	87.9	-75.4	28.4	50.5	-51	52	64.2	-33	77.2	63.1	-38.1	73.8	61.3	88.5	27.2	16.1	65.6	71.7	60.9	13.5	43.8	51.6	44.8	31.3	73.7	57.3	55.2	-74.5	100	-10.3	54.9	-51.4	50.8	-25.7	
V	-15.4	5.2	28.4	9.9	-1.9	-7.3	-13.3	49.5	-2.6	6.1	-22.7	-9.9	-10.5	-29.2	5.6	7.3	-15.6	0.5	-3.3	-10.1	-2.7	4.2	-1.5	14.1	-5.1	-13.5	2.7	27.7	-1.6	100	39.2	34.5	61.7	11	
W	36.3	-46	32.1	35.2	-17.3	16.2	35.3	-5.5	48.2	40.8	-16.5	44.5	19.3	31.1	14.9	19	40	60.2	26.5	50.4	6.3	60	74.4	30.3	57.7	55.1	36.6	-30.9	51.4	52.9	100	32.2	-7.1	4.7	
X	45.1	13.7	12.3	-7.7	29.8	-14	-28.3	19.8	-30.6	-30.7	12.4	-29.8	-13.8	46.4	-3.6	-5.4	-23.3	-7.9	-18.1	39.3	-15.2	16.8	20.2	-24.2	-25.7	-24.7	-7.1	31.9	-39.5	34.5	34.3	100	57.4	48.7	
Y	59.3	58.3	-7.4	-16.5	9.6	-17.3	-34.1	63.7	-37.8	-37.4	-22.7	-38.2	-28.2	-53.1	-15.9	-11.2	-52.2	-46.6	-22.8	-7.9	-21.4	-14.7	-31	-26.3	-54.3	-60.7	-22.4	71.3	-50.3	66.7	-18.6	61.6	100	35.1	
Z	-8.8	23.2	61.7	27.5	-17.3	9.5	4	46.2	7.8	2.8	-7.2	7.9	12.7	-5.3	33.3	13.2	-3.3	-19.4	0.5	5.6	-2.7	-10.5	-36	4	-14.3	-9	22.4	50	-26.5	2.3	1	54.8	38.8	100	

綠色：目標比對到正確字模。

橘色：目標比對到近似字模符合度 80%以上。

黃色：目標比對到近似字模符合度 90%以上。



4.2 加權特徵字模的設計原則

首先，本論文字模的基本設計原則為，前景以字元筆畫軸心細線化為1個像素為基礎，描述字元筆畫走勢，背景區則為每間隔1像素設計一個背景特徵點。以上述的特徵字模為基礎，針對筆畫相似易誤認字元，加強前景與背景特徵的比重。

本論文分析字元之間的特徵差異，主要歸納出以下四種狀況為必須修正之條件：1. 字元筆畫多於相似字，2. 字元筆畫少於相似字，3. 相似字元之間筆畫轉角為直角或圓角，4. 字元筆畫部分近似。後續4.2.1到4.2.4小節會針對上述四點，每點分別列舉幾個相似字做說明。

4.2.1 字元筆畫多於近似字

在字元筆畫相對於近似字有多餘的筆畫，以修改字模字元筆畫為2像素寬度，來降低相對缺少筆畫字元的符合度。如圖4-2舉例說明，字元0相對於C的右邊有多餘的比畫、0相對於U的上邊有多餘的筆畫，因此在此兩紅色線段增加為2像素筆畫寬度，以標準字模為基準，定性下比較特徵字模與加權特徵字模的符合度分數，可看出C、U比對到修改後字模0時符合度有明顯下降。

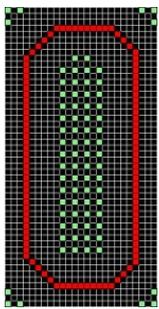
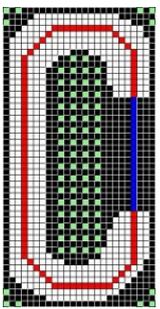
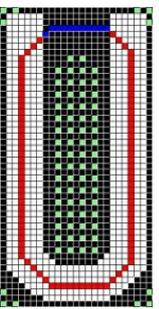
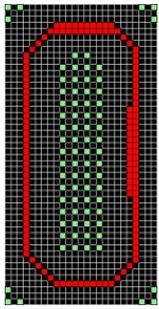
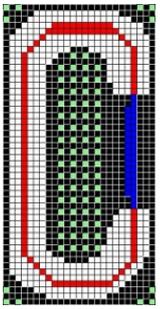
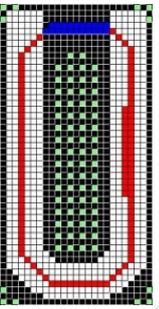
	字模 0	C 比對字模 0	U 比對字模 0
特徵字模			
	符合度(%)	79.1	87.9
加權特徵字模			
	符合度(%)	67.1	79.7

圖 4-2 特徵與加權特徵字模 0 比對近似字 C、U 的符合度。

4.2.2 字元筆畫少於近似字

在背景區相對於近似字有缺少部分比畫，以加強綠色背景點的負相關點數，來降低符合度。如圖 4-3 舉例說明，字元 0 相對於 8 中心有缺少比畫、0 相對於 Q 的中心偏下區域有缺少比畫，因此在缺少筆畫區增加背景點數，以相同比較方式可看出，符合度有明顯的降低。

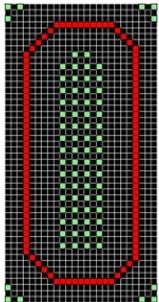
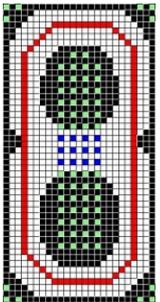
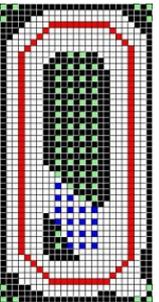
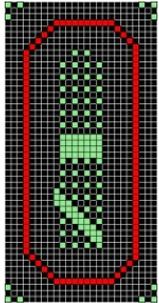
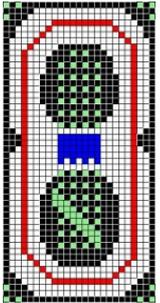
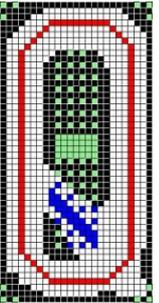
	字模 0	8 比對字模 0	Q 比對字模 0
特徵字模			
	符合度(%)	86.8	81.3
加權特徵字模			
	符合度(%)	70.6	69.7

圖 4-3 特徵與加權特徵字模 0 比對近似字 8、Q 的符合度。

4.2.3 相似字元間筆畫轉角之直角或圓角

字元 0 與 D，8 與 B 在左上與左下角有圓角與直角差異。因此，字元 D 和 B 的直角區增加前景紅點比重，反之，0 和 D 則在四邊角落背景區增加綠點比重，以此來強化相似字比對時的細微差異。以相同比較方式如圖 4-4 和 4-5，有增加區別直角圓角的符合度差異。

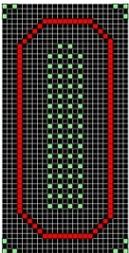
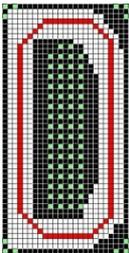
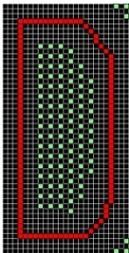
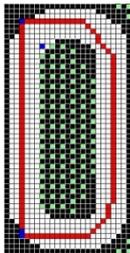
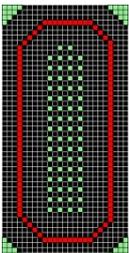
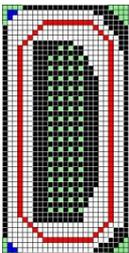
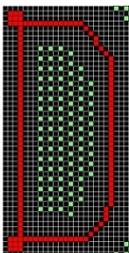
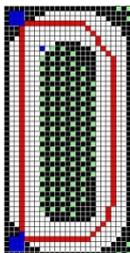
	字模 0	D 比對字模 0	字模 D	0 比對字模 D
特徵字模				
	符合度(%)	100	符合度(%)	96.2
加權特徵字模				
	符合度(%)	94.3	符合度(%)	82.2

圖 4-4 特徵與加權特徵字模 0 與 D 相互比對符合度。

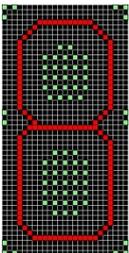
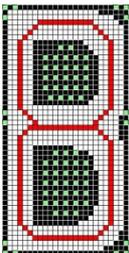
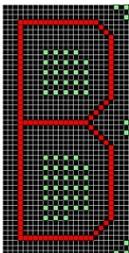
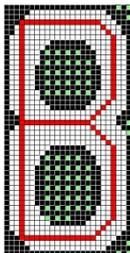
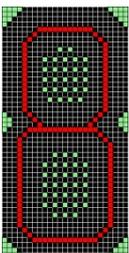
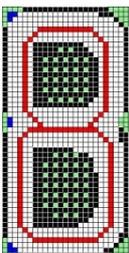
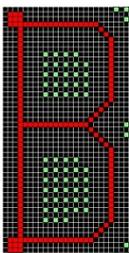
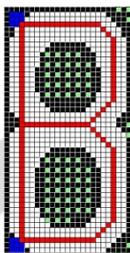
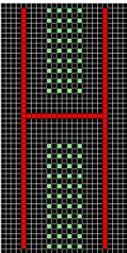
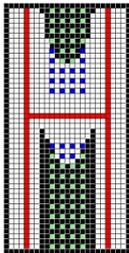
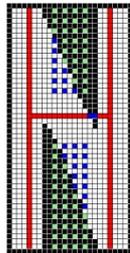
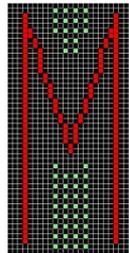
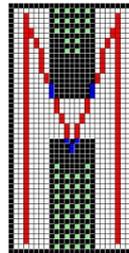
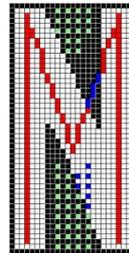
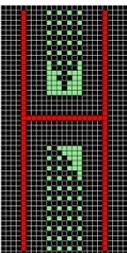
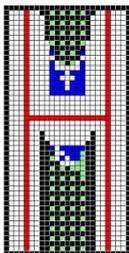
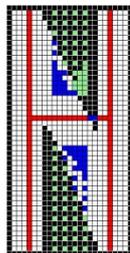
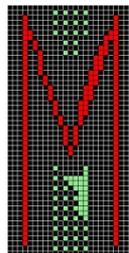
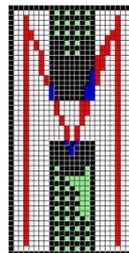
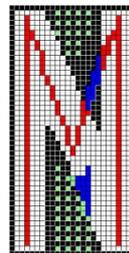
	字模 8	B 比對字模 8	字模 B	8 比對字模 B
特徵字模				
	符合度(%)	100	符合度(%)	100
加權特徵字模				
	符合度(%)	93.0	符合度(%)	84.5

圖 4-5 特徵與加權特徵字模 8 與 B 相互比對符合度。

4.2.4 字元筆畫部分近似

在實務經驗中發現，當影像解析度偏低時，字元 H、M、N 之間容易誤認，經分析筆畫可發現，此三個字元左右皆為垂直比畫，只有中間筆畫不同，其中，H 的中間筆畫為正中間左到右，N 中間筆畫為左上通過中心再到右下，M 的中間筆畫由左上到中心再通過中心到右上，此三個字元中間筆畫皆通過字元中心點，其餘有小部分差異，因此，在 H 的背景區增加與 M、N 的綠色差異點；M 的前景中心到右上筆畫增加為 2 像素，背景右下區增加區域特徵點，強化與 N 的差異；N 的中心到右下筆畫增加為 2 像素，右上背景區增加特徵點，強化與 M 的差異，以同樣比對方式如圖 4-6 可看出，有增加此三個字元之間交互比對符合度差異。

	字模 H	M 比對字模 H	N 比對字模 H	字模 M	H 比對字模 M	N 比對字模 M
特徵字模						
	符合度(%)	77	72.8	符合度(%)	89.5	85.3
加權特徵字模						
	符合度(%)	57.5	57.5	符合度(%)	85.5	68.3

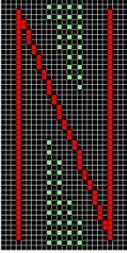
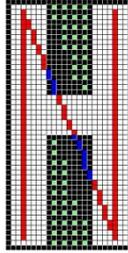
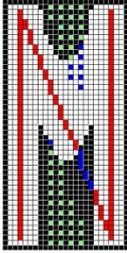
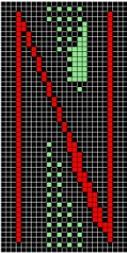
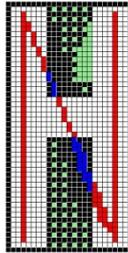
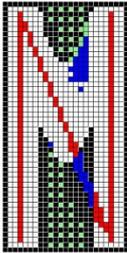
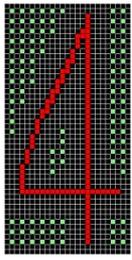
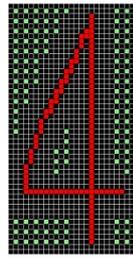
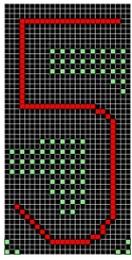
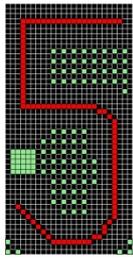
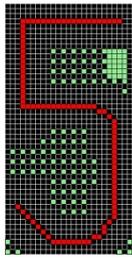
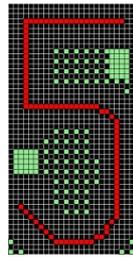
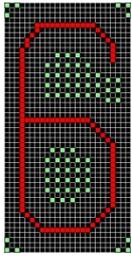
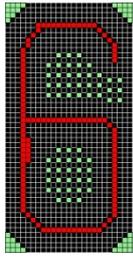
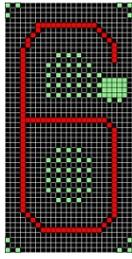
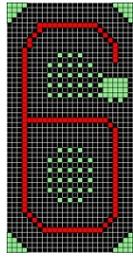
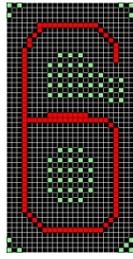
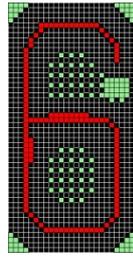
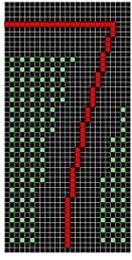
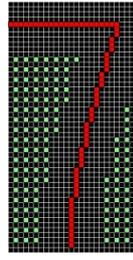
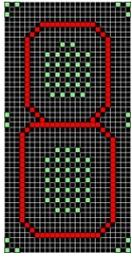
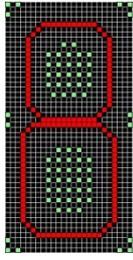
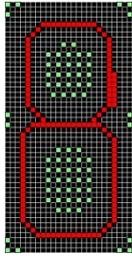
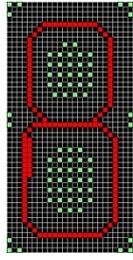
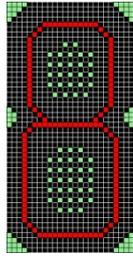
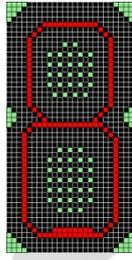
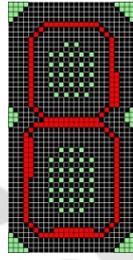
	字模 N	H 比對字模 N	M 比對字模 N
特 徵 字 模			
	符合度(%)	84.9	82.8
加 權 特 徵 字 模			
	符合度(%)	78.8	61.9

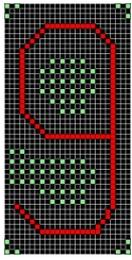
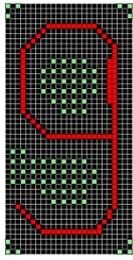
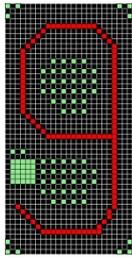
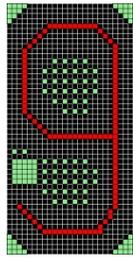
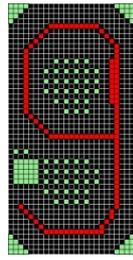
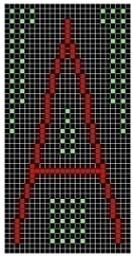
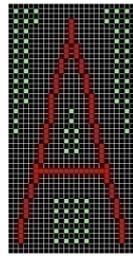
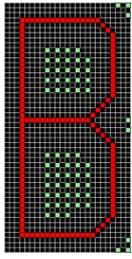
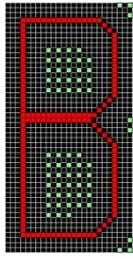
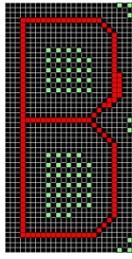
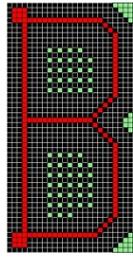
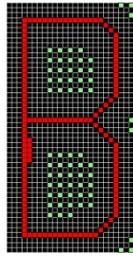
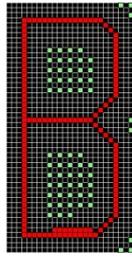
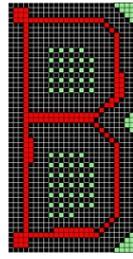
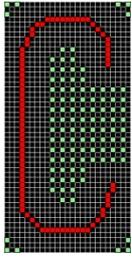
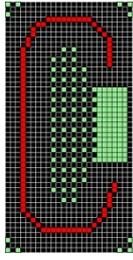
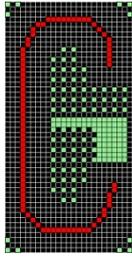
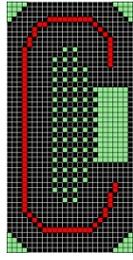
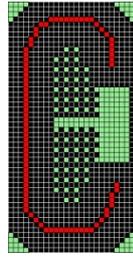
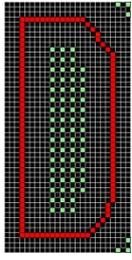
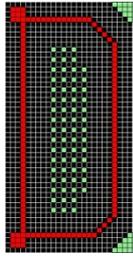
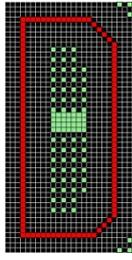
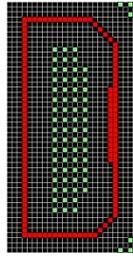
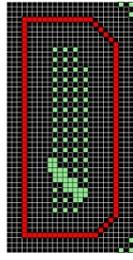
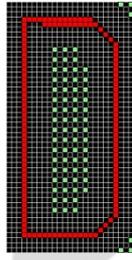
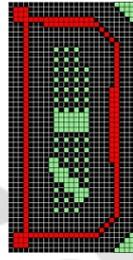
圖 4-6 特徵與加權特徵字模 H、M、N 相互比對符合度。

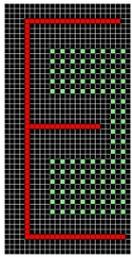
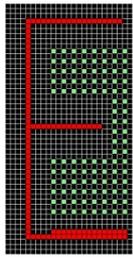
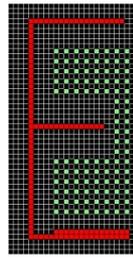
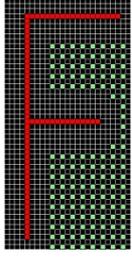
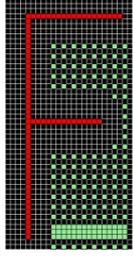
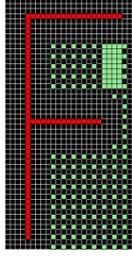
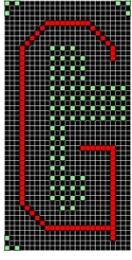
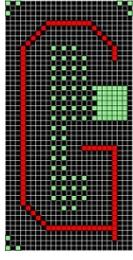
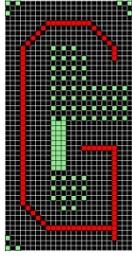
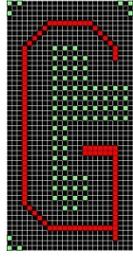
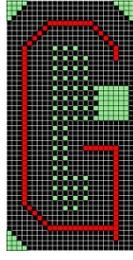
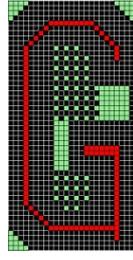
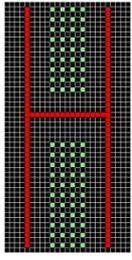
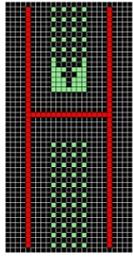
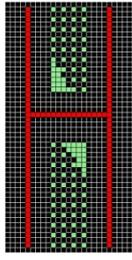
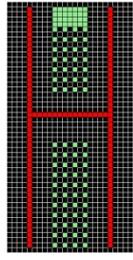
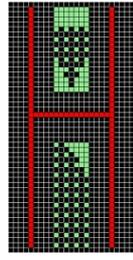
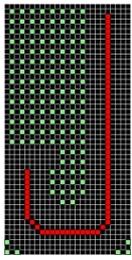
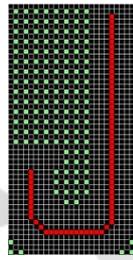
4.3 字元間之加權關係對照表

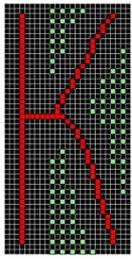
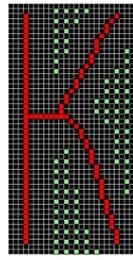
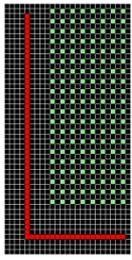
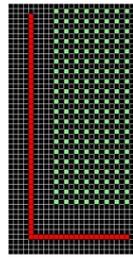
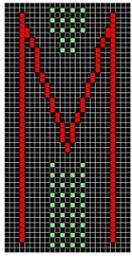
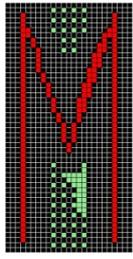
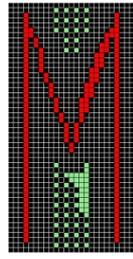
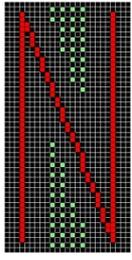
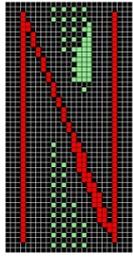
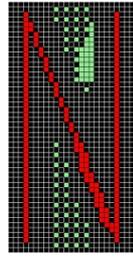
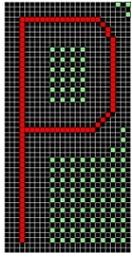
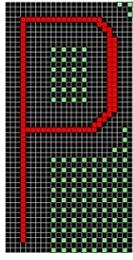
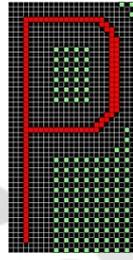
表 4-3 特徵字模相對應之近似字所修改之筆畫為加權特徵字模對照表。

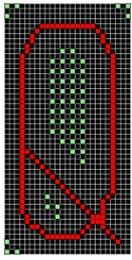
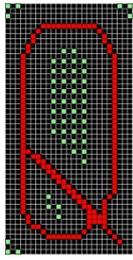
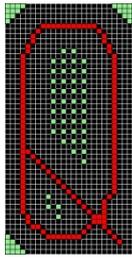
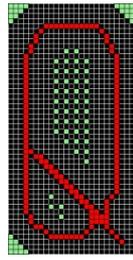
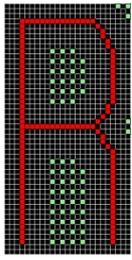
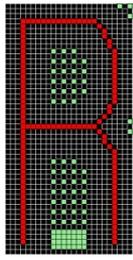
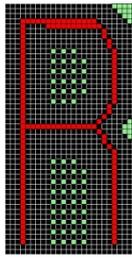
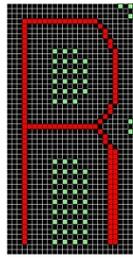
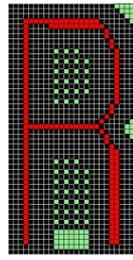
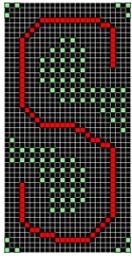
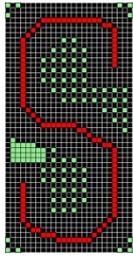
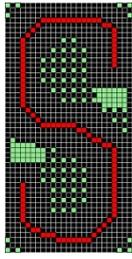
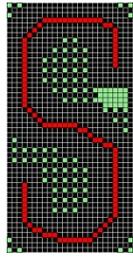
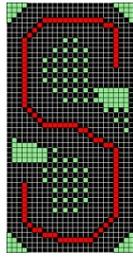
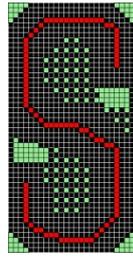
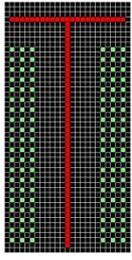
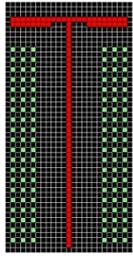
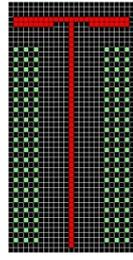
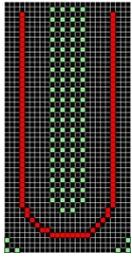
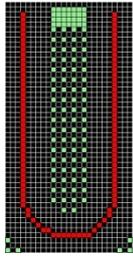
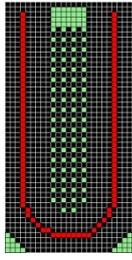
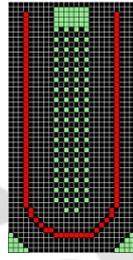
特徵字模	近似字元	近似字元	近似字元	近似字元	近似字元	加權 特徵字模
0	8	C	D	Q	U	0
1	T					1
2	Z					2
3	8	B				3

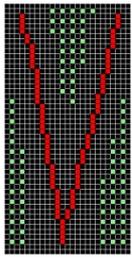
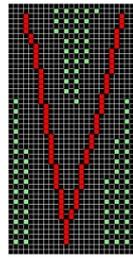
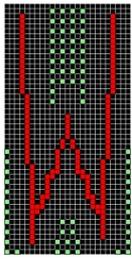
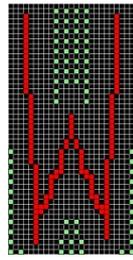
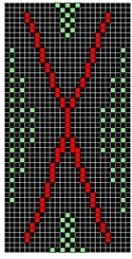
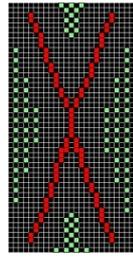
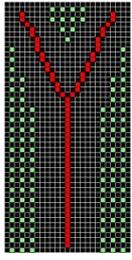
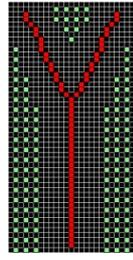
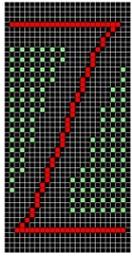
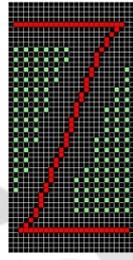
4						4
						
5	6	9				5
						
6	5	8	B	G		6
						
7						7
						
8	0	6	9	B	R	8
						

9	5、S	8	B			9
						
A						A
						
B	0、D	6	8	9	R	B
						
C	0	6	D			C
						
D	0	8、B	C	Q	U	D
						

E	F					E
						
F	E	P				
						
G	0	6	C	D		G
						
H	M	N	R			H
						
J						J
						

K						K
						
L						L
						
M	N					M
						
N	M					M
						
P	F					P
						

Q	0	D				Q
						
R	8, B	H	P			R
						
S	6	8	9	B		S
						
T	1					T
						
U	0	D				U
						

V						V
						
W						W
						
X						X
						
Y						Y
						
Z						Z
						

五、 實驗結果與效能分析

在模板比對方法中，常見的有平方誤差比對(Square error matching)、相關比對(Correlation matching)、相關係數比對(Correlation coefficient matching)[44]。本章節將以此三種模板比對方法與本論文提出的特徵字模比對法和加權特徵字模比對法做辨識能力的定量比較，量化指標將為大量實際字元影像以同一方法比對時呈現之符合度變異量，變異量越小代表此方法之辨識效能越高。

首先，平方誤差(Square error matching)[44]比對是模板與目標影像之間的誤差值。誤差值越接近 0 表示越相似，越接近 1 表示誤差越大，公式如(3)、(4)，其中 T 表示模板，I 表示目標影像，R 表示比對結果，R' 表示正規化的結果，R 的值越小表示越相似。

$$R(x, y) = \sum_{xy} (T(x, y) - I(x, y))^2 \dots \dots \dots (3)$$

$$R'(x, y) = \frac{\sum_{xy} (T(x, y) - I(x, y))^2}{\sqrt{\sum_{xy} T(x, y)^2 \cdot \sum_{xy} I(x, y)^2}} \dots \dots \dots (4)$$

相關比對(Correlation matching)[44]是模板與目標影像間的乘法計算，值越接近 0 表示越差，值越大表示越好的比對結果，公式如(5)、(6)，其中 T 表示模板，I 表示目標影像，R 表示比對結果，R' 表示正規化的結果，R 的值越大表示越相似。

$$R(x, y) = \sum_{xy} (T(x, y) \cdot I(x, y)) \dots \dots \dots (5)$$

$$R'(x, y) = \frac{\sum_{xy} (T(x, y) \cdot I(x, y))}{\sqrt{\sum_{xy} T(x, y)^2 \cdot \sum_{xy} I(x, y)^2}} \dots \dots \dots (6)$$



相關係數比對(Correlation coefficient matching)[44]是相關比對的改良方法，這兩個原則都基於乘法運算，但乘法被與其均值的相關性所取代。更大的值表示更好的比對結果。其公式為(7)-(10)，其中 T 表示模板，I 表示目標影像，T' 表示與 T 的均值相關性，I' 表示與 I 的均值相關性，R 表示比對結果，R' 表示正規化的結果，w 和 h 分別為影像寬高，R 的最大值表示最佳比對結果。

$$R(x, y) = \sum_{x'y'} (T'(x, y) \cdot I'(x, y)) \dots \dots \dots (7)$$

$$T'(x, y) = T(x, y) - \frac{1}{(w \cdot h)} \cdot \sum_{xy} T(x, y) \dots \dots \dots (8)$$

$$I'(x, y) = I(x, y) - \frac{1}{(w \cdot h)} \cdot \sum_{xy} I(x, y) \dots \dots \dots (9)$$

$$R'(x, y) = \frac{\sum_{xy} (T'(x, y) \cdot I'(x, y))}{\sqrt{\sum_{xy} T'(x, y)^2 \cdot \sum_{xy} I'(x, y)^2}} \dots \dots \dots (10)$$

本論文提出的特徵字模與加權特徵字模比對法的符合度計算方式相同，其中所設計的模板中前景(紅點)比對到目標影像的前景則加 1 分否則扣 1 分，而模板的背景(綠點)比對到目標影像的背景則加 1 分否則扣 1 分，其餘部分(黑點)則不計分，同公式如(1)、(2)。



5.1 不同模板比對法之實際資料變異量

在字模比對中，何者為正確字元的辨識判斷，通常是比對完所有字模符合度之後以最高者為比對結果，且須超過一定的閾值，以排除完全非考慮範圍內之字元，如中文字或非英數字之符號。此外，當比對到正確字元時，除符合度最高外，經過統計大量實際資料呈現之變異量[45]大小也同樣重要，變異量越小，代表辨識判斷越穩定，對於閾值的判斷提供可靠的決策區間。

本論文收集台灣六碼車牌，每個字元各 100 筆資料，共 3400 筆資料來針對上述常見的字模比對法與本論文提出的特徵字模和加權特徵字模做變異量之統計實驗，當比對到正確字元時，其變異量的差異。各字元的平均符合度計算方式如公式(13)，符合度與平均值差異之變異量如公式(14)。公式中， X 代表某一字元， i 代表第幾筆資料， N 是資料總數為 100， X_i 是 X 字元第 i 筆資料的符合度， μ 是該字元的平均符合度， $\text{Var}(X)$ 為該字元 100 個樣本的符合度與平均值偏差的變異量，統計結果如圖 5-1 所示。

$$\mu_X = \sum_{i=1}^N X_i \times \frac{1}{N} \dots \dots \dots (13)$$

$$\text{Var}(X) = \sum_{i=1}^N (X_i - \mu_X)^2 \times \frac{1}{N} \dots \dots \dots (14)$$



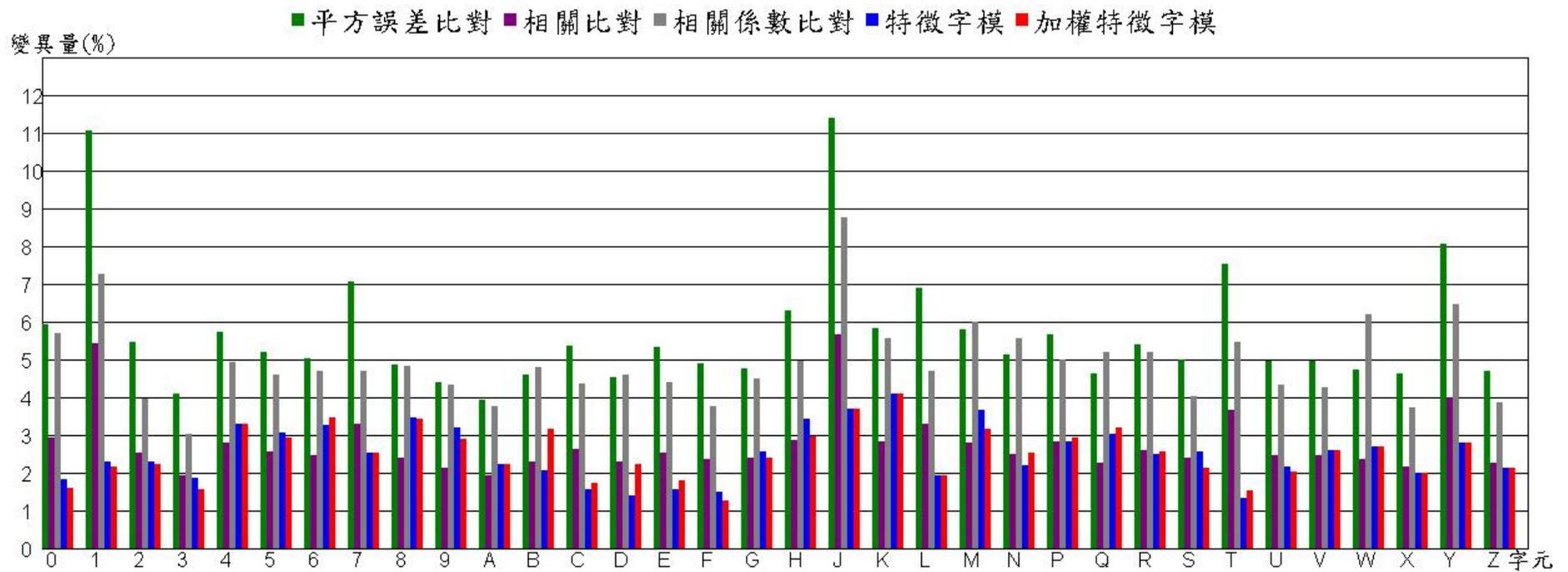


圖 5-1 不同模板比對法之實際資料變異量。



由圖 5-1 可看出，平方誤差法與相關係數比對法的變異量明顯較高。相關比對法的變異量與特徵字模較為接近，但在 l、J、T 等筆畫簡單之字元變異量明顯偏高，這是因為目標筆畫的位置偏移時會產生明顯誤差。而本論文的特徵字模，在軸心筆畫與背景之間設計可容忍偏移的不計分區域，因此，在筆畫簡單時之變異量相對較小。

加權特徵字模的設計，是為了增加近似字元之間的符合度量化差異，此差異會在下一章以鑑別率的標準來說明。在圖 5-1 中列出加權特徵字模的變異量，主要目的是檢示此類調整後對於整體變異量的影響。具體而言，只有字元 B 與 D，因加強直角與圓角的特徵差異，造成變異量稍微增加，但整體變異量與特徵字模的差異不大，證明此加權調整對整體辨識的穩定性並無太大影響。

5.2 不同模板比對法之近似字元的鑑別率

要判斷正確比對結果，當目標影像比對到正確與錯誤字模模板時，符合度的差異越大，表示鑑別率[46]越大，本節列出與正確字元筆畫近似的易誤判的字，取正確字元 100 筆資料的平均符合度 μ_{correct} ，減掉近似字元 100 筆資料的平均符合度 $\mu_{\text{approximate}}$ ，得到鑑別率 discrimination ratio，公式如(15)。統計出不同字模比對的鑑別率如圖 5-2 所示。

$$\text{discrimination ratio} = \mu_{\text{correct}} - \mu_{\text{approximate}} \dots \dots \dots (15)$$



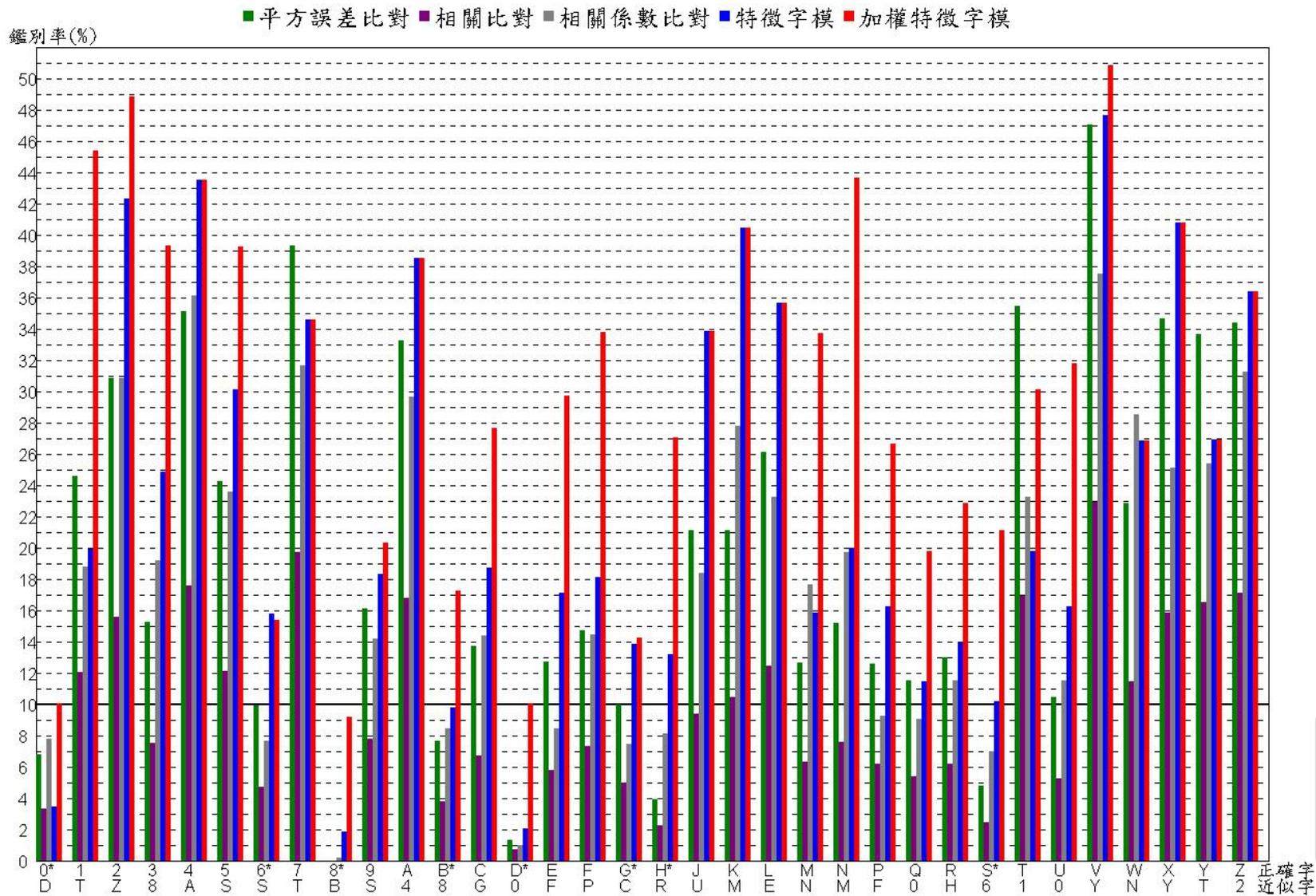


圖 5-2 近似字元間不同模板比對法之鑑別率。

在實務經驗上得知，當比對出兩個字元結果其符合度差異小於 10 時，表示辨識結果有較高的誤判可能性，而大於 10 通常表示辨識結果應無爭議。因此，本論文以鑑別率小於 10 的近似字元做進一步說明。在圖 N 中縱軸鑑別率 10 以實線表示，其中{0、D}、{6、S}、{8、B}、{B、8}、{D、0}、{G、C}、{H、R}、{S、6}，等 8 組，在平方誤差、相關比對與相關係數比對的鑑別率皆低於 10；而特徵字模鑑別率低於 10 的僅有{0、D}、{8、B}、{B、8}、{D、0}等 4 組。這是因為特徵字模的比對總點數低於其他模板比對法，在如{6、S}筆畫只有小幅度差異時，差異點數相對於較小的總點數所占比例較大，因此可凸顯近似字的差異。

加權特徵字模的加權目的是為提高近似字的符合度差異，經實驗證實僅剩{8、B}組合之差異為接近 10 分之 9.2 分，其餘差異度皆大於 10。且加權的設計讓整體近似字的鑑別率增加，鑑別率越大，表示判斷為正確字元的機率越高，對於整體辨識準確率的提升有極大的幫助，此將在下一節實驗證實。

5.3 不同模板比對法之辨識準確率

本論文共設計 34 個字元，資料的分配方式為以單一目標字元為單位建立一組資料集，即共有 34 組資料集，每組資料集包含 200 筆資料，其中，100 筆為符合目標字元的正案例(實際 True)，另外 100 筆為非目標字元的負案例(實際 False)，全部 34 個字元共 6800 筆資料。計分以下表 5-1 混淆矩陣[47]的方式統計。

表 5-1 混淆矩陣

實際 \ 辨識	實際 True	False
True	TP (True Positive)	FP (False Positive)
False	FN (False Negative)	TN (True Negative)

- TP (True Positive)：即實際為 True，辨識為 True。正確辨識為正樣本的數量。
- TN (True Negative)：即實際為 False，辨識為 False。正確辨識為負樣本的數量。
- FP (False Positive)：即實際為 False，辨識為 True。將負樣本錯誤辨識為正樣本的數量。
- FN (False Negative)：即實際為 True，辨識為 False。將正樣本錯誤辨識為負樣本的數量。

每個目標字元資料集經過實驗統計出表 5-1 後，並計算出 True Positive Rate (TPR)表示全部目標字元正確辨識為目標字元者、False Positive Rate(FPR)表示全部非目標字元中誤判為目標字元者，和準確率(Accuracy)[47]，來評估五種字模比對的結果，公式分別為(16)~(18)，以上，實驗結果如表 5-2 所示。

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN} \dots\dots\dots (16)$$

$$FPR = \frac{FP}{FP + TN} \dots\dots\dots (17)$$

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \dots\dots\dots (18)$$



表 5-2 各種模板比對法之準確率。

方法	字元	TP	TN	FP	FN	TPR(%)	FPT(%)	Accuracy(%)
平方誤差	0	85	98	2	15	85	2	91.5
相關比對	0	85	98	2	15	85	2	91.5
相關係數	0	83	99	1	17	83	1	91
特徵字模	0	91	100	0	9	91	0	95.5
加權字模	0	99	100	0	1	99	0	99.5
平方誤差	1	96	100	0	4	96	0	98
相關比對	1	93	100	0	7	93	0	96.5
相關係數	1	94	100	0	6	94	0	97
特徵字模	1	100	100	0	0	100	0	100
加權字模	1	100	100	0	0	100	0	100
平方誤差	2	100	100	0	0	100	0	100
相關比對	2	100	100	0	0	100	0	100
相關係數	2	100	100	0	0	100	0	100
特徵字模	2	100	100	0	0	100	0	100
加權字模	2	100	100	0	0	100	0	100
平方誤差	3	100	100	0	0	100	0	100
相關比對	3	100	100	0	0	100	0	100
相關係數	3	100	100	0	0	100	0	100
特徵字模	3	100	100	0	0	100	0	100
加權字模	3	100	100	0	0	100	0	100
平方誤差	4	100	100	0	0	100	0	100
相關比對	4	100	100	0	0	100	0	100
相關係數	4	100	100	0	0	100	0	100
特徵字模	4	100	100	0	0	100	0	100
加權字模	4	100	100	0	0	100	0	100
平方誤差	5	100	100	0	0	100	0	100
相關比對	5	100	99	1	0	100	1	99.5
相關係數	5	100	99	1	0	100	1	99.5
特徵字模	5	100	100	0	0	100	0	100
加權字模	5	100	100	0	0	100	0	100

方法	字元	TP	TN	FP	FN	TPR(%)	FPT(%)	Accuracy(%)
平方誤差	6	70	100	0	30	70	0	85
相關比對	6	69	100	0	31	69	0	84.5
相關係數	6	60	100	0	40	60	0	80
特徵字模	6	95	100	0	5	95	0	97.5
加權字模	6	96	100	0	4	96	0	98
平方誤差	7	99	100	0	1	99	0	99.5
相關比對	7	99	100	0	1	99	0	99.5
相關係數	7	99	100	0	1	99	0	99.5
特徵字模	7	100	100	0	0	100	0	100
加權字模	7	100	100	0	0	100	0	100
平方誤差	8	96	97	3	4	96	3	96.5
相關比對	8	95	97	3	5	95	3	96
相關係數	8	96	97	3	4	96	3	96.5
特徵字模	8	93	99	1	7	93	1	96
加權字模	8	99	100	0	1	99	0	99.5
平方誤差	9	97	100	0	3	97	0	98.5
相關比對	9	97	100	0	3	97	0	98.5
相關係數	9	92	100	0	8	92	0	96
特徵字模	9	96	100	0	4	96	0	98
加權字模	9	98	100	0	2	98	0	99
平方誤差	A	100	100	0	0	100	0	100
相關比對	A	100	100	0	0	100	0	100
相關係數	A	100	100	0	0	100	0	100
特徵字模	A	100	100	0	0	100	0	100
加權字模	A	100	100	0	0	100	0	100
平方誤差	B	82	100	0	18	82	0	91
相關比對	B	82	100	0	18	82	0	91
相關係數	B	75	100	0	25	75	0	87.5
特徵字模	B	90	99	1	10	90	1	94.5
加權字模	B	92	100	0	8	92	0	96
平方誤差	C	100	99	1	0	100	1	99.5
相關比對	C	100	99	1	0	100	1	99.5
相關係數	C	100	99	1	0	100	1	99.5
特徵字模	C	99	100	0	1	99	0	99.5
加權字模	C	100	100	0	0	100	0	100

方法	字元	TP	TN	FP	FN	TPR(%)	FPT(%)	Accuracy(%)
平方誤差	D	69	98	2	31	69	2	83.5
相關比對	D	71	98	2	29	71	2	84.5
相關係數	D	76	98	2	24	76	2	87
特徵字模	D	98	99	1	2	98	1	98.5
加權字模	D	99	100	0	1	99	0	99.5
平方誤差	E	99	100	0	1	99	0	99.5
相關比對	E	99	100	0	1	99	0	99.5
相關係數	E	99	100	0	1	99	0	99.5
特徵字模	E	99	100	0	1	99	0	99.5
加權字模	E	99	100	0	1	99	0	99.5
平方誤差	F	100	100	0	0	100	0	100
相關比對	F	100	100	0	0	100	0	100
相關係數	F	100	100	0	0	100	0	100
特徵字模	F	100	100	0	0	100	0	100
加權字模	F	100	100	0	0	100	0	100
平方誤差	G	97	100	0	3	97	0	98.5
相關比對	G	97	100	0	3	97	0	98.5
相關係數	G	97	100	0	3	97	0	98.5
特徵字模	G	100	99	1	0	100	1	99.5
加權字模	G	100	100	0	0	100	0	100
平方誤差	H	96	100	0	4	96	0	98
相關比對	H	96	100	0	4	96	0	98
相關係數	H	94	100	0	6	94	0	97
特徵字模	H	97	99	1	3	97	1	98
加權字模	H	100	99	1	0	100	1	99.5
平方誤差	J	99	100	0	1	99	0	99.5
相關比對	J	99	100	0	1	99	0	99.5
相關係數	J	99	100	0	1	99	0	99.5
特徵字模	J	100	100	0	0	100	0	100
加權字模	J	100	100	0	0	100	0	100
平方誤差	K	100	100	0	0	100	0	100
相關比對	K	100	100	0	0	100	0	100
相關係數	K	100	100	0	0	100	0	100
特徵字模	K	100	100	0	0	100	0	100
加權字模	K	100	100	0	0	100	0	100

方法	字元	TP	TN	FP	FN	TPR(%)	FPT(%)	Accuracy(%)
平方誤差	L	100	100	0	0	100	0	100
相關比對	L	100	100	0	0	100	0	100
相關係數	L	100	100	0	0	100	0	100
特徵字模	L	100	100	0	0	100	0	100
加權字模	L	100	100	0	0	100	0	100
平方誤差	M	100	0	0	100	0	100	100
相關比對	M	100	0	0	100	0	100	100
相關係數	M	100	0	2	98	0	99	98
特徵字模	M	100	100	0	0	100	0	100
加權字模	M	100	100	0	0	100	0	100
平方誤差	N	100	100	0	0	100	0	100
相關比對	N	100	100	0	0	100	0	100
相關係數	N	100	100	0	0	100	0	100
特徵字模	N	100	100	0	0	100	0	100
加權字模	N	100	100	0	0	100	0	100
平方誤差	P	97	100	0	3	97	0	98.5
相關比對	P	97	100	0	3	97	0	98.5
相關係數	P	97	100	0	3	97	0	98.5
特徵字模	P	99	100	0	1	99	0	99.5
加權字模	P	99	100	0	1	99	0	99.5
平方誤差	Q	99	100	0	1	99	0	99.5
相關比對	Q	100	100	0	0	100	0	100
相關係數	Q	97	100	0	3	97	0	98.5
特徵字模	Q	100	100	0	0	100	0	100
加權字模	Q	100	100	0	0	100	0	100
平方誤差	R	99	99	1	1	99	1	99
相關比對	R	99	99	1	1	99	1	99
相關係數	R	98	100	0	2	98	0	99
特徵字模	R	98	99	1	2	98	1	98.5
加權字模	R	99	100	0	1	99	0	99.5
平方誤差	S	98	99	1	2	98	1	98.5
相關比對	S	97	99	1	3	97	1	98
相關係數	S	98	97	3	2	98	3	97.5
特徵字模	S	100	99	1	0	100	1	99.5
加權字模	S	100	100	0	0	100	0	100

方法	字元	TP	TN	FP	FN	TPR(%)	FPT(%)	Accuracy(%)
平方誤差	T	100	100	0	0	100	0	100
相關比對	T	100	100	0	0	100	0	100
相關係數	T	98	100	0	2	98	0	99
特徵字模	T	98	100	0	2	98	0	99
加權字模	T	100	100	0	0	100	0	100
平方誤差	U	99	100	0	1	99	0	99.5
相關比對	U	99	100	0	1	99	0	99.5
相關係數	U	99	100	0	1	99	0	99.5
特徵字模	U	100	100	0	0	100	0	100
加權字模	U	100	100	0	0	100	0	100
平方誤差	V	100	100	0	0	100	0	100
相關比對	V	100	100	0	0	100	0	100
相關係數	V	100	100	0	0	100	0	100
特徵字模	V	100	100	0	0	100	0	100
加權字模	V	100	100	0	0	100	0	100
平方誤差	W	100	100	0	0	100	0	100
相關比對	W	100	100	0	0	100	0	100
相關係數	W	100	100	0	0	100	0	100
特徵字模	W	100	100	0	0	100	0	100
加權字模	W	100	100	0	0	100	0	100
平方誤差	X	100	100	0	0	100	0	100
相關比對	X	100	100	0	0	100	0	100
相關係數	X	100	100	0	0	100	0	100
特徵字模	X	100	100	0	0	100	0	100
加權字模	X	100	100	0	0	100	0	100
平方誤差	Y	100	100	0	0	100	0	100
相關比對	Y	100	100	0	0	100	0	100
相關係數	Y	100	100	0	0	100	0	100
特徵字模	Y	100	100	0	0	100	0	100
加權字模	Y	100	100	0	0	100	0	100
平方誤差	Z	100	100	0	0	100	0	100
相關比對	Z	100	100	0	0	100	0	100
相關係數	Z	100	100	0	0	100	0	100
特徵字模	Z	100	100	0	0	100	0	100
加權字模	Z	100	100	0	0	100	0	100

5.4 不同模板比對法之計算效能

本章節在電腦規格為 CPU 是 Intel(R) Core(TM) i9-10900K CPU @ 3.70GHz，軟體以 Visual Studio 2010 版語言 VB.NET 所編寫，資料有 34 個英數字辨識完 6800 筆實際資料後，統計各個字模比對法之計算耗時如下表所示。

表 5-3 各種字模比對法之計算效能。

比對方法	平方誤差	相關比對	相關係數	特徵字模	加權特徵字模
總辨識耗時 (ms)	4451	5035	8819	1721	1819
平均每張辨識耗時(ms)	0.65	0.74	1.29	0.25	0.26
相對耗時(%)	50%	57%	100%	19%	20%

近幾年，車牌辨識的應用從收費停車場、高速公路自動收費系統、和政府機關在各類道路上的科技執法之應用普遍興起。其關鍵因素在於，影像辨識品質與電腦運算效能的同步提升，給予影像辨識科技極大的發展空間，應用層面也更為廣泛。

車牌辨識要能達到商業應用的標準，主要有兩個面向：一是辨識正確率，二是計算效能。在辨識率方面已在 5.3 節的實驗證實本論文提出之加權特徵字模比對法辨識率甚佳；在計算效能上，由表 5-3 可明顯看出，本論文提出的特徵與加權特徵字模比對法的計算時間明顯少於其他方法。

由於影像畫質的提高，各種監控設備從以往只針對車牌區域拍攝特寫影像，進化到全景的取像，以便保留車輛出現在不同位置時的周圍環境資訊。但這同時也會增加許多處理複雜背景，搜尋鎖定車牌位置的計算量。因此，辨識流程中任何局部演算法的效能精進都非常重要。特徵字模演算法可用低於其他演算法一半以下的時間完成字元辨識，對於車牌辨識的整體效能必有極大的助益。

一般人的實用體驗中辨識一張影像如超過 0.5 秒(500 ms)，即會感覺到延遲，以本論文的加權特徵字模所用時間舉例說明，1 個字元的比對時間為 0.26 ms，比對完 34 個英數字則花費 8.84ms，只占 500 ms 約百分之二的時間，這表示還能提供更多的運算時間，以精進複雜背景處理及搜尋鎖定車牌相關演算法之效能。

以車牌辨識之終端產品為例，一般用於交通科技執法之道路監控畫面屬於全景多車辨識，不僅背景複雜、車輛眾多且多半具有車速，如辨識速度無法達到即時同步辨識之標準，就會造成頻繁遺漏錯失車牌目標的情況，降低執法效率及公平性，造成民怨。

另一種與辨識速度效能有極大關係的產品是車載車牌辨識系統，由於影像是由移動的車輛往外拍攝路邊停等之車輛，相對速度可達時速數十公里，目標車牌在畫面中停留時間大約只有 0.1~0.2 秒，更需要極高之辨識速度效能。一般而言每秒辨識頻率應達到 20Hz 以上，方能順利擷取絕大多數目標。即使演算法效率極高都無法完全達標，還需輔以多執行緒平行運算之相關技術，方能達到商業化產品開發之需求。

另一方面實際辨識速度必然與硬體效能有關，當演算法效能越高時，就可以使用較低階廉價之硬體設備達到相同效能，或在單一電腦上增加更多之資料處理流量以節省硬體設備成本，可以讓車牌辨識系統在商業推廣與普及方面更為有利。

5.5 傳統 OCR 與機器學習之技術討論

近幾年，機器學習的方法盛行，如：Convolutional Neural Network(CNN), Machine Learning(ML), Deep Learning (DL)等，是目前被高度討論且被視為最新之 AI 影像辨識技術，但本論文沒有採用機器學習等技術，而是以較為傳統的 OCR 技術為主要研究方向，有以下幾點考量，特在此節加以討論說明。

實務上，車牌之原始形狀雖為標準矩形，但是在立體空間中，因為拍攝距離與角度的差異，所得之數位影像是接近可以任意變形的狀況。如果以機器學習的理念做研究，所需收集之樣本數，包含各種車牌大小尺度與角度，將有無限多種可能。如須達到高辨識率，資料之收集、標記乃至訓練運算之成本都太高，並不符合商業開發之成本控制需求。

以機器學習的技術理念而言，如需達到高辨識率除大量資料之外，亦需有數量龐大之特徵種類設計，即使有大量資料經過耗時訓練後，電腦所訓練出的大量特徵模型，預期也將耗費較長的辨識時間。對於商業產品而言，辨識時間的快慢是很重要的品質參數，如非辨識率優於 OCR，或開發成本低於 OCR 產品，並無使用機器學習技術之必要。

機器學習產出之辨識軟體，是使用特定模型訓練出的特徵與關鍵參數為結果，如有錯誤案例，必須納入新資料重作長時間訓練，難以分析個案錯誤原因做直接具體之調整。於商業上，無法即時對客戶明確分析辨識成敗之原因，也無法立即調整軟體內容，進行快速的改版升級，是售後服務的極大缺失。亦即，機器學習開發模式將大幅提高辨識軟體之售後服務、升級改版與系統維護之難度與成本。

相對的，傳統的 OCR 技術在商業化的角度，並無上述機器學習模式的諸多缺點，加上如本論文在內的傳統影像辨識技術精進研發，不僅開發成本低廉，辨識速度遠優於機器學習產品，辨識率也明顯優於以機率統計模式訓練的機器學習產品。根據以上基於本人多年影像辨識實務開發經驗之分析討論，使用 OCR 傳統影像辨識技術，是比採用機器學習更合理，也更有效率的開發技術選擇！

六、 結論

本論文提出一種加權特徵字模模板比對法，此模板的設計分為三個部分，一、取字元的筆畫軸心 1 像素寬為筆畫特徵，二、在背景區以間隔 1 像素之網格點為背景特徵點，三、於近似字元之差異部分加密特徵點作為加權計分，以提昇近似字元之間比對的符合度差異。

在影像辨識的目標字元比對技術中，可分為模板比對法與特徵比對法兩種方式，模板比對法是包含字元前景與背景每個像素逐一比對，完整性高但較耗時且易受雜訊干擾；而特徵比對只針對字元筆畫之特徵型態或向量做比對，相對於模板計算量較少，但其忽略的背景資訊對於辨識字元亦同樣重要。而本論文提出的加權特徵字模比對法是融合字元特徵於模板內，結合此兩者優點的字元辨識技術。

經由實驗結果證實，本論文提出的方法其辨識正確率與穩定性皆優於其他模板比對法，尤其計算效能上有明顯優勢。最後，本論文的方法亦實質的貢獻於台灣車牌辨識系統中使用，證實其可行性且成效良好。

七、參考

- [1]. Pruegsa Duangphasuk and Arit Thammano (2006, September) Thai Vehicle License Plate Recognition Using the Hierarchical Cross-correlation ARTMAP. 3rd International IEEE Conference Intelligent Systems.
- [2]. Min-Ki Kim and Young-Bin Kwon (1996, August) Multi-Font and Multi-Size Character Recognition based on the Sampling and Quantization of an Unwrapped Contour. Proceedings of 13th International Conference on Pattern Recognition.
- [3]. Shen-Zheng Wang, Student Member, IEEE, and Hsi-Jian Lee (2007, June) A Cascade Framework for a Real-Time Statistical Plate Recognition System. IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION FORENSICS AND SECURITY.
- [4]. Choudhury A. Rahman, Wael Badawy, Ahmad Radmanesh (2003, July) A real time vehicle's license plate recognition system. Proceedings of the IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance, 2003.
- [5]. Shan Du, Mahmoud Ibrahim, Mohamed Shehata, Wael Badawy (2013, February) Automatic License Plate Recognition (ALPR): A State-of-the-Art Review. IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS FOR VIDEO TECHNOLOGY, VOL. 23, NO. 2.
- [6]. Muhammad Sarfraz, Mohammed Jameel Ahmed, and Syed A. Ghazi (2003, July) Saudi Arabian license plate recognition system. 2003 International Conference on Geometric Modeling and Graphics, 2003. Proceedings.
- [7]. Bai Hongliang and Liu Changping (2004, August) A hybrid license plate extraction method based on edge statistics and morphology. Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition, 2004. ICPR 2004.
- [8]. SherrZheng Wang and HsMian Lee (2003, October) Detection and recognition of license plate characters with different appearances. Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems.
- [9]. Farhad Faradji, Amir Hossein Rezaie, Majid Ziaratban (2007, October) A Morphological-Based License Plate Location. 2007 IEEE International Conference on Image Processing.
- [10]. Kanji Kanayama, Yoshimasa Fujikawa, Koichi Fujimoto and Masanobu Horino (1991, May) Development of vehicle-license number recognition system using real-time image processing and its application to travel-time measurement. [1991 Proceedings] 41st IEEE Vehicular

- Technology Conference.
- [11]. Vmha Kamat and Subramaniam Ganesan (1995, May) An efficient implementation of the Hough transform for detecting vehicle license plates using DSP'S. Proceedings Real-Time Technology and Applications Symposium.
 - [12]. Christoph Buscht, Ralf Domert, Christian Freytag', Heike Ziegler' (1998, May) Feature based recognition of traffic video streams for online route tracing. VTC '98. 48th IEEE Vehicular Technology Conference. Pathway to Global Wireless Revolution (Cat. No. 98CH36151)
 - [13]. Zhang sanyuan, Zhang mingti, Ye riuzi (2004, October) Car plate character extraction under complicated environment. 2004 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (IEEE Cat. No. 04CH37583)
 - [14]. M J. Ahmed, M Sarfaz, A. Zidouri, and K G. AI-Khatib (2003, December) 10th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems, 2003. ICECS 2003. Proceedings of the 2003.
 - [15]. Nikolaos Bellas, Sek M. Chai, Malcolm Dwyer, Dan Linzmeier (2006, April) FPGA implementation of a license plate recognition SoC using automatically generated streaming accelerators. Proceedings 20th IEEE International Parallel & Distributed Processing Symposium.
 - [16]. Hsien-Huang P. Wu, Hung-Hsiang Chen, Ruei-Jan Wu, Day-Fann Shen (2006, August) License Plate Extraction in Low Resolution Video. 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR' 06).
 - [17]. Mario I. Chacon M., Alejandro Zimmerman S. (2003, July) License plate location based on a dynamic PCNN scheme. Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks, 2003.
 - [18]. K. Miyamoto; K. Nagano; M. Tamagawa; I. Fujita; M. Yamamoto (1991, October) Vehicle license-plate recognition by image analysis. Proceedings IECON '91: 1991 International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation.
 - [19]. Young Sung Soh (1994, October) Design of real time vehicle identification system. Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics.
 - [20]. XU Hong-ke, YU Fu-hua, JIAO Jia-hua, SONG Huan-sheng (2005, December) A New Approach of the Vehicle License Plate Location. Sixth International Conference on Parallel and Distributed Computing Applications and Technologies (PDCAT' 05).

- [21]. Rodolfo Zunino and Stefano Rovetta (2000, February) Vector quantization for license-plate location and image coding. IEEE Transactions on Industrial Electronics.
- [22]. Christos Nikolaos E. Anagnostopoulos, Ioannis E. Anagnostopoulos, Vassili Loumos, and Eleftherios Kayafas (2006, September) A License Plate-Recognition Algorithm for Intelligent Transportation System Applications. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems.
- [23]. Xifan Shi, Weizhong Zhao , and Yonghang Shen (2005) Automatic License Plate Recognition System Based on Color Image Processing. Part of the Lecture Notes in Computer Science book series (LNTCS, volume 3483)
- [24]. Eun Ryung Lee, Pyeoung Kee Kim, and Hang Joon Kim (1994, November) Automatic recognition of a car license plate using color image processing. Proceedings of 1st International Conference on Image Processing.
- [25]. Shyang-Lih Chang, Li-Shien Chen, Yun-Chung Chung, and Sei-Wan Chen (2004, March) Automatic license plate recognition. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems (Volume: 5, Issue: 1, March 2004).
- [26]. Jiri Matas, Karel Zimmermann (2005, September) Unconstrained Licence Plate and Text Localization and Recognition. Proceedings of the 8th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems.
- [27]. Tran Duc Duan, Tran Le Hong Du, Tran Vinh Phuoc, Nguyen Viet Hoang (2005, February) Building an Automatic Vehicle License-Plate Recognition System. Intl. Conf. in Computer Science - RIVF' 05.
- [28]. Zhong Qin Shengli Shi, Jianmin Xu and Hui Fu (2006, June) Method of License Plate Location Based on Corner Feature. Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation.
- [29]. I. Paliy, V. Turchenko, V. Koval, A. Sachenko, G. Markowsky (2004, July) Approach to recognition of license plate numbers using neural networks. 2004 IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IEEE Cat. No. 04CH37541).
- [30]. Qian Gao, Xinnian Wang and Gongfu Xie (2007, August) License Plate Recognition Based On Prior Knowledge. Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics.
- [31]. Jing-Ming Guo, and Yun-Fu Liu (2008, MAY) License Plate

Localization and Character Segmentation With Feedback Self-Learning and Hybrid Binarization Techniques. IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY.

- [32]. Kwang-Baek Kim, Si-Woong Jang, and Cheol-Ki Kim (2003) Recognition of Car License Plate by Using Dynamical Thresholding Method and Enhanced Neural Networks. Part of the Lecture Notes in Computer Science book series (LNCS, volume 2756).
- [33]. Abdulkerim Capar, Muhittin Gokmen (2006, August) Concurrent Segmentation and Recognition with Shape-Driven Fast Marching Methods. 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'06).
- [34]. Paolo Comelli, Paolo Ferragina, Mario Notturmo Granieri, and Flavio Stabile (1995, NOVEMBER) Optical Recognition of Motor Vehicle License Plates. IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY.
- [35]. Lu Xiaobo, Ling Xiaojing, Nuang Wei (2003, December) VEHICLE LICENSE PLATE CHARACTER RECOGNITION. IEEE Int. Conf. Neural Networks 8. Signal Processing.
- [36]. Ying Dia; Nanning Zheng; Xining Zhang; Guorong Xuan (1998, November) Automatic recognition of province name on the license plate of moving vehicle. [1988 Proceedings] 9th International Conference on Pattern Recognition.
- [37]. Hans A. Hegt, Ron J. De la Haye, Nadeem A. Khan (1998, October) A high performance license plate recognition system. SMC'98 Conference Proceedings. 1998 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (Cat. No. 98CH36218).
- [38]. F. Aghdasi and H. Ndungo (2004, September) Automatic licence plate recognition system. 2004 IEEE Africon. 7th Africon Conference in Africa (IEEE Cat. No. 04CH37590).
- [39]. T. Nukano, M. Fukumi, M. Khalid (2004, November) Vehicle license plate character recognition by neural networks. Proceedings of 2004 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, 2004. ISPACS 2004.
- [40]. Mi-Ae Ko and Young-Mo Kim (2004, October) A simple OCR method from strong perspective view. 33rd Applied Imagery Pattern Recognition Workshop (AIPR'04).
- [41]. Min-Ki Kim and Young-Bin Kwon (1996, August) Multi-font and multi-size character recognition based on the sampling and quantization of an unwrapped contour. Proceedings of 13th International Conference on Pattern Recognition.



- [42]. Peifeng Hu, Yannan Zhao, Zehong Yang, Jiaqin Wang (2002, July) Recognition of gray character using gabor filters. Proceedings of the Fifth International Conference on Information Fusion. FUSION 2002. (IEEE Cat.No. 02EX5997).
- [43]. Siti Norul Huda Sheikh Abdullah, Marzuki Khalid and Rubiyah Yusof (2006, April) License Plate Recognition using Multi-cluster and Multilayer Neural Networks. 2006 2nd International Conference on Information & Communication Technologies.
- [44]. YINGYI SUN¹, XIANFENG MAO², SHENG HONG¹, WENHUA XU¹, AND GUAN GUI¹ (2019, March) Template Matching-Based Method for Intelligent Invoice Information Identification. IEEE Access.
- [45]. Sun Hongwei, Li Yuli, Chen Guangfeng (2010, December) Relations between the Standard Variance and the Allan Variance. 2010 International Conference on Computational and Information Sciences.
- [46]. Utpal Garain M. P. Chakraborty D. Dutta Majumder (2006, August) Improvement of OCR Accuracy by Similar Character Pair Discrimination: an Approach based on Artificial Immune System. 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR' 06).
- [47]. Olivier Caelen (2017, September) A Bayesian interpretation of the confusion matrix. Springer International Publishing AG 2017.

