電腦閱卷系統的研究

田聖才

測統所

摘要

本研究提出整合各種技術, 發展新一代電腦閱卷系統的方法。新一代的電腦閱卷系統利用 TWAIN 協定作爲個人電腦與掃瞄器或影 印機之間的通訊介面。它可以自動對輸入的試卷影像作分析與計分。在此架構下可以改進傳統電腦閱卷系統的許多缺點。本研究結果整合的各種技術包括表格傾斜度校正、表格與文字分離、文字的特徵擷取與比對等。本研究結果整合各種技術的基礎在於充分利用輪廓鏈碼的特性, 發展出許多簡單快速的演算法, 其中包括輪廓鏈碼形成演算法、鏈碼方向性判定、鏈碼特徵抽取與比對演算法等。本研究結果所提出的鏈碼特徵抽取與比對演算法是在離散系統中運算, 沒有轉換成連續函數的困擾, 藉由簡單的關係與邏輯運算, 即可得到結果。若鏈碼上的點數爲 N, 其鏈碼特徵抽取演算法的時間複雜度則爲 O(N)。本研究所提出的電腦閱卷系統, 經過採用眞實考試的試卷與模擬考試的 試卷實驗後, 證明本系統具有高達 99.99每秒一張的快速閱卷速度, 由此可知, 本研究之結果具有高的實用性質。

第一章　　緒論

傳統的人工閱卷方式自電腦發明以來, 已採用讀卡的方法來解決大規模考試的閱卷困擾, 最近更有電腦線上測驗的出現, 這些方式的使用成本很高, 一般僅適用於大規模的考試。如果電腦能有更好的閱卷能力, 配合使用低成本的輸入設備, 就可以得到更便宜卻不失傳統系統優點的新一代電腦閱卷系統。本研究在這種環境下, 欲結合各種現有的電腦技術研究發展出"新一代的電腦閱卷系統"(以下簡稱本系統)。本系統預期達成的系統效益有以下七點:

一、降低閱卷人力需求: 對人而言, 選擇題的閱卷暨簡單又單調, 而 且工資昂貴, 調集大量的人力也不容易, 所以非常適合由電腦閱卷系統取代 一部份人工閱卷, 藉此降低閱卷人力需求。

二、減少閱卷時間: 電腦系統可以持續不斷的閱卷, 而且隨 著電腦性能不斷提高, 電腦閱卷的速度越來越快, 因此閱卷的時間可 以越來越短。

三、降低耗材成本: 本系統的紙張可採用一般考試所使用的紙張, 不必使用特殊又昂貴的答案卡。再則採用掃描器爲輸入設備, 掃描器的價 格低廉、容易使用, 而且功能眾多不易損壞。另外受試者作答時也不需以 特殊的鉛筆作答。總之, 這一切皆可大幅降低耗材成本。

四、答案卷格式設計比較具有彈性: 本系統答案卷的格式是以表格爲 主, 題數和選項欄位可彈性設計, 較傳統的電腦答案卡的格式更具彈性。

五、可以輔助新的電腦測驗題庫自動製卷系統: 台中師院測統所的 數位師生正分別在研究發展數種不同的電腦測驗題庫自動製卷系統, 其主 要目的在於應用電腦從測驗題庫中自動選題, 組成多種題本。然後再應用電 腦, 將每一個題本的試題順序或選題順序做適當的調整, 使每一個題本具有 多種形式。這種多種題本與多種形式, 勢必造成閱卷工作的難度遽增, 因此 本系統可以協助解決其閱卷工作上的困難。

六、降低閱卷所可能產生的錯誤: 本系統的閱卷過程全部經電腦自動 處理, 本系統在發現試題的異常時, 本系統會自動標記要求人工複閱。因此 本系統可將閱卷產生的錯誤降至最低。

七、簡化答案卷的製作程序: 採用本系統的答案卷, 因採用電腦閱卷, 所以將來可以增加電腦條碼的識別系統, 亦即可以捨棄傳統的人工彌封與解密 程序, 如此即可大幅簡化答案卷的製作程序。

由上述內容可知: 本系統是一完整的、全自動、高效率且正確的電腦閱卷系統。欲達成此目的, 必須有效的整合所有的演算法、降低不需要的重複計算、因此, 本研究應尋找適切的資料結構, 並發展快速有效的演算法。

第二章　文獻探討

第一節　傳統的電腦閱卷系統

目前台灣所用的電腦閱卷系統皆採用硬體的讀卡系統配合軟體的計分系統, 硬體 主要來自國外, 軟體則由國人自行設計或仍採用國外廠商之原版軟體。由於國外 進口硬體的功能有限, 使得目前的電腦閱卷系統有以下諸多缺點:

一、最大只能接受 A4 的答案卷。

二、變更答案卷的格式時, 不易操作。

三、只能初步辨識在某一特定區域內, 是否有以2B 鉛筆塗黑的記號。

四、每次操作時, 只能讀取及辨識一種卡片格式。

五、答案卷必須採用國外進口特殊材質的紙張。

六、各家電腦閱卷系統的硬體規格不統一、相容性低。

七、各家電腦閱卷系統大多爲英文操作介面。

八、各家電腦閱卷系統的硬體價格昂貴, 僅能供閱卷使用, 無其它用途。

造成以上缺點的主要原因乃由於各家電腦閱卷系統的影像輸入與辨識部分的程式 皆直接燒錄於硬體上, 軟體部份僅作爲計分與操作介面, 所以不易改良。

第二節　電腦閱卷系統的相關研究

國內曾發表製作電腦閱卷系統的論文有以下兩篇:

一、陳洪洲 (民 70) 的「微電腦閱卷系統之設計研究」: 其研究重點在於設計閱讀答案卡片的機件。硬體的部分利用移動閱讀機件並以透射的方式判別答案區是否有用鉛筆塗 黑的記號, 並未辨識該記號的形狀。他的研究以硬體部分的設計爲主, 架構類似傳統的電腦讀卡系統的雛形。

二、莊粵盛 (民 79) 的「以光學字形辨識做填充題微電腦閱卷」: 其研究重點爲以光學字元辨識 (Optical Character Recognition,OCR) 的方式, 辨識手寫輸入的填充題式答案卷。他以手動的方法利用掃描器輸入格式固定的答案卷影像, 再用人工操作影像處理軟體切割出手寫字形影像, 交由其建立的辨識系統辨識。他使用的辨識演算法抽取的特徵包括端點數、分支點數、封閉迴圈數、線段型態 (直線、曲線或複雜曲線)、複雜曲線的大曲率點、最大截面交點數等。利用這些特徵值分類出手寫輸入的符號。

其研究之結果如下 (莊粵盛, 民 79):

(一) 其辨識符號有73種, 含阿拉伯數字、英文字母大小寫及其它一般常用符號11種。辨識正確率 91%, 錯誤率 3.3%, 其餘爲無法識別。若只辨識數字, 辨識正確率爲 95%

(二) 辨識失敗的原因主要包括: 影像掃描器操作不當、答案卡傾斜、字元書寫過於潦草、未按規定格式書寫、線段化的演算法有缺點, 容易產生誤差、細線化處理與預期的結果不相符、墨水不均勻、雜訊干擾、紙張質料不均等等。

(三) 系統的瓶頸在於輸入與輸出處理: 掃描一張影像要10秒, 存檔要6秒。

(四) 現在尚未解決的問題: 電腦不知如何批改填充題、影像掃描器仍須在 Eyestar Plus 的控制下才能動作。系統的掃描區域、對比、解析度等參數的設定及檔案儲存操作, 皆需以交談方式進行, 未能批次進行。

第三節　影像輸入協定的研究

影像掃描軟體爲了能使用各種廠牌或類型之影像掃描器, 必須遵守目前國際通用之影像輸入協定。目前國際通用之影像輸入協定爲 TWAIN 協定。西元 1992 年, 產業界爲了發展影像工業的統一標準, 由一群軟體或硬體公司成立 TWAIN Working Group, 制訂出 TWAIN 協定。它是一種開放的、跨平台的協定 (Protocol), 用以連接影像掃瞄輸入設備與影像處理應用軟體。TWAIN 協定, 它定義了影像擷取設備廠商如何撰寫驅動程式, 而影像處理的軟體廠商如何透過 TWAIN 協定來下指令給驅動程式。TWAIN 協定本身爲應用軟體與硬體設備間的中介者, TWAIN 協定其實是透過提供應用程式介面 (Application Programming Interface, API) 來讓軟體與硬體作溝通。整個 TWAIN 協定運作的模式, 就是依照一套固定程序來進行的有限狀態機 (Finite State Machine)。它的設計適用於各種不同影像來源的影像輸入設備, 但是由於各種影像輸入設備間的功能差異很大, 因此 TWAIN 協定有提供協調影像輸入設備功能的設計。爲了使影像輸入設備能夠依照我們的需求輸入影像, 電腦閱卷系統至少應具有以下所列的協調能力:

一、進紙狀態設定爲可連續進紙。

二、影像解析度設定爲 200 dpi(dot per inch)。

三、影像色彩解析度設定爲 256 色或 256 灰階。

四、影像傳遞過程設定爲檔案傳遞。

五、使用者介面設定爲禁止顯示。

第四節　影像編碼與辨識的相關研究

Marshall 於 1989 的「回顧影像編碼技術」一文中, 將影像編碼過程中所需的型態描述子 (Shape Descriptors) 概略分爲 Scalar Transform 和 Space Domain 兩類擷取方法。Scalar Transform 借重數學方法產生的型態描述子來描述物體。型態描述子通常分佈於實數, 可來自於計算動差 (Moments)、Fourier 轉換、Chord Distribution 或 linesums 等。其中標準2維影像動差或是中央動差的型態描述子可描述簡單的形狀, 但對複雜圖形就無能爲力了。Fourier Transform 產生的型態描述子對影像位移不變, 但對旋轉和尺度縮放敏感。

Space Domain 方法以型態的結構和相關的性質來描述物體。Space Domain 編碼技術依影像數值的處理對象大致可分爲以區域爲主或以邊界路徑 (輪廓) 爲主的方法 (詳見下節)。以區域爲主的方法如「中軸轉換法」(Medial Axis Transform)、「多尺度中軸轉換法」(Multiscale Medial Axis Transform) 及「分解爲凸子集法」(Decomposition into Convex Subset) 等。

中軸轉換法及多尺度中軸轉換法是以細化的骨架來代表物體, 標準的中軸轉換法對雜訊敏感, 同時對兩個物體中軸的相似度並無直觀的方法可以測量。分解爲凸子集法則是將非凸集合物體分解爲較簡單的凸集合, 但是太過複雜且處理過程緩慢。

第五節　邊界路徑的相關研究

針對邊界路徑 (輪廓) 的研究有分爲許多不同的領域, 與本研究相關的領域主要包含: 輪廓編碼的方法、擷取外形輪廓的方法、從物體外形輪廓中尋找特徵的方法及以鏈碼尋找特徵的研究等四個領域。

Freeman 於 1961 年提出鏈碼 (Chain–Code) 表示輪廓的方法, 他將輪廓追蹤方向分成四或八個方向, 依據物體外型輪廓的單連通路徑追蹤一遍, 即得鏈碼。每個方向編碼如下:

David(1984) 提出的邊界輪廓擷取演算法, 可以針對數位化影像的輪廓形成有限序

列的點集合。他的序列表示法具有一種先天上很好的特性, 不用特別安排就可以形成外部逆時針方向的點集合與內部孔洞順時針方向的 點集合, 並且他可以同時消除輪廓上共線的點 (Collinear Points), 節省資料 儲存空間。

Rosenberg(1974) 認爲從物體外形輪廓中尋找的特徵通常是一些足以簡化並代表輪廓重要訊息的點 (Dominant Point)。Attneave(1954) 認爲這些具有重要訊息的點往往有高曲率 (Curvature) 的傾向。因此尋找特徵的過程即成爲計算輪廓曲率的過程。數位影像的輪廓並不適合直接作連續函數的運算, Teh & Chin(1989) 認爲計算輪廓曲率的方法, 一般可分爲兩種:

一、計算角度 (Angle) 或尋找角 (Corner)。

二、利用分段線性多邊形來逼近數位的輪廓, 將 Dominant Point 視爲存在於兩鄰接直線的交點上。

第一種方法, 如 Fu & Yan(1997) 的曲線彎曲函數 (Curve Bend Function), 將 Dominant Point 視爲存在於具有區域最大角度的點上。第二種方法, 如 Zhu & Chirlian(1995) 的研究中即探討了 14 種的做法。這兩種方法大多須藉助平滑 (Smoothing) 技術以平均影像的量化效應 (quantization effects), 並需要許多參數設定。如決定計算區域的大小、輪廓的切割點、特徵判定的臨界值等。一般而言, 這兩種方法的共同缺點是: 不易尋找可以適合各種大小不同輪廓的適當參數。Dubois & Glanz(1986) 提出利用統計的 Circular Autoregression Model (CAR) 來尋找特徵的方法, 利用估計出模型的參數來尋找特徵。曾冠樹 (民 83)、胡武誌 (民 87) 用多尺度法 (Multiscale) 尋找特徵。他們用 Wavelet Transform 對輪廓作多尺度轉換以擷取特徵。多尺度轉換法可以在不同的尺度下得到輪廓特徵, 但是多尺度的方法採用的連續尺度, 需要耗費很多處理時間和大量的記憶體去過濾。Ueda & Suzuki(1993) 認爲可以使用離散的尺度簡單的避免這個困擾。Leyton(1988) 的凹凸結構 (Convex/Concave Structure) 特徵是利用將輪廓分割成凹部 (Concave) 和凸部 (Convex) 的循環序列方法, 這是一種簡單有效的特徵。

第六節　表格相關演算法的研究

本系統欲採用表格爲主的答案卷設計, 因此需要表格文件處理之演算法。國內已有許多相關研究, 其實驗結果如下:

一、尋找表格的演算法: 劉有志 (民 83) 的研究發現「表格方塊面積遠大於其它影像方塊面積」及「表格影像數量遠少於其它影像數量」。陳榮靜 (民 87) 根據線段擷取演算法擷取出直線或橫線, 再根據這些線的關係判定表格。

二、表格傾斜度的估計演算法: 通常文件的傾斜度就是表格的傾斜度, 所以能夠估計出文件傾斜度即可估計出表格傾斜度。估計文件傾斜度的方法有陳怡凱 (民 85) 計算文件在各角度的轉態 (0 變 1 或 1 變 0) 變異數, 發現「文件的轉態變異數出現最大值的角度就是文件歪斜的角度」。黃煒生 (民 83) 利用輪廓鏈碼, 以表格的輪廓線大多很長爲前提, 用較長的輪廓線估計表格傾斜角度。他先將角度分成許多離散的等分, 再對每一條輪廓線計算傾斜角, 看哪個角度紀錄最多, 就得到傾斜角。

三、表格與文字的分離演算法: 較常見的方法是利用「表格大多爲線段 (直線、橫線或斜線) 所組成」的特性, 只要能判斷出線段, 剩下即爲文字。判斷線段的演算法有陳榮靜 (民87) 的「線段擷取演算法」、Freeman(1974) 的直線鏈碼判斷條件及盧聖華 (民78) 曾使用的 Hough Transform 法。

第三章　研究方法

本研究爲了解決傳統電腦閱卷系統所遭遇的困難, 硬體部分只負責影像輸入, 由電腦軟體負責試卷影像的辨識與計分。在硬體方面採用掃描器或數位影印機, 可充分利用辦公室自動化設備, 節省專屬系統可觀的費用。紙張大小可至 A3 Size, 可以採用一般的影印紙, 影像掃描速度也可達到每分鐘 55 張的要求。答案卷格式可儲存在電腦中, 辨識時再提取出來使用, 這樣也可以同時辨識多種格式的答案卷。輸入影像時採用標準的影像輸入設備控制協定, 可以適應各種廠牌的影像輸入設備。配合手寫辨識技術可以閱讀各種可能的手寫輸入記號。配合軟體的設計, 影像輸入設備能夠自動連續進紙、自動掃描、自動存檔, 以便後續的自動分析、自動計分。本系統辨識結果攸關考生權益, 需要非常高閱卷正確率的演算法。然而高的閱卷正確率必須來自所有閱卷演算法的配合, 除了有好的手寫字體辨識演算法外、成功的切割答案、聰明的判斷答案、甚至答案卷的設計、計分方式的設計, 錯誤狀況的自動偵測, 都可以提高閱卷正確率。如何「整合」這些策略達到高閱卷正確率的要求, 是本研究所要解決的問題。爲了能夠讓電腦知道如何批改答案卷, 本研究採用手寫輸入的 $\surd$ 或 $\times$ 符號作爲表格式選擇題型的輸入, 並且在考生對答案塗改或擦拭不清時, 作爲判斷正確答案的標準。製作比對演算法有以下兩個困難處:

一、比對目標很難具體定義。

二、比對目標的定義很難適用於受到旋轉、縮放、移位與雜訊的影響。

本研究用以避免以上困擾的方法有:

一、固定掃描紙張的解析度: 避免縮放的困擾。

二、旋轉與移位的影響由進紙器控制: 進紙器不可能送入超過傾斜15度或移位半英吋的紙張, 可避免嚴重的傾斜或移位的困擾。

三、雜訊干擾由軟體再加以濾除。

在上述的條件下, 本研究的比對方法須在輪廓鏈碼上找出這兩種文字符號的具體定義, 並克服輕微的旋轉、移位與雜訊干擾。本研究的答案辨識程序除了應用以上所提的比對演算法外, 尚可利用電腦閱卷系統的性質, 配合下列程序以提高閱卷的正確率。

一、由於同一試卷的答案卷格式必定相同, 因此電腦閱卷系統可假設「同一試卷的答案卷格式在學生作答前即已知」。在已知的條件下, 可事先建立無傾斜、移位與雜訊干擾的標準表格資料。

二、待辨識影像爲學生填入答案後所輸入的答案卷影像。待辨識影像轉成輪廓鏈碼結構後與標準表格資料比對, 可尋找出表格區域並判定表格傾斜度。

三、將標準表格旋轉並移位與待辨識表格相同, 再切割待辨識表格, 取出手寫答案影像鏈碼送入辨識器計算其結構特徵。

四、整張考卷處理完畢即進入答案辨識程序與計分。無法處理的答案則標記異常, 由人工辨識。

本研究將依據以下四大研究步驟, 以完成本系統。

一、發展符合 TWAIN 協定的標準影像輸入介面, 此介面必須負責連續影像輸入存檔及影像前處理。

二、發展本系統所須使用的演算法, 經過分析後, 較爲重要的演算法包括下列數項:

(一) 輪廓鏈碼的形成演算法 將平面的影像轉換成只有輪廓鏈碼的資料結構, 使影像處理的過程變成爲應用輪廓鏈碼演算法處理的過程。雖然輪廓鏈碼的形成演算法已有許多種, 但必須尋找一種結構, 可以適於本研究所需的特徵擷取。

(二) 輪廓鏈碼的方向性判定 平面上的鏈碼方向可分爲順時鐘方向和逆時鐘方向兩種。能判定這兩種方向可應用於鏈碼間階層關係的判定。

(三) 輪廓鏈碼間的關係判定 由於鏈碼之間不交疊, 因此不同的鏈碼間具有鏈外、鏈內及鏈上三種關係。在二維平面上的這三種關係, 就好比一維直線上的大於、小於和等於這三種順序性, 應用這三種關係可以作爲二維平面上的鏈碼的定

位之用。此一演算法就是要判定這三種關係, 同時可以限制許多無關的鏈碼的計算或測試, 有效的減低計算量。

(四) 輪廓鏈碼的特徵擷取 有的時候表格中的文字, 除了是勾選符號外, 有時可能還有別的記號, 如小黑點雜訊或畫線的記號, 因此除了判定表格中有文字以外, 在某些時候還必須判定表格中文字是否爲勾選符號, 其判定依據來自於輪廓鏈碼結構特徵, 因此本系統必須發展出擷取輪廓鏈碼結構特徵的演算法應用於手寫文字的辨識。

三、有了基本輪廓鏈碼演算法, 我們將要應用這些演算法, 更進一步的推廣在以下幾項演算法中。

(一) 尋找表格的演算法 一般的答案卷設計除了表格以外, 都還會有一些提示考生的文字符號, 因次本系統要能區辨出文字區塊和表格區塊, 以尋找出表格。

(二) 表格傾斜度的估計演算法 將試卷輸入爲影像的過程中, 一定會受到通道的干擾出現程度不等的雜訊, 對於影像的傾斜估計會有不良的影響。雖然傾斜的程度不會很大, 但是爲了更精確的擷取到答案, 一定要修正表格的旋轉量。

(三) 表格與文字的分離演算法 本系統所處理的答案都在表格中, 表格中的答案可能會有與表格相連接或不相連接的關係, 因此要發展能夠切割出表格中文字的演算法。

(四)、手寫符號的比對辨識演算法 本研究必須根據輪廓鏈碼結構特徵, 發展出手寫勾選符號比對演算法, 以辨識考生在答案卷中所手寫之 $\surd$ 及 $\times$ 符號。

四、爲了驗證本研究所整合的各項演算法的具體成果, 本研究設計以下各項實驗, 同時針對眞實考試的答案卷與模擬考試的答案卷進行測試並分析結果。

(一) 影像前處理的實驗: 比較未經影像前處理的影像與經過影像前處理後的影像。

(二) 輪廓鏈碼生成演算法的實驗: 以台中師院選課卡的部分表格作爲範例, 抽取輪廓鏈碼。

(三) 凹凸結構特徵數的實驗: 以本研究產生的鏈碼抽取凹凸結構特徵數, 抽取的對象包括圓形符號、及 $\surd$ 與 $\times$ 符號。

(四) 面積估計旋轉量的實驗: 將表格旋轉後, 以面積估計旋轉量公式計算電腦所估計的五種旋轉角度 (右旋 0,5,10,15,20 度)。

(五) 考生作答產生干擾情形下, 以面積估計旋轉量的實驗: 將表格旋轉後, 並加上考生所可能產生的作答干擾, 再以面積估計旋轉量公式計算電腦所估計的五

種旋轉角度 (左旋 0,5,10,15,20 度)。

(六) 表格與文字分離的實驗: 以國立台中師院八十八學年度學士後國小教師在職進修專班新生入學考試答案卷1份測試表格與文字分離, 讓電腦尋找表格中考生作答之答案。

(七) 手寫符號 $\surd$ 與 $\times$ 混合辨識實驗: 混合手寫符號 $\surd$ 與 $\times$ 於紙上, 以200DPI 的影像解析度掃描成影像檔後, 讓電腦分別尋找其中之 $\surd$ 及 $\surd$ 符號。

(八) 針對眞實考試的答案卷作測試實驗: 以國立台中師院八十八學年度學士後國小教師在職進修專班新生入學考試社會學 科答案卷第一試場與第二試場答案卷共 100 份, 進行測試, 統計其「標記人工閱卷率」、「非人工閱卷正確率」及「閱卷速度」。其中總題數爲經本系統閱卷的所有題數總和; 人工閱卷題數爲總題數中由本系統挑選, 建議人工複閱的題數; 正確題數爲總題數中本系統非經由人工複閱而判斷錯誤的題數。計算以下比率:

$$\text{正確率} = \frac{\text{正確題數}}{\text{非人工閱卷題數}}$$

$$\text{人工閱卷率} = \frac{\text{人工閱卷題數}}{\text{總題數}}$$

(九) 針對模擬考試的答案卷作測試實驗: 由於前項實驗所取得的答案卷已經經過閱卷者批改, 爲求得到更正確的實驗結果, 因此再加入本項實驗。本項實驗以300 份答案卷由 300 位國小學生作答, 依照預定的選項勾選答案。回收後由本系統進行測試, 統計其「標記人工閱卷率」、「非人工閱卷正確率」及「閱卷速度」。

第三節　系統架構

本系統分硬體與軟體兩部分, 硬體部分包含掃描器與個人電腦、軟體則包括掃描器驅動程式、影像輸入子系統及閱卷與計分子系統。影像輸入子系統負責採用 TWAIN 協定作爲影像輸入的掃描器控制協定。將影像檔轉換成一致的256色灰階的黑白圖形檔, 儲存在電腦中。閱卷與計分子系統負責對所需閱卷的影像分析後計分。在閱卷前, 必須輸入標準試卷 (樣本試卷) 的資料與標準答案。按下開始閱卷的按鈕後, 會將每張試卷的答案顯示在系統訊息框。閱卷完成後可將考生的答案列印、儲存或刪除。

第四節　閱卷流程

由於本系統軟體部分區分爲「影像輸入子系統」及「閱卷與計分子系統」, 因此閱卷流程也分爲兩大程序:「答案卷影像輸入程序」與「閱卷與計分程序」。答案卷影像輸入程序將答案卷影像經由採用掃描器輸入, 並控制答案卷影像不由影像輸入設備之驅動程式所處理。本系統接收驅動程式傳來完整的影像後, 即做影像前處理: 經過灰階轉換, 使用 Laplace filter 加強清晰度, 再轉黑白影像, 做增長 (dilation) 處理。閱卷與計分程序又分爲答案判定程序與計分程序, 答案判定成功與否乃依據答案判定程序中的答案判定演算法。在答案判定的過程中如果失敗就不予計分, 且標記異常改由人工計分。計分程序所得到的分數來自於判定成功的答案而且是正確的答案, 也就是考生最少應得的分數。

本程序依照以下七步驟, 從經過影像前處理的答案卷影像中, 判別出考生的答案並計分。

一、整張影像建立輪廓鏈碼的資料結構 利用輪廓鏈碼形成演算法, 掃描整張答案卷影像, 建立輪廓鏈碼結構。

二、尋找表格區 答案卷上有文字也有表格, 但答案一定寫在表格中, 因此要得到答案, 必須先找到表格。也就是說, 找到代表表格的輪廓鏈碼在影像中的位移量。本演算法根據表格的內部孔洞數量多於文字內部孔洞數量的特性區別出答案卷中的表格與文字, 找到代表表格的鏈碼結構。

三、估計表格傾斜度 答案卷經過掃描後, 影像中表格通常都會有些許輕微的傾斜, 因此必須根據表格傾斜度估計演算法, 估計出表格傾斜度。

四、標準表格旋轉與移位 一般做法是轉正待分割表格, 但是因爲待分割表格是由掃描輸入, 四角估計出的座標應該不會很準確, 因此由標準表格旋轉移位效果比較好。依據待分割表格所估計出的傾斜度將標準表格旋轉與移位至待分割表格所在之處, 以減少標準表格與待分割表格之間的誤差。

五、依據標準表格切割待分割表格, 以得到表格中的文字所形 成的鏈碼。

六、勾選記號辨識 切割下的待辨識區域中的鏈碼應該就是勾選記號。可以利用鏈碼的結構特徵, 辨識出哪一個記號是眞正的勾選記號。

七、答案判別 在判別答案的時候, 攸關考生的權益, 除非有非常高 (至少 99%) 的離線手寫文字符號辨識正確率, 否則我們不能僅以此一技術判別, 必須使用許多不同的方法。

利用以下的方法, 可以簡單的判斷出考生的答案, 遇到無法判斷的情形, 才交由文字辨識來確認眞正的答案, 如果還無法確認, 則標記答案異常。

一、同一題只有一個選項爲正確答案。只要考生只勾選一選項, 即不用經過文字辨識, 直接判定該選項爲答案。

二、若考生勾選超過一選項, 即比對其勾選記號的面積大小, 以最大者爲考生之答案, 同時, 必須大於次大者的面積 3 倍以上。

三、經第二步驟後仍無法判定, 表示勾選記號間的面積差不多, 則採文字辨識後所得結果爲考生的答案。

四、經第三步後, 若所得結果的記號超過一個, 表示考生可能複選, 或可能辨識失敗, 則此題標記異常, 由人工複閱。

答案判定異常的結果, 應標記異常由人工計分。所有有問題的選項都應該標記異常, 沒有標記異常的選項必須代表答案判定完全成功, 沒有失敗。最後應經由人工隨機抽查。

第四章　研究結果與討論

第一節　形成輪廓鏈碼的演算法

David(1984) 在形成物體輪廓的研究中, 利用鏈結串列 (Link List) 串聯起有限序列點集合, 並且消除了輪廓上共線的點, 但是並無使用鏈碼結構, 雖然可以節省資料儲存的空間, 卻在相鄰兩直線間的角度差出現各種不同的變化。本研究所採用的演算法類似 David(1984) 的演算法, 但是產生的資料結構卻類似 Freeman(1961) 的四方向輪廓鏈碼。本研究所採用的演算法首先在每條掃描線上產生如環狀的鏈碼 (以下簡稱「環」), 再對任意兩相鄰的掃描線上作環的合併。這樣的方法還可以同時在每條掃描線上作平行處理。本演算法所採用的四方向鏈碼, 其方向定義如圖 4–1–1:

一、水平掃描線產生的資料結構 令數位化二元黑白影像檔的背景爲白色, 前景的物體爲黑色。每一水平列的前景可產生點或水平線的資料結構, 方法如下: 由左而右掃描影像時, 每一條水平掃描線上都會有由黑變白或由白變黑的部分。把由白變黑的黑色座標視爲起點, 由黑變白的黑色座標視爲終點, 再把起點和終點構成的一對形成一個環, 一條水平掃描線上就可能有好幾個環, 每個環的高度都是一個像點 (Pixel) 高, 環和環之間至少會相隔一個像點。每一條水平掃描線都以這方式形成環。一個像點或一條水平線段所構成的環是最小的環, 由四個點構成。這四點依次爲左上、右上、右下和左下。左上的點方向向右、右上的點方向向下、右下的點方向向左、左下的點方向向上。(見圖 4–1–2)

圖中的方塊代表節點 (Node) 儲存座標和方向, 箭頭代表指標, 指向下一個節點, 形成順時針循環的鏈結串列 (Link List)。四個節點的 Y 座標皆相同,1、2 節點的 X 座標相同,3、4 節點的 X 座標相同, 如果這 4 個節點代表同一像點, 則座標皆相同。

二、相鄰掃瞄線間環的合併 在相鄰的掃瞄線間, 不同的環如果有重疊的部分, 就要做環的合併。環與環之間至少必須有一個像點的重疊, 才可以做環的合併。同一掃描線的環必不重疊, 只有上下相鄰的掃描線, 才會有重疊的可能。在做環的合併時, 在上方的掃瞄線的環只需考慮 1、4 兩節點, 在下方的掃瞄線的環只需考慮 2、3 兩節點。

(一) 環重疊的判斷: 見圖 4–1–3, 當 2 的 X 座標大於 4 的 X 座標 (左圖), 或 3 的 X 座 標小於 1 的 X 座標 (右圖) 時, 上下兩環不重疊, 否則 兩環重疊。

(二) 環重疊的處理: 當兩環重疊時, 由左至右先考慮 1、2 兩點間的關係再考慮 3、4 兩點間的關係。

(三) 判斷 1、2 兩點間的關係

1. 當 2 的x 座標大於 1 的 x 座標時 (見圖4–1–4), 在 1、4 之間的 2 的 X 座標處插入一點, 方向向左, 並改變 2 的方向向上。

2. 當 2 的 X 座標等於 1 的 X 座標時 (見圖4–1–5), 改 變 2 的方向向上。

3. 當 2 的 X 座標小於 1 的 X 座標時 (見圖4–1–6), 在 2、3 之間的 1 的x座標處插入一點, 方向向上。

(四) 判斷 3、4 兩點間的關係

1. 當3 的 X 座標大於 4 的 X 座標時 (見圖4–1–7), 在 2, 3 之間的 4 的 X 座標處插入一點, 方向向右, 並 改變 4 的方向向下。

2. 當 3 的 X 座標等於 4 的 X 座標時 (見圖4–1–8), 改變 4 的方向向下。

3. 當 3 的 X 座標小於 4 的 X 座標時 (見圖4–1–9), 在 1、4 之間的 3 的 X 座標處插入一點, 方向向下。

當所有的掃描線都完成環的合併後, 即產生圖形的鏈碼結構。這時候的環自然會表現出幾個性質:

性質 4.1.1. 所有的環的方向都是四方向的鏈碼。

性質 4.1.2. 環與環之間不相交。

性質 4.1.3. 物體外部輪廓的環以順時鐘方向排列。對於有洞的影像, 內部輪廓的環以逆時鐘方向排列。

(五) 消除垂直共線的鏈碼: 產生鏈碼後, 無水平共線的點, 但卻有垂直共線的點, 只要消除連續重複的鏈碼, 就可消除垂直共線的鏈碼。

第二節　以輪廓鏈碼爲基礎的特徵擷取演算法

一、環的方向性判定 以第一節的方法產生的環, 作以下的定義, 可得到許多有用的性質:

定義 4.2.1. 順向點: 環上任意一點的方向爲前一點的方向右旋 90 度。

定義 4.2.2. 逆向點: 環上任意一點的方向爲前一點的方向左旋90度。

定義 4.2.3. 順向環: 順時針方向的環。

定義 4.2.4. 逆向環: 逆時針方向的環。

可藉由順向點與逆向點的數目判斷出環的方向性。

性質 4.2.5. 順向環的順向點比逆向點多 *4* 點。

性質 4.2.6. 逆向環的逆向點比順向點多 *4*點。

這兩個性質可用來判斷環的方向, 只要環繞環一周, 就可以計算順向點數目和逆向點數目。

二、點在環之間關係的判定 點與環只有三種關係: 點在環外、點在環上和點在環內部。

假設我們要判斷點 D 和環 R 的關係, 已知條件如下:

(一) (x, y): 點 D 的座標。

(二) $\min X$: 環 R 上的點的 X 座標的最小值。

(三) $\max X$: 環 R 上的點的 X 座標的最大值。

(四) $\min Y$: 環 R 上的點的 Y 座標的最小值。

(五) $\max Y$: 環 R 上的點的 Y 座標的最大值。

最多由下面三步驟即可判定點與環的關係。

[第一步:] 如果 $x < \min X$ 或 $x > \max X$ 或 $y < \min Y$ 或 $y > \max Y$, 則D在R外, 否則由第二步判定。

[第二步:] 在 R 上 Y 座標等於 y 的點中, 取一最接近 D 的 點 P, 如果 P 的 X 座標等於 D 的 X 座標, 則 D 在環上, 否則由第三步 判定。

[第三步:] 設 D 的方向等於 P 的方向, 如果從 P 至 D, 再回到 P 的方向是等於環的方向, 則 D 在 R 外; 否則, D 在 R 內。

三、環與環之間關係的判定 由於環與環之間不相交, 所以可將環與環之間的關係簡化爲點與環的關係。假設我們要判斷環 C_1 和環 C_2 的關係, 在 C_1 上任取一點 D, 若 D 在環 C_2 外則 C_1 在環 C_2 外, 若 D 在環 C_2 內則 C_1 在環 C_2 內, 若 D 在環 C_2 上則 C_1 與 C_2 爲同一環。

四、環的結構特徵擷取 在四方向鏈碼的環中, 順向點和逆向點常常是交錯出現, 但是有些時候, 會連續出現順向點或逆向點, 本研究認爲這些連續出現的點, 是具有特徵的點

定義 4.2.7. 凸點: 連續出現的順向點。

凸點如果平滑 (Smoothing) 爲連續函數, 凸點的意義應爲 X 軸或 Y 軸上的區域最小值或區域最大值。

定義 4.2.8. 凹點: 連續出現的逆向點。

凹點如果平滑 (smoothing) 爲連續函數, 凹點的意義應爲X軸或Y軸上的區域最小值或區域最大值。

定義 4.2.9. 連接邊: 環上非凸點也非凹點的點。

連接邊如果平滑 (smoothing) 爲連續函數, 應爲 X 軸或 Y 軸上的遞增或遞減函數。

定義 4.2.10. 凸邊: 連續出現的凸點與其間的連接邊。

定義 4.2.11. 凹邊: 連續出現的凹點與其間的連接邊。

結合以上的定義可得到下面之性質。

性質 4.2.12. 連接邊若介於凸點與凹點間, 則連接邊中的點數爲偶數。

性質 4.2.13. 連接邊若在凸邊或凹邊內, 則連接邊中的點數爲奇數。

將以上的定義整理後, 可得到其定義之間的關係圖 (見圖 4–2–1):

研究偶數點連接邊的數目後, 可以發現偶數點連接邊數目可以作 爲凹凸結構的凹凸數。把凹凸結構用在辨識手寫符號 "√" 與 "×" 上有 很簡單的特性。"√"的凹凸數即爲2; "×"的凹凸數爲8, 這個數字 可以對環作做分類的依據。由於找到了代表 √ 和 × 的離散凹凸結構數, 所以比對的方法變成很簡單, 只要計算環上的凹凸結構數, 若爲 8 則爲 ×, 若爲2則爲 √ 。

第三節　電腦閱卷系統相關演算法的研究

一、表格與文字的判定演算法 若以環結構的觀點來看, 表格屬於內部有逆時針環 (以下簡稱內環) 的順時針環 (以下簡稱外環), 但受限於表格可能斷線或缺線的影響, 內環的數目會減少, 如果是表格的外框線斷線, 某些內環會成爲外環的一部份。如果是表格內文字連接在格子上, 則一個內環會受到分割成爲許多內環。由表格與文字的環特性, 本研究判定表格與文字的演算法擬依據外環所包含的內環數量排序, 由大至小取符合表格個數的外環, 這些外環即爲代表表格之環。

二、表格傾斜度的估計演算 依據傾斜表格的外接矩形的長與寬可以估計出表格旋轉量 (見圖 4–3–1), 修正旋轉量後可以提高切割答案區域的正確程度。

本研究尚發現表格內環對抗考生作答干擾的特性比表格外環強可以更精確的修正表格的旋轉。

三、表格鏈碼與文字鏈碼的分離演算法 表格中的文字若與表格相連, 則必須在表格鏈碼中切割出文字鏈碼。表格若有移位或旋轉, 可先由無移位、無旋轉的表格鏈碼計算出經過移位與旋轉後的鏈碼作爲新的標準鏈碼。計算出的新標準鏈碼與等待切割出文字的鏈碼間的誤差愈小則表格切割會愈準確 (見圖 4–3–2)。作切割前, 須收集可能需要切割的表格線鏈碼。可能需要切割的表格線鏈碼有兩種。第一種是找出所有環的中心座標位於新標準鏈碼內的環。第二種是找到所有環內擁有新標準鏈碼中心座標的環。這兩種環的找法可以運用點與環的關係判定演算法。找到符合這兩種條件的環後, 就搜尋所找到的每一個環, 取其上最接近標準環左上角、左下角、右上角和右下角的點作爲切割線的端點。並取一臨界值, 當誤差大於臨界值, 表示表格可能斷線, 缺線, 我們就放棄搜尋結果, 以標準環的座標當作估計的座標, 建立切割線, 切割待辨識區域 (見圖 4–3–3)。

第四節　實驗結果

下列實驗以國立台中師院八十八學年度學士後國小教師在職進修專班新生入學考 試某科答案卷第一試場與第二試場答案卷共 100 份測試, 結果如下表。

表 4–4–1: 針對眞實考試的答案卷作測試實驗之結果

	試場一	試場二	合計
試卷數 (張)	50	50	100
空白試卷 (缺考) 數	24	16	40
測試試卷數 (張)	26	34	60
測試題數 (題)	1300	1700	3000
標記人工閱卷題數 (題)	6	8	14
標記人工閱卷率 (%)	0.46	0.48	0.47
非人工閱卷題數 (題)	1294	1692	2986
非人工閱卷正確題數 (題)	1293	1692	2985
非人工閱卷正確率 (%)	99.9	100	99.97
全部試卷閱卷時間 (秒)	26	34	60
閱卷速度 (題/秒)	50	50	50

根據實驗結果, 接受辨識的 3000 題中, 標示出 14 題須接受人工閱卷, 佔 0.47%。其它的 2986 題由電腦閱卷。這 2986 題中, 電腦閱卷錯誤1題, 正確率爲 99.97%。同時, 發現人工閱卷批改錯誤 1 題, 並導致電腦閱卷錯誤。下列實驗以 300 份答案卷由 300 位國小學生作答, 依照預定的選項勾選答案。回收後分爲六試場, 由本系統進行測試, 實驗結果見下表。

表 4–4–2: 針對模擬考試的答案卷作測試實驗之結果

	試場一	試場二	試場三	試場四	試場五	試場六	合計
試卷數 (張)	50	50	50	50	50	50	300
測試題數 (題)	2500	2500	2500	2500	2500	2500	15000
標記人工閱卷題數 (題)	4	9	4	8	8	5	38
標記人工閱卷率 (%)	0.16	0.36	0.16	0.32	0.32	0.20	0.25
非人工閱卷題數 (題)	2496	2491	2496	2492	2492	2495	14962

續接下頁

承接上頁							
	試場一	試場二	試場三	試場四	試場五	試場六	合計
非人工閱卷正確題數 (題)	2496	2491	2496	2492	2492	2494	14961
非人工閱卷正確率 (%)	100	100	100	100	100	99.96	99.99
全部試卷閱卷時間 (秒)	50	51	51	53	51	53	309
閱卷速度 (題/秒)	50	49	49	47	49	47	49

根據實驗結果, 接受辨識的 15000 題中, 僅標示出 38 題須接受人工閱 卷, 佔 0.25%。其它的 14962 題由電腦閱卷。這 14962 題中, 閱卷錯誤 1 題, 正確率爲 99.99%。平均閱卷速度每秒 49 題, 等於每秒約可閱一張答案卷。

第五章　結論與建議

第一節　結論

本研究所提出電腦閱卷系統解決了傳統電腦閱卷系統所遭遇的困難。本系統可以接受各種尺寸的答案卷、能輕易變更答案卷格式、不但能夠在某一特定區域內找到考生的答案, 還可以用本研究所提出的輪廓鏈碼凹凸結構特徵, 更精確的輔助辨識出考生的答案。同時, 本系統可以使用一般的紙張, 不必採用國外進口特殊材質的紙張, 可節省耗材成本。所使用的個人電腦與掃描器比起市面上動輒 40–60 萬的傳統電腦閱卷系統, 大幅降低了成本。在影像擷取設備與影像處理軟體間採用 TWAIN 協定, 更無硬體相容性的問題。本研究所提出電腦閱卷系統改進了莊粵盛 (民 79) 尚未解決的問題、降低了人爲可能造成的干擾。本系統結合了快速、自動的影像輸入設備, 能夠自動進紙、自動掃描、自動存檔、自動分析、自動計分並且自動標記出需要人工閱卷的答案。同時, 提昇閱卷成功率 至 99.99%。本研究所提出的輪廓鏈碼凹凸結構特徵在辨識手寫符號 $\surd$ 與 $\times$ 上, 具有簡單、快速的性質, 已滿足了本研究的電腦閱卷系統的需要。本研究所提出的方法完全整合電腦閱卷系統所需的各項演算法。由文獻探討中可知: 傳統的影像編碼與辨識演算法、表格傾斜度估計演算法、表格與文字分離演算法、尋找表格演算法等, 並

無一致的運算基礎, 各種演算法產生的資訊並無互相使用的情形。本研究以創新的輪廓鏈碼形成演算法, 產生基本的資料結構, 並在研究了輪廓鏈碼相關性質後, 研究出環的方向性判定、點與環的關係判定、環與環的關係判定、環的結構特徵擷取等演算法, 並進而應用在電腦閱卷系統, 發展出表格與文字判定演算法、表格傾斜度估計演算法、表格與文字分離演算法。由此可見本研究所提出的環是實用性很高的資料結構, 充分利用環的特性, 可完全整合電腦閱卷系統所需的各項演算法。

本研究所研發的電腦閱卷系統, 具有很高的實用價值。本系統對於眞正考試所使用的答案卷, 具有很高的閱卷正確率, 因此可說本研究所研發的電腦閱卷系統, 已可應用在眞實的場合中, 具有很高的實用價值。

第二節　建議

本研究所得的凹凸結構特徵數, 雖然已經滿足本研究之電腦閱卷系統的需要, 但是應該可以繼續應用在文字影像的描述與結構特徵擷取的後續研究中。本研究所得的電腦閱卷系統尚可以做以下之改進:

一、廢除答案卷, 考生直接作答於題目卷, 讓電腦閱卷系統可以接受以題目卷輸入的方式。

二、在答案卷上加入試卷資料之條碼, 閱卷時直接以條碼辨識的方式判定試卷相關資料, 以便簡化閱卷流程, 也可省去彌封的製作過程。

三、在尚可接受的閱卷成功率下, 加入複選題與多重選擇題的閱卷能力。

四、在尚可接受的閱卷成功率下, 加入更多文字符號辨識的閱卷能力。

五、本系統在閱卷完成後, 可以加入作答情形的統計或分析程序。

六、本系統應加入排除各種雜訊干擾的研究, 以提高閱卷的正確率。

參考文獻

一、中文部分

胡武誌 (民 87): **物體輪廓的分割與描述**。國立台灣科技大學電機工程技術研究所博士論文。

陳洪洲 (民 70): **微電腦閱卷系統之設計研究**。逢甲大學自動控制工程研究所碩士論文。

陳怡凱 (民 85): **利用掃描線模型匡正歪斜文件影像**。國立成功大學電機工程研究所碩士論文。

陳榮靜 (民 87): **表格辨識與表格資料擷取之研究**。國立中興大學應用數學研究所博士論文。

莊粵盛 (民 79): **以光學字形辨識做填充題微電腦閱卷**。國立台灣師範大學工業教育研究所碩士論文。

曾冠樹 (民 83): **以多尺度轉換為基礎之圖形描述及辨認方法**。國立成功大學電機工程研究所碩士論文。

黃煒生 (民 83): **表格文件自動描述與分類系統**。國立交通大學資訊工程研究所碩士論文。

劉有志 (民 83): **圖文分離**。國立中正大學資訊工程研究所碩士論文。

盧聖華 (民 78): **表格文件分析與了解之研究**。國立中央大學研究所碩士論文。

鍾世明 (民 78): **以半徑取點法為基礎的辨認系統**。中原大學機械工程研究所碩士論文。

戴紹國 (民 87): **利用鏈碼方向性抽取平面物件特徵以達成形狀辨 識及分類的方法**。國立中興大學應用數學研究所碩士論文。

二、外文部分

Capson, D.W.(1984). An Improved Algorithm for the Sequential Extraction of Boundaries from a Raster Scan. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing 28*, 109–125.

Dubois, S.R. & Glanz, F.H.(1986). An Autoregression Model Approach to Two-Dimensional Shape Classification. IEEE Trans. *On Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8(1)*, 55–65.

Attneave, F.(1954). Some infomational aspects of visual perception. *Psychol. Rev., 61(3)*, 183–193.

Freeman, H.(1961). *On the encoding of arbitrary geometric configuration.* IEEE Trans. Electronic Computers, 260–280.

Freeman, H.(1974). Computer processing of line drawing images. *Computing Surveys, 6(1)*, 57–98.

Freeman, H. & Davis, L.S. (1977). *A Corner Finding Algorithm for Chain-Code Curves.* IEEE Trans. Compu.

Yan, Fu,H. & Kai, H.(1997). A curve bend function based method to characterize contour shapes. *Pattern Recognition, 30(10)*, 1661–1671.

Fan, K.C. & Han, C.C.(1994). Parallel mechanism for detecting contours in binary images. *Journal of Electronic Images, 3(1)*, 30–36.

Leyton, M.(1988). A process-grammar for shape. *Artificial Intell., 34*, 213–247.

Ogawa, H.(1989). Corner detection on digital curves based on local symmetry of the shape. *Pattern Recognition, 22(4)*, 351–357.

Rosenberg, B.(1974). Computing dominant point on simple shapes. Internat. *J. Man-Machine Studies, 6*, 1–12.

Rosenfeld, A.(1974). *Digital straight line segments.* IEEE Trans. Compu, C-23, 1264–1269.

Marshall, S.(1989). Review of shape coding techniques. *Image Vision Comput., 7(4)*, 281–294.

Teh, C.H. & Chin, R.T.(1989). On the detection of dominant points on digital curves. IEEE Trans. *Pattern Anal. Machine Intell., 11(8)*, 859–872.

Twain Working Group (February 5, 1996). Twain Release V1.6. TWAIN Toolkit.

Ueda, N. and Suzuki, S.(1993). Learning visual models from shape contours using multiscale convex/concave structure matching. IEEE Trans. Pattern Anal. *Machine Intell. 15(4)*, 337–352.

Zhu, P. and Chirlian, P. M.(1995). On critical point detection of digital shapes. IEEE Trans. Pattern Anal. *Machine Intell., 17(8)*, 737–748.

電腦閱卷系統的研究

田聖才

Abstract