眼動資料分析應用在感興趣區域分析之方法

吳俄俊
國立臺灣師範大學
電機工程學系
60475033h@ntnu.edu.tw

陳冠安
國立臺灣師範大學
電機工程學系
crackereidolon@gmail.com

何宏發
國立臺灣師範大學
電機工程學系
jackho@ntnu.edu.tw

摘要

人類對於視線範圍內感興趣區域之特徵會做瞬間凝視之反應，透過眼動資料分析可以特定受測者對刺激物的感興趣區塊。本判定方法使用「數據有效性判定」、「數據修正」、「顯著差異感興趣區域分析」三種方式判定、修正、感興趣區域切割與定義作為自動尋找刺激物中的差異區域。此分析方法可以客觀對感興趣區域定義之參考而非以往人工手動方式判別數據有效性、修正與定義感興趣區域，更為符合研究客觀要素。

關鍵詞：眼動資料、眼動資料有效性、資料修正、眼動資料感興趣區域分析。

Abstract

Human interest in the region of interest within the scope of the line of sight of the characteristics of the reaction will be instantaneous gaze, eye movements through the data analysis can be specific subjects to stimulate interest in the block. The method of judging, modifying, and cutting ROIs is defined as the difference region in the automatic search of the stimulus using three methods: "data validation", "data correction" and "significant difference region of interest analysis". This method can be an objective analysis of the region of interest is defined by reference rather than the conventional way of doing so manually determine data validity, amendment and define the region of interest, more in line with research objective elements.

Keywords: Eye movement data, Eye movement data validity, Data revision, Analysis of ROI for eye movement data.

1. 前言

眼動儀的發展從西元 1897 年 Huey 建立第一台侵入式眼動儀，透過鋁製之印棒與戴在眼睛上的透鏡做連接來指出受測者目前視線位置[28]。西元 1935 年 Busswell 製作了第一台非侵入式眼動儀，透過將光源照射眼睛，接收反射光點來計算眼睛凝視位置[16]。眼動儀的技術日益成熟，被廣泛應用於各類視覺相關研究。

在西元 1878 年 Javal 發現人在閱讀時，眼球並非平滑移動，而是反覆凝視(fixation)與跳視(saccade)，所以閱讀時的眼動歷程是經由一連串的凝視與跳視組成[13] [14]。西元 1967 年 Yarbus 的視覺行為人之研究中確認凝視對不同實驗刺激物有著絕對的影響[25]。西元 1976 年 Just 與 Carpenter 提出眼睛凝視的過程代表思想的假說[24]。

感興趣區域(region of interest, ROI or area of interest, AOI)與眼動儀的相關變相經常被研究人員用於眼動相關研究中[17]。研究人員會依照研究的待答問題去定義他們想要的區域，眼動變相(eye movement variable)是依照是眼前所定義的感興趣區域來分析眼動實驗資料的各項分析指標[17]，其中最為常用的 4 指標分別為首次凝視延遲時間(Latency of First Fixation, LFF)、首次凝視持續時間(Duration of First Fixation, DFF)、總凝視次數(Number of Fixation, NOF)以及總凝視時間(Total Contact Time, TCT) [26] [20]。

眼動資料分析是需要大量勞力的工作，要判讀資料的有效性、定義感興趣區域、眼動變相分析及描述統計分析等。對於不同的人，研究假設與實驗結果不一定每次都一致，並非每次眼動實驗都能找到統計上眼動與操弄的變相間顯著差異，也因此定義與分析眼動資料會大幅增加定義與分析的時間。有效數據判定與修正需透過熱區分析與掃視路徑逐一判別每筆眼動資料，因此眼動資料判定並非唯一性，加上人工判讀的準則不一致，眼動資料會因為不同研究人員而導致判定有在同一樣本中會出現不同的結果。

眼動資料分析應用在感興趣區域判定之方法用於自動化分析眼動資料，取代原先需要大量時間與人力進行眼動資料整理與分析。

圖 2 眼動資料分析流程圖

2. 研究目的與方法

本研究提出眼動資料分析應用在感興趣區域判定之方法應用於自動眼動資料分析，希望降低研究人員在進行眼動資料分析上的負擔。眼動資料分析流程圖如【圖 2】。

此方法分成 3 大功能模組來實現，分別為「數據有效性判定模組」、「數據修正模組」及「顯著差異感興趣區域分析模組」。「數據有效性判定模組」是以量化計算方式判定眼動資料的有效性，取代人工判得過於主觀和耗時等缺點；「數據修正模組」是對偏移的眼動資料透過 K-Means 演算法提出修正建議，提高眼動實驗資料準確性；「顯著差異感興趣區域分析模組」是透過分治法(Divide and Conquer Algorithm)來進行不同尺寸的 ROI 定義，自動進行眼動變相分析及統計分析，將數據判定結果以圖像及文字作呈現，以此來找出潛在限制差異區，以利於研究人員方便檢閱分析結果。

2.1 眼動資料分析

眼動資料分析可分為兩種，一種是視覺化分析結果如熱區分析(Hot Zone)與路徑分析(Scan Path)，另一種則是眼動變相統計分析如總凝視時間、總凝視次數等。

◆視覺化分析

- 熱區分析(Hot Zone)

  熱區分析師透過凝視時間與凝視位置的梯度變化，以不同顏色標註不同區域受測者的眼睛停留時間。

  【圖 2-1】取自 EyeNTNU 的眼動資料分析人體熱區分析結果，紅色區域表示受測者視線停留的時間較長、黃色與綠色區域停留時間較短，研究人員可透過此分析來了解每位眼動歷程概況，藉此判定數據的有效性。

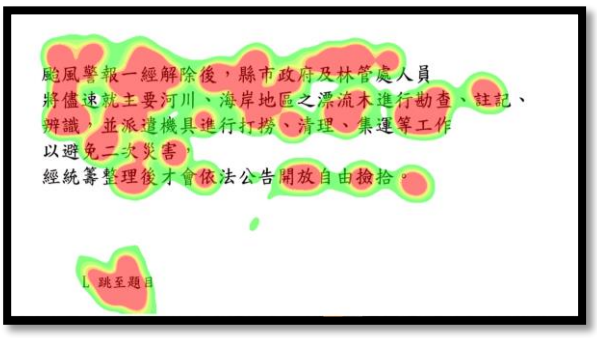


圖 2-1 EyeNTNU Analysis Tools 熱區分析

- 掃視路徑分析/軌跡圖分析(Scan Path)

  掃視路徑分析將受測者的眼動歷程以圓圈極線段呈現遭刺激物上，用來表示受測者對刺激物的注視位置、注視時間、注視順序及注視方向。

  【圖 2-2】取自 EyeNTNU 的眼動資料分析軟體掃視路徑分析結果，該軟體提供的是熱區分析結合掃視路徑分析的眼動資料分析結果。其中藍色線段表示視線跳躍的距離與視線跳躍的方向、藍色圓半徑的大小則表示凝視的時間長度、每個轉折點右下方有一個序號，表示受測者注視的順序。因此透過此掃視路徑分析便可了解受測者在實驗過程中的眼動歷程。

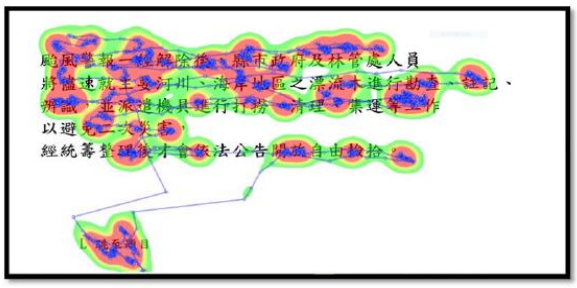


圖 2-2 EyeNTNU Analysis Tools 掃視路徑分析

上面兩項分析工具屬非量化資料分析，若要研究特定區域的凝視次數與時間需要眼動變相數據。

◆眼動變相統計分析

- 人類的視線受到吸引時，眼球運動

並非平滑移動，受測者眼動行為是由一連串的凝視、跳視組成[29]。唯有凝視時才能獲得清晰的視覺，反之在眼動歷程中視覺是模糊不清[2]。凝視判定指標代表演算法與使用廠商【表 2-1】，凝視判定指標演算法的優缺點【表 2-2】。

表 2-1 凝視判定指標代表演算法與使用之廠商

種類	代表演算法	使用廠商
dispersion-based	I-DT Algorithm[12]	1.Applied Science Laboratories (ASL) 2.SensoMotoric Instruments (SMI) 3.Tobii Gazetracker 4.EyeNTNU Analysis Tools
velocity-based	I-DV Algorithm[12] [10]	*
velocity-based with acceleration criteria	*	1.SR Research[34]
area-based	I-AOI[12]	無

表 2-2 凝視判定指標代表演算法的優缺點

種類	優點	缺點
dispersion-based	大量商業化軟體提供相關運算資源	1.對於眼動資料雜訊與飄移非常敏感。 2.最小凝視門檻與空間分散範圍的選擇與計算困難。
velocity-based	因為本演算法採用瞬間速率來做為跳視判斷標準，相較 I-DT 演算法而言更顯透明。	瞬間速率決定非常重要，將會取決微小跳視行為是否可以被偵測。
velocity-based with acceleration criteria	相較 I-DV 多了一個考量指標，可以確保在跳視行為的偵測更為客觀。	1.目前僅由 SR Research 公司採用，若眼動資料來自其它產商，恐無法保證其運算效能。 2.使用加速度標準也會需要額外的濾波器，用來濾除雜訊(微小跳視行為)。

感興趣區域眼動變相常被研究人員用於眼動相關研究，他們會依照研究待答問題去定義感興趣區域，眼動變相則是依照實驗前所定義之感興趣區域來進行分析眼動資料的各項分析指標[17]。其中一 4 中眼動變相最為常見[11][12]，如：

1. 首次凝視延遲時間(LFF)
   - 當受測者首次進入定義 ROI 時，距離刺激物開始已過之時間長度。
2. 首次凝視持續時間(DFF)
   - 當受測者第一個凝視在感興趣區域形成時，該凝視持續之時間。
3. 總凝視次數(NOF)
   - 刺激過程中，受測者在各個感興趣區域之總凝視次數。
4. 總凝視時間(TCT)
   - 刺激過程中，受測者於各個感興趣區域的總凝視時間。

2.2 統計分析 t-test

傳統顯著檢驗中，單樣本、成對樣本與兩獨立樣本是最簡單的設計，因為他們考量因素比較少，相對也更容易控制[1]。在檢驗相依變相的本質必須由連續數(continuous variable)，而且是隨機樣本(random sample)。意思是從母體群(population)隨機抽樣，若不滿足則採取無母數分析(nonparametric test)。依樣本數可以將 t-test 分為單一樣本 t 檢定(One-Samples t-test)與雙樣本 t 檢定(Two-Samples t-test)。

- 單一樣本 *t* 檢定
  - 用於檢驗其樣本平均值與母群體平均

值是否不同。其虛無假設(Null Hypothesis)如：

$$H_0 : X_{mean} = \mu$$

- 雙樣本 *t* 檢定
  - 用於檢驗兩組樣本平均值之差值是否不同，其虛無假設如：

$$H_0 : X_{mean1} = X_{mean2}$$

若其樣本量測為獨立事件，且第一組樣本不會影響第二樣本，則稱為獨立樣本 *t* 檢定，若非獨立事件，則採用成對 *t* 檢定，再依變異數的同質性之假設(homogeneity of variance)，又可分為變異數同質與變異數不同質。檢驗的方法可以透過 Leven' s Test of Homogeneity 變異分析，計算兩個變異數的比值。倘若變異數檢定達顯著水準，表示兩個樣本的變異數不同質，需使用校正公式來計算 t 值。

- 成對樣本 *t* 檢定
  - 其零假設為兩個常態分佈，其總體均質差為 1 實數。通常用以檢測兩群人平均身高、平均薪資是否相等。這一類檢測通常稱為學生 *t* 檢定，更嚴謹來說，只有在兩個總體方差相等質情況下，方可稱為學生 *t* 檢定。

2.3 有效數據判定與修正

西元 1967 年 Yarbus 的視覺行為認知研究中確認凝視對於不同實驗刺激物有著絕對影響[25]。西元 1976 年 Just 與 Carpenter 也提出眼睛凝視過程代表思考的假說[24]，所以，受測者在閱讀一段文字或文章時，眼睛對於每個字都會至少有一次凝視。多數眼動研究中，研究者想要取得量化資料，是眼睛凝視在一張圖或一段文字的位置及停留時間[4]。在時間向度上，以凝視次數及凝視停留時間(fixation duration)來瞭解視覺知覺系統處理訊息的深度；在空間向度上，重視凝視位置(fixation position) 與跳視長度(saccade length)[21]。西元 2001 年 Rayner 等人以圖文並茂的平面廣告為刺激材料，發現受測者多數將視覺注意力落在文字勝於落在圖片上，尤其是先看大字，再看小字，最後才看圖[23] [4]。因此在進行「數據有效性判定模組」與「數據修正模組」的演算法規畫與設計是建立一個假設：人類的視覺會受到文字、圖像等刺激吸引，並不會有出現刻意凝視大量連續空白的區域。針對偏移的眼動資料處理方式，則是先透過K-Means演算法進行眼動資料分群與刺激物上非空白區域(含刺激內容)的像素點分群，藉此計算兩兩分群中心平移量進行偏移的眼動資料修正。

2.4 顯著差異感興趣區域分析演算法設計

此研究主要是對 EyeNTNU 眼動儀原有系統導入「數據有效性判定模組」與「數據修正模組」。在顯著差異感興趣區域分析模組的部分，整合既有的 ROI 定義模組、凝視判定模組、眼動變項分析模組與統計分析模組，其中針對 ROI 定義模組的部分透過各個擊破的概念，自動尋找顯著差異區域，流程圖如【圖 2-3】。

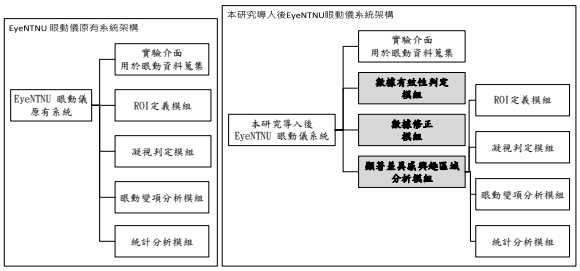


圖 2-3 導入自動尋找顯著差異區域前後 EyeNTNU 眼動儀系統架構

- 演算法構想

有效數據樣本現熱區分析結果是成像在圖片或是文字的區域上如【圖 2-4】

圖 2-4 有效數據樣本示意圖

常見無效數據樣本，有以下兩種情況：

1. 數據飄移過大，多數眼動資料熱區分布於空白區域。如【圖 2-5】

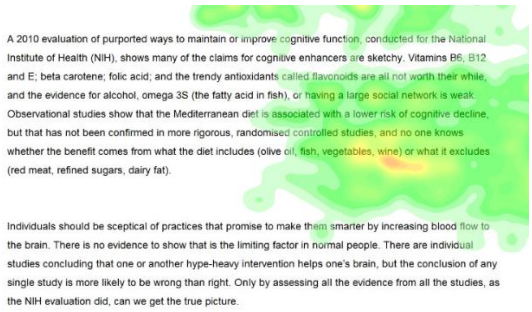


圖 2-5 無效數據樣本-數據飄移過大

熱區分析結果大部分在刺激物右上角的刺激內容及空白處，坐下家刺激物內容為空白，可以此判定該筆眼動資料發生偏移。

2. 凝視時間過短，不構成凝視行為。如【圖 2-6】

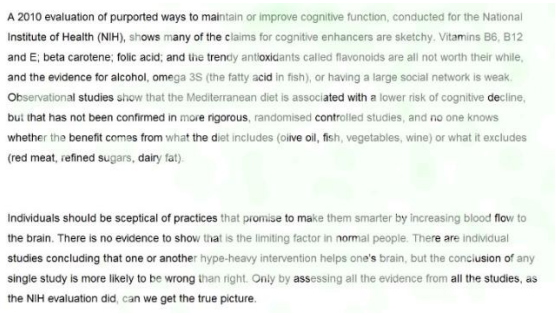


圖 2-6 無效數據樣本-凝視時間過短

熱區分細節過呈現較淡黃綠色，這筆眼動歷程有可能被判定為不構成眼動行為。

透過查閱所有眼動資料，可計算該筆眼動歷程資料分布於空白區域的比例多寡，稱為無效眼動資料分布百分率；受測者於該刺激物的總刺激時間，簡稱總刺激時間分析；分析該筆眼動歷程內有幾筆凝視行為，稱為凝視行為次數分析，其往往達到自動眼動資料有效判定功能。

- 演算法規劃與設計
  1. 數據有效性判定模組
     匯入眼動實驗數據後，模組提供三項子模組供研究人員選擇作作為判定數據有效性之依據，三項子模組分別為
     - 無效眼動資料分布百分率子模組：計算該筆眼動歷程中眼動資料分布於空白區域的比率多寡。
     - 總刺激時間分析子模組： 計算受測者接受刺激的時間長度。
     - 凝視行為次數分析子模組： 計算該筆眼動歷程內共有幾筆凝視行為。

     流程圖如【圖 2-7】

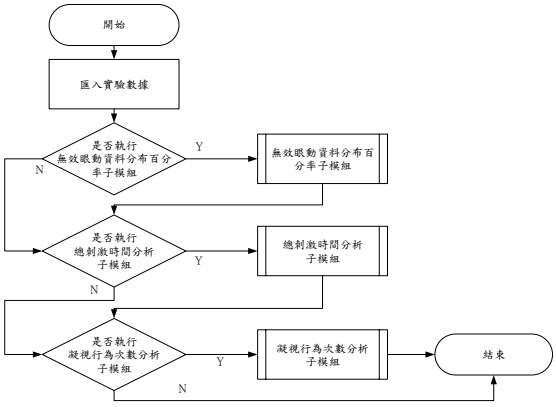


圖 2-7 模組演算法流程圖-數據有效性判定模組

模組會引導使用者依序匯入所有的實驗數據，以圖形化介面的表單詢問使用者針對無效數據樣本檢驗的參考依據，並依序執行選定的模組進行數據有效性判定。

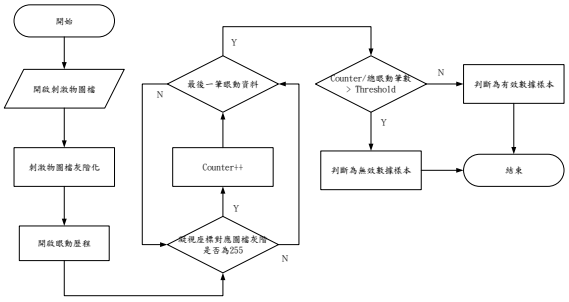


圖 2-8 子模組流程圖-無效眼動資料分布百分率

在無效眼動資料分布百分率子模組【圖 2.8】中，首先會開啟刺激物圖檔，並進行影像灰階化處理，以二維陣列存放於記憶體當中。接著模組會將眼動資料逐筆讀入記憶體中，並走訪灰階化後的二維陣列，來判斷該筆眼動資料的凝視座標對應到刺激物圖檔座標之灰階值(Gray(x_i,y_i))，倘若灰階值為 255(白色)表示對應之區域很有可能是空白區域(未含刺激內容)則眼動資料分布於空白區域計數變數(Counter)便加 1，如此往覆進行直到最後一筆眼動資料判定完成(2.1)。

$$Counter = \begin{cases} Counter + 1, if\ Gray(x_i, y_i) = 255 \\ Counter \quad\quad , if\ Gray(x_i, y_i) \neq 255 \end{cases} \quad (2.1)$$

最後模組會計算 Counter 與總眼動資料筆數之比值來判定該筆眼動資料凝視空白區域之比值是否大於門檻值(Threshold)，倘若成立的話，表示該筆數據為無效數據樣本。

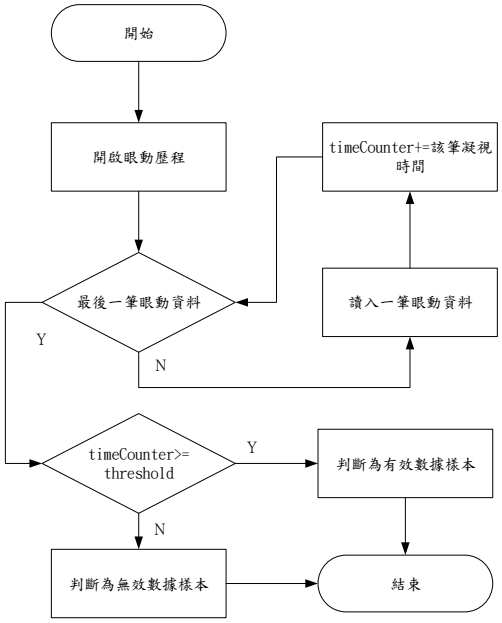


圖 2-9 子模組流程圖-總刺激時間分析

在總刺激時間分析子模組【圖 2-9】，會先開啟一筆眼動歷程，接著開始逐筆走訪各筆眼動資料並取出每筆眼動資料中注視持續時間與總刺激時間計數變數(timeCounter)做累加。當進行到最後一筆眼動資料時，模組會計算總刺激時間與研究人員輸入之門檻值(threshold)進行比較，倘若最後總刺激時間計算子模組計算之總刺激時間大於門檻值則視為該筆眼動歷程為有效數據樣本，相反則視無效數據樣本。

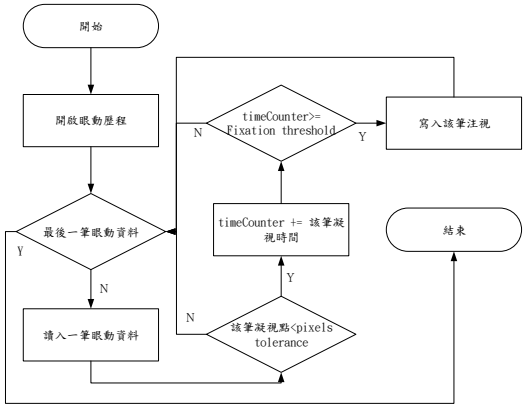


圖 2-10 子模組流程圖-凝視行為次數分析

凝視行為次數分析子模組，本模組主要是呼叫 EyeNTNU 眼動系統所提供的凝視判定工具，演算法如【圖 2-10】

EyeNTNU 眼動儀系統其分析工具主要提供的凝視判斷是基於 I-DT 演算法。程式在讀入一筆眼動資料後，會依照使用者輸入的凝視門檻值(Fixation threshold)與像素點容忍度(pixels tolerance)進行凝視判斷，若均滿足，該筆數據才有可能視為凝視的眼動行為。最後凝視總筆數會與使用者所輸入的門檻值進行比較，倘若大於門檻值則視為有效數據樣本，相反則為無效數據樣本。

2. 數據修正模組

匯入眼動歷程後，此模組會嘗試以 K-Means 數據分群之方式將偏移的眼動資料進行修正。模組內模組演算法流程圖規劃如【圖 2-11】

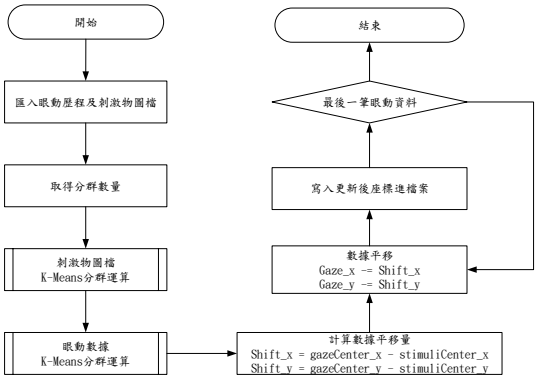


圖 2-11 模組演算法流程圖-數據修正模組

一開始模組會要求使用者匯入欲進行修正的眼動歷程及刺激物圖檔，並輸入欲分群的數量。接著模組便會執行 K-Means 分群子模組依序進行刺激物圖檔數據分群與眼動資料分群。

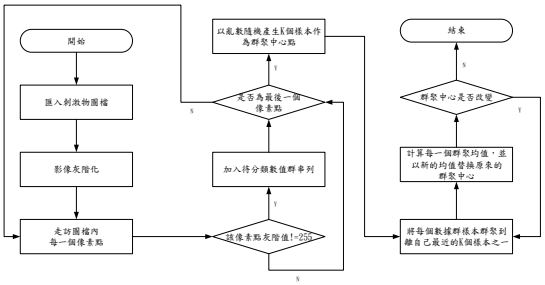


圖 2-12 子模組流程圖-刺激物圖檔 K-Means 分群運算

刺激物圖檔 K-Means 分群運算上【圖 2-12】，將使用者匯入的刺激物圖進行影像灰階化處理，並逐一走訪刺激物圖檔內的每一個像數點，用於檢測該點是否為空白(未含刺激內容)。若該像數點的灰階值不等於 255(白色)，該點具有刺激內容便將該點加入待分群的數值群串列。

完成上述數值群加入的初始化動作後，便開

始進行 K-Means 分群演算法，以亂數隨機產生研究人員輸入的分群組數 K 個樣本作為初始群聚中心，接者每個數值群會依據歐式距離（Euclidean distance）(2.2) 群聚到離自己最近的 K 個樣本之一，並且重新計算每一個群聚均值以產生新的均值替換原有的群聚中心，如此周而復始。倘若群聚中心改變了，便會重新將每個樣本群聚到離自己最近的 K 個樣本之一，相反群聚中心維持原樣，則會結束 K-Means 分群演算法。

$$\text{distance} = \sqrt{(Gaze_x - Center_x)^2 + (Gaze_y - Center_y)^2} \quad (2.2)$$

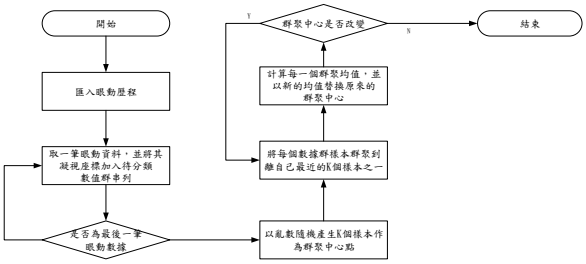


圖 2-13 子模組流程圖-眼動資料 K-Means 分群運算

眼動資料在 K-Means 分群運算上【圖 2-13】與刺激物圖檔 K-Means 分群運算的流程圖【圖 2-11】幾乎是一樣的，模組會將研究人員匯入的眼動資料逐筆加入待分類的數值群串列(List)，再進行 K-Means 分群運算進行。唯一差異的是不會先剔除空白(未含刺激內容)像素點。

取得刺激物圖檔與眼動資料各群中心點後，模組會去計算各群 (刺激物圖檔群與對應眼動數值群)偏移量，公式如(2.3)、(2.4)

$$\delta_{xi} = GazeCenter_{xi} - StimuliCenter_{xi} \quad (2.3)$$

$$\delta_{yi} = GazeCenter_{yi} - StimuliCenter_{yi} \quad (2.4)$$

計算完成後，模組會將偏移的量再疊加回該群眼動數值群中的 x 分量與 y 分量，公式如(2.5)、(2.6)

$$Gaze_{xi} = Gaze_{xi} - \delta_{xi} \quad (2.5)$$

$$Gaze_{yi} = Gaze_{yi} - \delta_{yi} \quad (2.6)$$

3. 自動顯著差異感興趣區域分析模組

匯入兩組受測者之眼動資料與圖片型刺激數據後，此模組會透過各個擊破法之方式由大至小自動切割與定義之 ROI，嘗試透過統計學中 *t* 檢定(*t*-test)尋找兩群眼動數值群之顯著差異 ROI。

模組內演算法流程圖規劃如【圖 2-14】

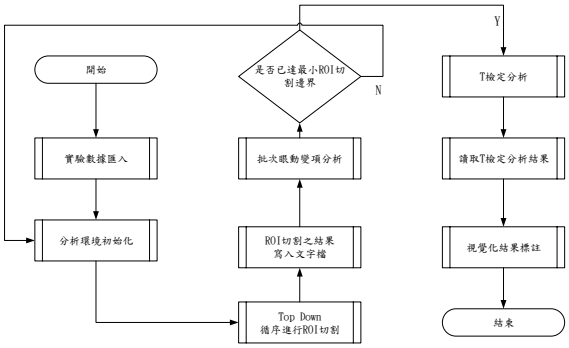


圖 2-14 模組演算法流程圖-顯著差異感興趣區域分析模組

以精靈式介面引導使用者將實驗所收集之數據匯入分析系統，系統會依匯入內容進行相關格式檢查眼動資料的完整性，並完成程式執行初始化，接者便執行 Top Down ROI 循序切割，其切割方式如【圖 2-15】

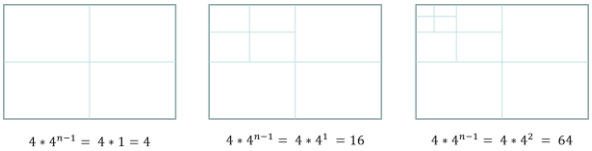


圖 2-15 Top Down ROI 循序切割示意圖

此演算法設計會先將整張刺激物圖檔切割為四個矩形，為了方便後續描述，這邊簡稱為一組切割。可以預期隨者組數的增加，ROI 的個數會由原先的 4 格切割再往下分為 16、64、256、1024 格，依照研究人員的需求可以一直持續往下做更細部切割。

ROI 切割定義完成後會將資訊寫入文字檔方便後續進行眼動變項分析。若 ROI 切割之大小未達研究人員設定之最小值，系統會以迴圈的方式重複執行上述 ROI 切割定義、眼動分析等流程，最後進行批次的統計分析(獨立樣本 t 檢定、成對樣本 t 檢定)並將結果以文字及視覺化呈現。

分析結果之呈現，在視覺化的部分，以一組 4 格切割為例【圖 2-16】

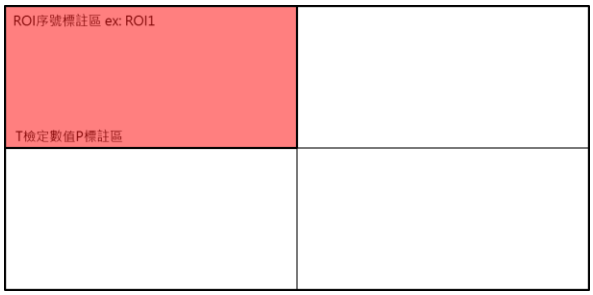


圖 2-16 顯著差異感興趣區域視覺化分析結果規劃

研究中提出的規劃是於每個 ROI 切割的左上角標註 ROI 的序號、左下角的部分則標註統計分析之結果及星等標記，例如 t 檢定之 p 值小於 0.05，標註為*；p 值小於 0.01 標註為**；p 值小於 0.001，標註為***，依照標註之星等，又於該區域分別繪製上藍色、綠色及紅色作為顯目視別。

儲存名稱結構-資料夾命名方式: (程式運行)年月日時分_變項名稱

析圖檔命名方式: 變項名稱_切割之 ROI 數目_材料編號

分析結果呈現，在文字的部分，以文字文件(*.txt)的方式進行檔案儲存。

內部記錄結構:

1. ROI 序號
2. 各組數值群平均值
3. 各組數值群變異量
4. 單尾 t 檢定 p 值
5. 雙尾 t 檢定 p 值
6. t 檢定之 t 值

透過上述格式化儲存名稱、結構，以利使用者可以針對細部描述統計分析資訊進行判讀。

為利於程式後期維護開發及擴充性，程式撰寫上亦遵循模組化與物件導向作為撰寫方針，其模組與其模組樹狀圖如【圖 2-17】由【圖 2-17】，可以看到模組底下共有兩個主要子模組，分別為 ROI 定義與分析子模組(AutoROIDefine)與 Paired T 檢定標註子模組(ROIResultPairedT)。將模組演算法切割為兩大工作項目，前者負責協助 ROI 之切割、眼動資料分析、t 檢定之運算等；後者負責協助將統計分析結果進行結構化輸出(文字文件、視覺化圖片)等。

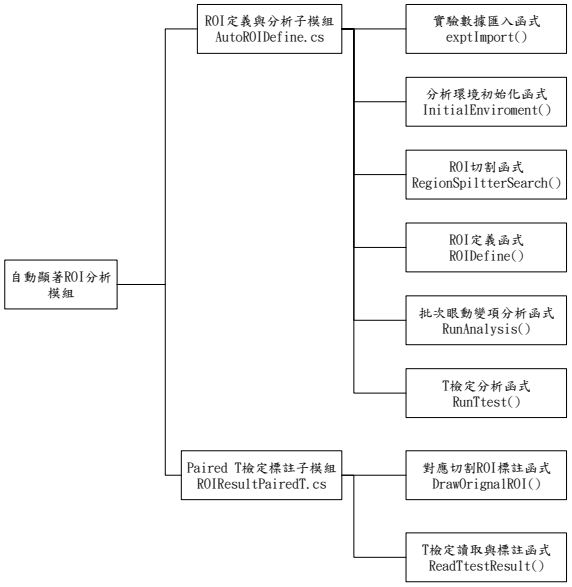


圖 2-17 模組與其模組樹狀結構圖-顯著差異感興趣區域分析模組

3. 眼動儀數據分析系統

3.1 開發工具與環境

- 作業系統(Operation System, OS): Microsoft Windows 10
- 整合開發環境 (Integrated Development Environment, IDE): Microsoft Visual Studio Community 2013
- 程式語言: C#
- 編譯目標平台: .NET Framework 4.5

3.2 眼動儀硬體設備

螢幕眼動儀 EyeNTNU-120

一、 眼動追蹤模組

產品型號 : EyeNTNU-120

眼動追蹤技術: 遠紅外線發光二極體(IR LED)

眼動追蹤種類: 單眼追蹤

瞳孔影像取樣頻率: 120Hz

可取得知瞳孔資訊:

凝視時間(ms)

凝視對應螢幕位置座標(pixel)

資料傳輸方式: USB2.0

支援之作業系統: Microsoft Windows XP、Windows 7

尺寸: 8.8*5.8*2.4(cm)

重量 :111.05gw

二、 下巴架模組

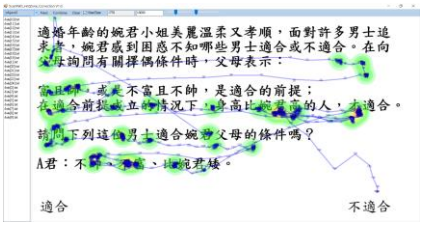
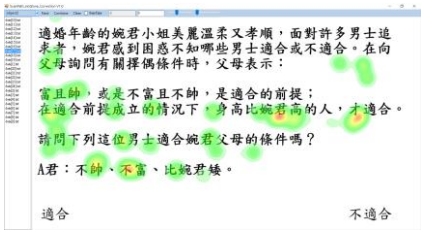
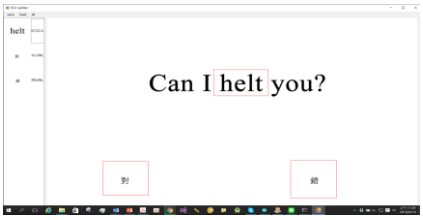
尺寸: 28*15.5*47(cm)

重量: 4Kgw

3.3 軟體

- 眼動儀數據分析
  幕眼動儀 EyeNTNU-120 的軟體部分，該系統提供之分析工具如【表 3-1】

表 3-1 EyeNTNU 支援之分析工具

視覺分析工具	
掃視路徑分析	
熱區分析	
ROI 定義工具	
統計分析工具-眼動凝視相關變項	
首次凝視延遲時間(LFF)	
首次凝視持續時間(DFF)	
總凝視時間(TCT)	
凝視次數(NOS)	
統計分析工具-眼動跳視(Saccade)相關變項	
跳視歷程(Course of Saccade, COS)	
跳視次數(Number of Saccade, NOS)	

- 動態連結函式庫
  研究涉及影像處理(image processing)、統計分析等功能，為提升演算法開法與實作之效率，因此引用相關動態連結函式庫。在影像處理部分，使用 OpenCv 在.NET 環境下的動態連結函式庫-EmguCv【表 3-2】與用於電腦視覺及人工智慧影像處理的原生影像處理動態連結函式庫 AForge.NET【表 3-3】。

表 3-2 EyeNTNU EmguCv 基本資訊

動態連結函式庫名稱:	EmguCv
版本號:	2.9.0.1922
支援之程式語言:	C#、VB、Visual C++、IronPython 等
可編譯之 IDE	Visual Studio, Xamarin Studio and Unity
可運行之作業系統:	Windows、Linux、Mac OS X、iOS、Android 與 Windows Phone
授權性質:	開源軟體(Open Source)
特色	支援類神經網路、Nvidia Cuda、NPP、GPU 運算、影像處理、視訊處理等。

表 3-3 AForge.NET 基本資訊

動態連結函式庫名稱:	AForge.NET
版本號:	2.2.5
支援之程式語言:	C#、VB、Visual C++等
可編譯之 IDE	Visual Studio, Xamarin Studio and Unity
可運行之作業系統:	Windows、Linux、Mac OS X、iOS、Android 與 Windows Phone
授權性質:	開源軟體(Open Source)
特色	● AForge.Imaging – 影像相關處理及濾波器 ● AForge.Vision – 電腦視覺函式庫 ● AForge.Video – 視訊

	處理相關函式庫 ● AForge.Neuro – 類神經運算函式庫; ● AForge.Genetic – 演化計算函式庫 ● AForge.Fuzzy – fuzzy 模糊計算函式庫 ● AForge.Robotics – 機器人相關套件函式庫 ● AForge.MachineLearning – 機器學習函式庫

統計分析運算上，研究採用 Meta Numerics【表 3-4】，它是一套.NET 環境底下提供多元數學與統計相關的動態連結函式庫，包含物件導向 API 用於矩陣代數、實數、複數等相關進階函數、訊號處理及數據分析之功能。

表 3-3 Meta Numerics 基本資訊

動態連結函式庫名稱:	Meta Numerics
版本號:	3.0.0
支援之程式語言:	C#、Visual Basic、Visual C++、F#及其他任何.NET 程式語言
授權性質:	開源軟體(Open Source)
特色	支援複數、特殊函數、數值計算、統計與資料分析、線性代數、傅立葉轉換等多樣數學工具

3.4 數據有效性判定模組

將「數據有效性判定模組」整合至 EyeNTNU Analysis Tools – Visualized Analysis 中，介面呈現如【圖 3-1】。

圖 3-1 數據有效性判定模組介面截圖

上方工具列配置單筆眼動資料分析(File)、批次眼動資料分析(Batch Process)以及相關分析參數配置。

當使用者匯入整個眼動實驗數據後，可以透過左側欄位進行特定受測者、特定眼動刺激物的熱區分析。右側欄位則是呈現即時熱區分析結果。

使用者選定數據有效的判定機制後，即可進行批次眼動資料有效性判定檢測，檢測完成後，所有的數據有效性判定結果會在判定結束後，自動由軟體開啟，記錄檔內容結構示意如【圖 3-2】

圖 3-2 數據有效性判定模組記錄檔

記錄檔內會呈現模組運行的時間、欲分析數據的根目錄(Workspace)、每筆眼動資料的分析結果(黃色標記處)、當眼動資料出現毀損時，也會針對該筆眼動資料進行標註(藍色標記處)。

3.5 數據修正模組

「數據修正模組」同樣整合至 EyeNTNU Analysis Tools – Visualized Analysis 中。

當使用者發現熱區分析的結果呈現眼動資料偏移時【圖 3-3】，只需要輸入欲分群個數(圖片呈現張數)，接著點擊按鈕(Correction)，軟體會自動進行眼動資料修正。以此偏移眼動資料操作為例：刺激物的左、右兩側各放置一張圖像，這時欲分群個數輸入 2 即可。以上即完成偏移眼動資料修正，如【圖 3-4】

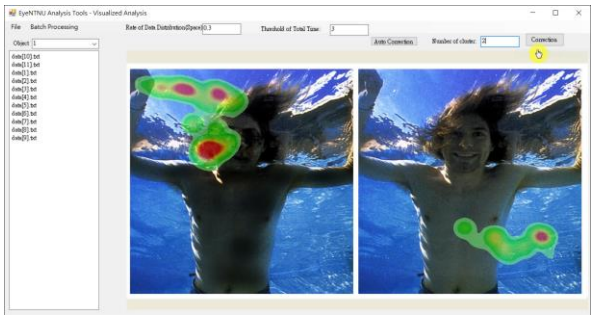


圖 3-3 數據修正模組操作方式-修正前

圖 3-4 數據修正模組操作方式-修正後

3.6 顯著差異感興趣區域分析模組

「顯著差異感興趣差異分析」模組採精靈式介面引導操作【圖 3-5】，使用者必須先選擇欲分析的刺激物種類為圖片型(Picture)刺激物或是影片型(Video)刺激物。

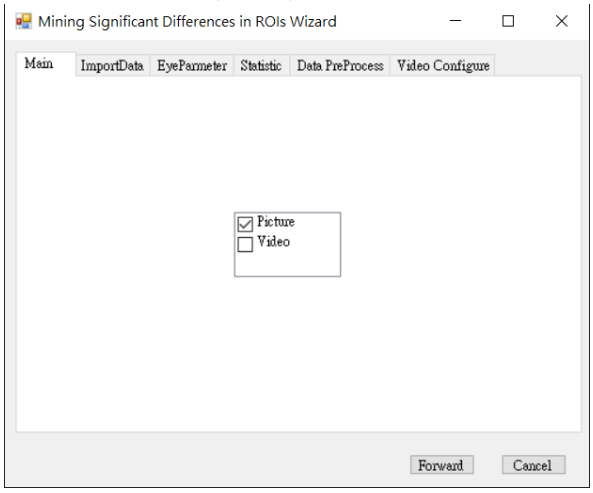


圖 3-5 顯著差異感興趣區域分析引導精靈

若選擇的為影片型刺激物，精靈便會引導使用者進行數據切割【圖 3-6】，將分析的影片片段進行裁切，同時將影片型刺激物轉換為圖片型刺激物。

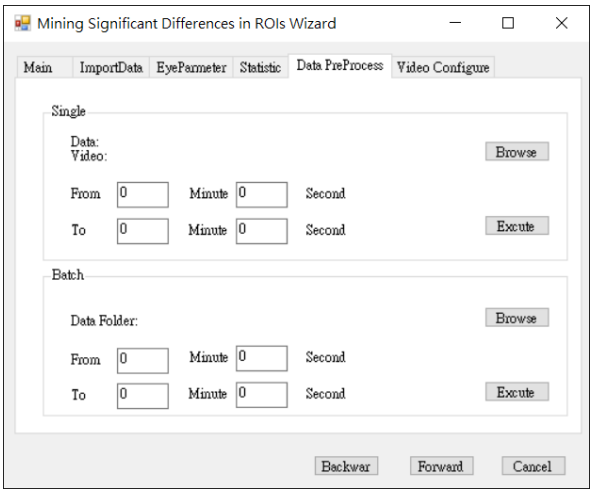


圖 3-6 顯著差異感興趣區域分析 影片型刺激物數據切割工具

使用者可透過點擊按鈕(Browse)就可選擇眼動實驗數據所在路徑，軟體會將指定眼動歷程與刺激物自動地匯入分析系統中，如【圖 3-7】。

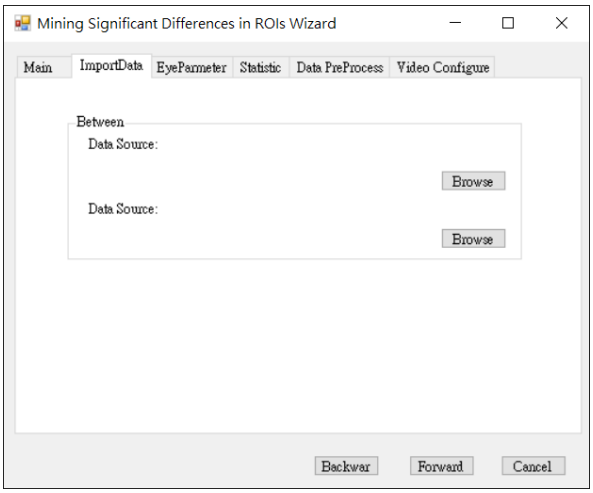


圖 3-7 顯著差異感興趣區域分析 眼動資料匯入

軟體會自動判定使用者匯入眼動實驗數據內的受測者人數與刺激物個數，使用者僅需再次確認上述資訊無誤即可，如【圖 3-8】。

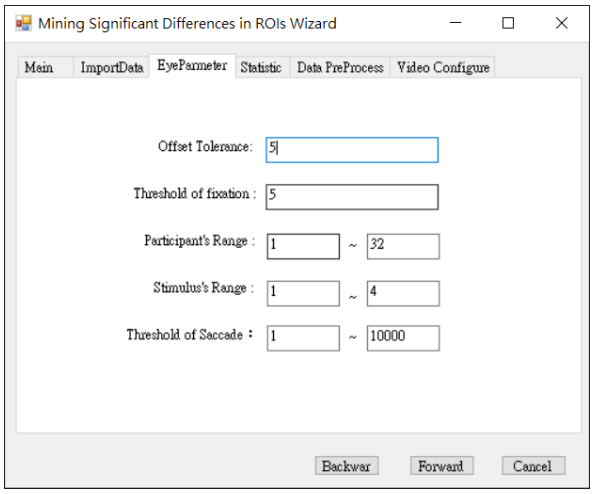


圖 3-8 顯著差異感興趣區域分析眼動資料參數設定

最後是統計分析參數設定【圖 3-9】，選定描述統計的種類: 單尾 t 檢定還是雙尾 t 檢定、Alpha Value、感興趣區域最小切割的尺寸與欲檢定的眼動變項，軟體便會開始進行顯著差異感興趣區域探勘。

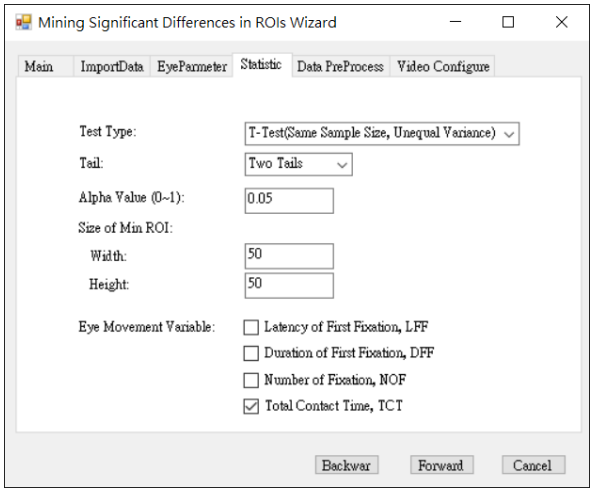


圖 3-9 顯著差異感興趣區域分析 統計分析參數設定

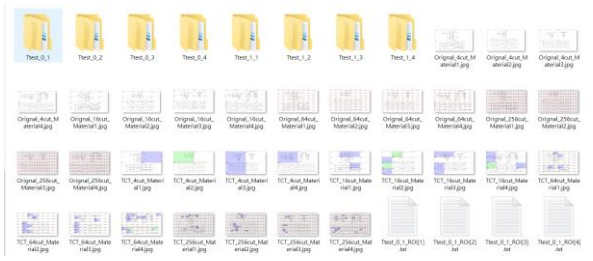


圖 3-10 顯著差異感興趣區域分析 分析結果

顯著差異感興趣區域探勘分析歷程會記錄在 T-test 的資料夾內【圖 3-10】，裏頭各個資料夾紀錄不同感興趣區域切割尺寸(4 格、16 格、64 格、256 格)的眼動變項分析結果、統計檢定分析結果(文字檔案)，及顯著差異感興趣區域探勘結果標註圖檔(JPG)。

4. 實驗

檢測研究提出之顯著差異感興趣區域探勘之方法其準確性與效率。

4.1 數據有效性判定模組

透過模擬的眼動資料逐一檢測「數據有效性判定模組」所提出之三項眼動資料有效性判定機制(機制一：無效眼動資料分布百分率；機制二：總刺激時間分析；機制三：凝視刺激次數分析)其準確性與效率。實驗結果顯示：使用者能依照不同的眼動實驗選擇不同的眼動資料有效性判定機制，各項眼動資料有效性判定機制均能正確被執行；整體運算執行時間上，以一內含 50 筆的眼動資料為例，其眼動有效性判定分析時間花費介於 1 ms ~ 78.8 ms。

實驗設計：

自變項： 模擬測試用刺激物、模擬測試用眼動資料

依變項： 無效數據分布百分率、總刺激時間、凝視筆數與執行時間

材料：

模擬測試用刺激物設計上，以 Photoshop 產生一圖像解析度為 800*600 (pixels)，於中間處放置一黑色矩形，用以模擬刺激物中刺激內容，該刺激內容為一 150*150 (pixels) 矩形，左上角對應起始座標為(325,255)，

模擬測試用眼動資料設計上，將刺激物分為兩個部分，一個是刺激內容的黑色部分，另一個是非刺激內容的部分，其中後者又可依照其與刺激內容的相對位置進而分割成四區。透過 Microsoft Excel 所提供之亂數函數產生模擬測試用眼動資料於各個區域:

1. 模擬刺激內容部份: (325~475, 225~375)*10 筆
2. 第一區(0~325, 0~600) *10 筆
3. 第二區(325~475, 0~225) *10 筆
4. 第三區(475~800, 0~600) *10 筆
5. 第四區(325~475, 375~600) *10 筆

注視時間的部份則是統一由亂數產生5~20ms，均為整數。

模擬眼動測試數據與人工計算結果如【表4-1】

表 4-1 數據有效性判定模組準確性與效率分析_模擬眼動測試數據人工計算表

資料序	注視持續時間(ms)	X分量	Y分量	所屬區域	資料結構
1	6	367	318	模擬圖文	(6,367,318)
2	20	379	335	模擬圖文	(20,379,335)
3	17	417	282	模擬圖文	(17,417,282)
4	7	455	238	模擬圖文	(7,455,238)
5	19	343	261	模擬圖文	(19,343,261)
6	14	449	342	模擬圖文	(14,449,342)
7	20	380	229	模擬圖文	(20,380,229)
8	11	326	255	模擬圖文	(11,326,255)
9	11	445	367	模擬圖文	(11,445,367)
10	5	387	310	模擬圖文	(5,387,310)
11	20	2	246	第一區	(20,2,246)
12	17	142	503	第一區	(17,142,503)
13	11	166	197	第一區	(11,166,197)
14	19	293	352	第一區	(19,293,352)
15	20	280	503	第一區	(20,280,503)
16	15	171	431	第一區	(15,171,431)
17	12	16	187	第一區	(12,16,187)
18	15	75	59	第一區	(15,75,59)
19	19	167	76	第一區	(19,167,76)
20	16	136	64	第一區	(16,136,64)
21	9	336	80	第二區	(9,336,80)
22	16	395	171	第二區	(16,395,171)
23	10	418	48	第二區	(10,418,48)
24	11	328	147	第二區	(11,328,147)
25	13	386	61	第二區	(13,386,61)
26	17	392	188	第二區	(17,392,188)
27	20	442	59	第二區	(20,442,59)
28	17	445	67	第二區	(17,445,67)
29	7	465	60	第二區	(7,465,60)
30	9	345	83	第二區	(9,345,83)
31	20	750	427	第三區	(20,750,427)
32	14	487	173	第三區	(14,487,173)
33	11	551	191	第三區	(11,551,191)
34	19	475	432	第三區	(19,475,432)
35	14	554	133	第三區	(14,554,133)
36	5	481	365	第三區	(5,481,365)
37	5	727	410	第三區	(5,727,410)
38	10	716	438	第三區	(10,716,438)
39	17	700	45	第三區	(17,700,45)
40	7	767	111	第三區	(7,767,111)
41	9	474	508	第四區	(9,474,508)
42	8	331	463	第四區	(8,331,463)
43	12	380	534	第四區	(12,380,534)
44	16	364	379	第四區	(16,364,379)
45	7	421	589	第四區	(7,421,589)
46	7	461	385	第四區	(7,461,385)
47	11	409	497	第四區	(11,409,497)
48	14	462	438	第四區	(14,462,438)
49	10	463	407	第四區	(10,463,407)
50	7	346	588	第四區	(7,346,588)
總刺激時間	646 ms	有效眼動資料筆數	10	20%	
		無效眼動資料筆數	40	80%	
		合計	50	100%	

表 4-2 數據有效性判定模組準確性與效率分析_凝視分析人工計算表

凝視序	凝視開始時間	凝視X分量	凝視Y分量	持續時間(ms)	與前一筆距離(Pixels)
1	0	367	318	6	
2	6	379	335	20	216.5
3	26	417	282	17	2126.5
4	43	455	238	7	1690
5	50	343	261	19	6536.5
6	69	449	342	14	8898.5
7	83	380	229	20	8765
8	103	326	255	11	1796
9	114	445	367	11	13352.5
10	125	387	310	5	3306.5
11	130	2	246	20	76160.5
12	150	142	503	17	42824.5
13	167	166	197	11	47106
14	178	293	352	19	20077
15	197	280	503	20	11485
16	217	171	431	15	8532.5
17	232	16	187	12	41780.5

18	244	75	59	15	9932.5
19	259	167	76	19	4376.5
20	278	136	64	16	552.5
21	294	336	80	9	20128
22	303	395	171	16	5881
23	319	418	48	10	7829
24	329	328	147	11	8950.5
25	340	386	61	13	5380
26	353	392	188	17	8082.5
27	370	442	59	20	9570.5
28	390	445	67	17	36.5
29	407	465	60	7	224.5
30	414	345	83	9	7464.5
31	423	750	427	20	141180.5
32	443	487	173	14	66842.5
33	457	551	191	11	2210
34	468	475	432	19	31928.5
35	487	554	133	14	47821
36	501	481	365	5	29576.5
37	506	727	410	5	31270.5
38	511	716	438	10	452.5
39	521	700	45	17	77352.5
40	538	767	111	7	4422.5
41	545	474	508	9	121729
42	554	331	463	8	11237
43	562	380	534	12	3721
44	574	364	379	16	12140.5
45	590	421	589	7	23674.5
46	597	461	385	7	21608
47	604	409	497	11	7624
48	615	462	438	14	3145
49	629	463	407	10	481
50	639	346	588	7	23225
總凝視筆數	50				

凝視的人工計算分析如【表 4-2】，將模擬測試用的眼動資料時間部分以亂數產生 5~20ms 的固定範圍亂數，遂可以預期該筆模擬測試用的眼動資料在凝視判定 I-DT 演算法計算(像素點容忍度 =5 凝視門檻值 = 5ms)下，因為每筆眼動資料都與前一筆距離皆超過像素點容忍度，所以在像素點容忍度這塊是不會構成凝視行為的；在凝視門檻值這塊也因為每筆數據都大於等於 5 個毫秒，所以每筆眼動資料都將視為一個凝視行為，遂本筆模擬測試用眼動資料共計 50 筆的凝視行為。

實驗結果:

1. 執行時間分析

為避免因作業系統其背景程序作業影響，在執行時間分析上，採五次執行時間取平均的方式進行執行時間分析。

表 4-3 數據有效性判定模組準確性與效率分析_執行時間分析

	第一次執行時間(ms)	第二次執行時間(ms)	第三次執行時間(ms)	第四次執行時間(ms)	第五次執行時間(ms)	平均執行時間(ms)
機制一	80	79	77	77	81	78.8
機制二	1.0011	1.0439	1.0186	1.4903	1.0751	1.1258
機制三	14.2451	8.3050	13.9608	8.8211	11.3785	11.3421

機制一: 無效眼動資料分布百分率

機制二: 總刺激時間分析

機制三: 凝視次數分析

有效數字的部分，因為圖像處理使用到動態連結函式庫(EmguCv)資源，無效眼動資料分布百分率無法如總刺激時間分析與凝視次數分析使用主控台應用程式作為編譯目標並進行運算時間量測，因此其時間量測的有效數字至整數位；總刺激時間分析與凝視次數分析編譯目標為主控台應用程式，其時間量測的有效數字至小數點第四位。

由【表 4-3】可以得知，各模組平均執行時間分別為 78.8ms、1.1258ms、11.3421ms。因為無效眼動資料分布百分率的判定涉及圖像處理，需要走訪刺激物圖檔內的每個像素點，所以需要相對較多的時間來進行分析；總刺激時間分析與凝視次數分析則是進行檔案的讀取與眼動資料內的參數加總，遂總刺

激時間分析平均執行時間 1.1258 ms 與凝視次數分析平均執行時間 11.3421 ms 均小於無效眼動資料分布百分率平均執行時間 78.8 ms。

4.2 數據修正模組

「數據修正模組」實驗的部份，模擬不同眼動實驗種類的偏移眼動資料進行修正效果與效率之評量。實驗結果顯示: 眼動資料修正前的無效眼動資料分布百分率為 100%，經過「數據修正模組」修正後的無效眼動資料分布百分率為 0%；整體運算執行時間上，平均處理一組眼動資料偏移的修正約一秒鐘。

實驗設計:

自變項: 刺激物與眼動資料的分組數(單,雙)、偏移方向(異向)

依變項: 無效眼動資料分布百分率、運算執行時間

材料:

以 Photoshop 產生兩組刺激物，每張尺寸均為 1366*768 pixels 白底圖像。

在單組數據偏移的情況中，刺激物圖像的中心放置一 1300*490 pixels 的黑色矩形，用以模擬常見眼動實驗閱讀類型的刺激物設計；在眼動資料的設計上，作者以 Microsoft Excel 所提供之亂數函數產生一固定範圍亂數(X: 33~1333,Y: 600~767)，共計 200 筆的眼動資料。可以預期其熱區分析的結果整體會呈現向下偏移的情況。

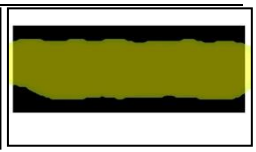
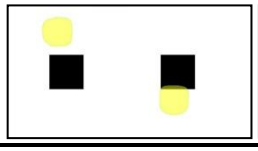
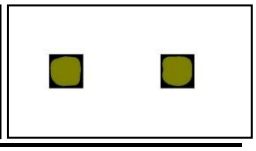
另一張於兩側中間各放置一個 200*200 黑色正方形，用以模擬單張刺激物中出現實驗組與對照組之圖片型刺激物設計。眼動資料的部分，作者以 Microsoft Excel 所提供之亂數函數產生一固定範圍亂數: 第一區眼動資料(X: 246~446,Y: 284~484)，相較刺激物內容呈現左上角偏移；第二區眼動資料(X: 890~1090,Y: 470~670)，相較刺激物內容呈現左下角偏移，每區域各有 200 筆的眼動資料，共 400 筆。

最大數據偏移組數僅規劃至兩組數據，其原因在於利於實驗數據結果之呈現。此外當兩組偏移數據可以正確被修正的話，可以預期在相同眼動資料偏移條件下，不同數據偏移組數也是同樣可以被「數據校正模組」給修正。

實驗結果:

1. 無效數據分布百分率:

表 4-4 數據修正模組校正前後熱區圖對照

實驗種類	校正前熱區分析	校正後熱區分析
種類一		
種類二		

種類一: 單組數據偏移

種類二: 兩組數據異向偏移

從校正前後的熱區分析的結果【表 4-4】可以發現單組數據偏移的實驗種類，其原先數據是呈現向下偏移的，經過校正後也如預期將偏移的部分往上修正；兩組數據異向偏移的眼動資料，可以發現左側的數據原先是向左上角偏移的，右側是向右下角偏移，經過修正後也都回到刺激物的內容上。

4.3 顯著差異感興趣區域分析模組

「顯著差異感興趣區域分析模組」的實驗與評量部分，以實際眼動實驗所蒐集到的眼動資料進行顯著差異感興趣區域探勘評量其準確性與效率。整體運算執行時間上，圖片型刺激物部分，以一個高、低分組各 32 位受測者，每位受測者接受 4 張刺激物刺激，分別以 4 格、16 格、64 格及 256 格顯著差異感興趣區域探勘的情況下，平均共需要花費約 4.92 分鐘(295,249 毫秒)；影片型刺激物部分，兩組受測者(高分組、低分組)，每組各五位受測者，每位受測者接受各 20 秒的影片型刺激物刺激，分別以 4 格、16 格、64 格顯著差異感興趣區域探勘的情況下，平均共需要花費約 29.38 分(1762861.2 毫秒)。

實驗設計:

控制變項: t 檢定分析參數設定、眼動變項分析參數設定

1. t 檢定分析參數設定: 檢定種類(相同樣本數，假設變異數相異)、Alpha Value(0.05)
2. 眼動變項分析參數設定: 凝視判定演算法(I-DT: 像素點容忍度: 5 pixels、凝視門檻值: 20ms)

自變項:

1. 不同尺寸的 ROI 切割與個數(4 格、16 格、64 格、256 格)
2. 眼動變項

EyeNTNU-120 分析工具主要提供了 4 個眼動資料變項分析，分別為 LFF、DFF、TCT 與 NOF，但因在顯著感興趣區域探勘之數據分析中，其呈現上並未太大的差異，本實驗就逕行挑選以 TCT 為例。

依變項: 分析結果、執行正確性、執行運算時間

材料:

實驗選用 2014 年發表於第二十二屆計算機應用於教育領域之國際研討會(International Conference on Computer in Education, ICCE 2014)上之研究論文- A study on teaching debugging strategies for digital circuit[18]內之眼動實驗資料作為模組測試用之實際眼動資料。該研究透過眼動儀來了解受過數位邏輯除錯教學的高職生，在進行數位邏輯電路除錯過程的眼動歷程分析。

實驗共計 64 位來自新竹光復中學的志願受測者。依照實驗前測的測驗得分進一步將受測者分為兩組-低分組與高分組，各組各 32 位受測者。

刺激物的設計上，共有四道刺激物，自變項: 數位邏輯電路(T 型正反器、JK 正反器)、真值表(有、無)；依變項: 答題正確率、總凝視接觸時間、總凝視次數。

EyeNTNU-180 眼動儀進行所有的眼動資料、刺激物同步側錄，其規格如下:

取樣頻率: 180Hz。

紀錄內容: 注視時間(ms)、凝視點對應螢幕 X 座標、凝視點對應螢幕 Y 座標。

誤差: 受測者與螢幕距離 60 公分，具有小於 0.3 度的誤差(瞳孔注視預估點與實際注視位置至瞳孔中心夾角)。

具備下巴架，避免實驗過程當中受測者頭部移動的關係，導致無效數據樣本產生。

實驗流程:

將數位邏輯除錯過程的眼動實驗數據依照其前測結果進行高、低分組，並送入「顯著差異感興趣區域分析模組」內進行數據有效性判定、數據修正，完成後便進行本模組顯著差異感興趣區域分析。

實驗結果:

表 4-5 圖片型顯著差異感興趣區域分析-TCT 4 格切割

TCT, 4 格切割

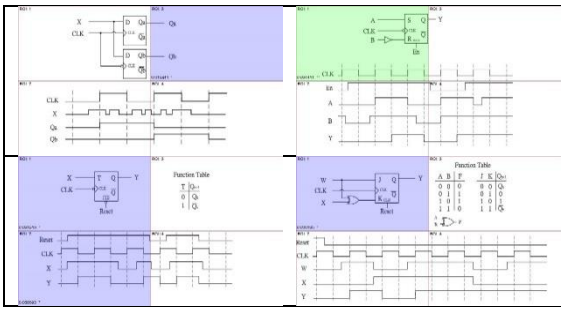


表 4-6 圖片型顯著差異感興趣區域分析-TCT 16 格切割

TCT, 16 格切割

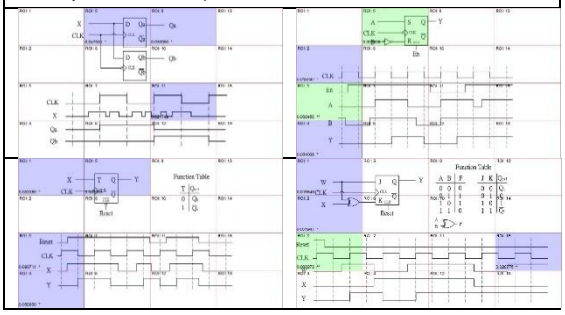


表 4-7 圖片型顯著差異感興趣區域分析-TCT 64 格切割

TCT, 64 格切割

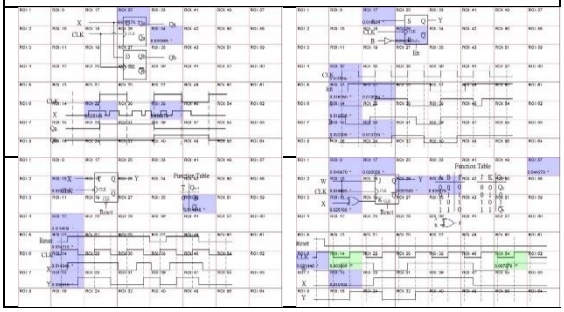
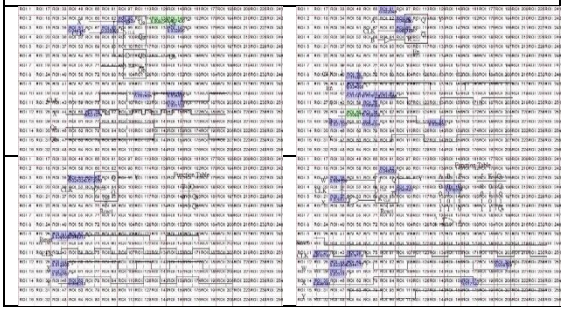


表 4-8 圖片型顯著差異感興趣區域分析-TCT 256 格切割

TCT, 256 格切割



從【表 4-5】的數據分析結果來看，4 格切割的感興趣區域變項操弄將刺激物分為四個部分，其中在右上角的數據分析中，ROI: 1

存在了兩顆星等的顯著差異(P: 0.004411)，表示 ROI 1 數位邏輯電路圖中，高、低分組的總凝視時間存在兩顆星等的顯著差異；其他的僅有一顆星等的顯著差異感興趣區域，甚至是無顯著差異。在【表 4-6】的眼動資料分析變項中，可以看到「顯著差異感興趣區域分析模組」進行更小尺寸的切割，用於探討更細微區域的顯著差異。原先每個感興趣區域的定義範圍中再向下切割成四個矩形，共計 16 格切割。

其中右上角的數據分析中，可以針對原先兩顆星等的感興趣區域在往下進行更細微的顯著差異感興趣區域探勘。原先的 ROI 1 又再重新被切割成更小的感興趣區域(ROI 1、ROI 2、ROI 5、ROI 6)，可以看到 ROI 5(電路圖)依舊存在 2 顆星等的顯著差異區域。

右下角的數據分析中，原先的 ROI 2 又再重新被切割成更小的感興趣區域(ROI 3、ROI 4、ROI 7、ROI 8)，可以看到原先不存在顯著差異的感興趣區域 ROI 3(輸入訊號: En 與 A)，現在因為感興趣區域尺寸的更動，找到了這個存在 2 顆星等的顯著差異感興趣區域。

在【表 4-7】的眼動資料分析變項中，可以看到「顯著感興趣區域分析模組」再將刺激物切割成 64 格感興趣區域，進行更細微的顯著區域探勘。

可以看到原先右上角的數據【表 4-7】存在

低分組 TCT分析結果						高分組 TCT分析結果				
受測者序	ROI 1	ROI 2	ROI 3	ROI 4		受測者序	ROI 1	ROI 2	ROI 3	ROI 4
1	398	440	81	6		1	306	943	158	328
2	74	10	54	182		2	943	288	321	59
3	205	173	42	96		3	1656	1145	342	694
4	1818	674	180	1141		4	220	696	0	237
5	323	388	129	180		5	2338	1723	202	53
6	0	38	0	0		6	1538	1884	391	722
7	696	1099	600	621		7	1068	1856	197	893
8	283	311	95	5		8	172	91	165	283
9	1139	603	149	0		9	1189	591	560	658
10	65	150	75	360		10	415	1113	40	109
11	5	227	54	688		11	1185	2269	839	1437
12	343	312	134	105		12	80	183	114	322
13	291	349	50	222		13	10	324	27	715
14	869	1273	137	471		14	1388	1856	691	272
15	21	338	126	2329		15	1177	1058	137	350
16	228	950	252	1059		16	359	856	173	151
17	176	135	138	363		17	376	52	26	91
18	1002	2303	11	201		18	4871	1702	850	198
19	850	2792	514	676		19	224	1606	91	1653
20	1322	1814	94	200		20	300	428	615	1380
21	140	1338	136	276		21	2559	2119	726	1366
22	2140	638	400	215		22	229	32	31	354
23	220	909	0	3594		23	743	3900	1649	977
24	753	0	119	0		24	611	1191	223	1473
25	246	167	124	412		25	0	0	64	243
26	140	1288	225	906		26	401	1133	410	677
27	141	884	373	521		27	351	129	226	1373
28	126	241	12	76		28	702	279	1157	1853
29	504	976	332	5		29	285	444	288	12
30	226	310	201	144		30	513	600	123	76
31	665	1236	340	117		31	97	524	6	0
32	495	415	102	270		32	196	579	184	352
平均	497.00	711.91	164.97	482.53		16.50	828.19	987.31	344.56	605.03
標準差	512.81	659.47	145.19	725.13		9.23	967.73	848.60	369.34	543.32

圖 4-1 EyeNTNU 眼動資料分析工具-TCT

兩顆星等的顯著差異，因為感興趣區域切割變得更小的緣故，原先存在兩顆星等的顯著差異感興趣區域，但現在都至多存在一顆星等的顯著差異了，相反地在時序圖(ROI 14 與 ROI 54)，也因為感興趣區域定義尺寸的更動，找到了這 2 個存在 2 顆星等的顯著差異感興趣區域。

【表 4-8】顯著差異感興趣區域將刺激物共切成 256 個感興趣區域，可以發現能探討的感興趣區域範圍更小了，可以再針對更小的刺激物區域內容進行顯著差異探勘。

同時以此刺激物的感興趣區域切割為例，再往下切割的意義不大，因為很多刺激物內容已經被分割成好多片段了。

數值運算正確性分析

為了判定顯著差異感興趣區域探勘模組運算正確性，進行了人工計算分析來與本模組計算結果進行檢測。

鑒於計算機運算具備高度穩定性與正確性，遂檢測數值運算正確性上，僅針對 TCT 4 格切割的其中一張刺激物分析進行測試。

於 Microsoft Excel 建立表格，進行人工計算分析，並匯入 EyeNTNU 眼動資料分析工具-TCT 變項分析結果【圖 4-1】，再利用 Microsoft Excel 資料提供之資料分析工具箱運算出 t 檢定分析結果與本模組運算結果對照【圖 4-2】

變項分析結果

t 檢定：兩個母體平均數差的檢定，假設變異數不相等

ROI 1			模組運算結果	
	低分組	高分組	低分組	高分組
平均數	497	828.188	497	828.19
變異數	271453	966704	271453	966704
觀察值個數	32	32	0.04944	0.09887
假設的均數差	0			
自由度	47			
t 統計	-1.6837		-1.6837	
P(T<=t) 單尾	0.04944		0.49437	
臨界值：單尾	1.67793			
P(T<=t) 雙尾	0.09887		0.09887	
臨界值：雙尾	2.01174			

t 檢定：兩個母體平均數差的檢定，假設變異數不相等

ROI 3			模組運算結果	
	低分組	高分組	低分組	高分組
平均數	164.969	344.563	164.969	344.563
變異數	21759.4	140810	21759.4	140810
觀察值個數	32	32		
假設的均數差	0			
自由度	40			
t 統計	-2.5197		-2.5197	
P(T<=t) 單尾	0.00792		0.00792	
臨界值：單尾	1.68385			
P(T<=t) 雙尾	0.01584		0.01584	
臨界值：雙尾	2.02108			

t 檢定：兩個母體平均數差的檢定，假設變異數不相等

ROI 2			模組運算結果	
	低分組	高分組	低分組	高分組
平均數	711.906	987.313	711.906	987.313
變異數	448934	743359	448934	743359
觀察值個數	32	32		
假設的均數差	0			
自由度	58			
t 統計	-1.4268		-1.4268	
P(T<=t) 單尾	0.0795		0.0795	
臨界值：單尾	1.67155			
P(T<=t) 雙尾	0.159		0.159	
臨界值：雙尾	2.00172			

t 檢定：兩個母體平均數差的檢定，假設變異數不相等

ROI 4			模組運算結果	
	低分組	高分組	低分組	高分組
平均數	482.531	605.031	482.531	605.031
變異數	542771	304718	542771	304718
觀察值個數	32	32		
假設的均數差	0			
自由度	57			
t 統計	-0.7527		-0.7527	
P(T<=t) 單尾	0.22735		0.22735	
臨界值：單尾	1.67203			
P(T<=t) 雙尾	0.4547		0.4547	
臨界值：雙尾	2.00247			

圖 4-2 Excel 資料分析工具箱-t 檢定分析結果與本模組運算結果對照

從【圖 4-2】來看，模組運算結果與人工計算分析相同。ROI 3 雙尾 t 檢定之 p 值因為僅小於 0.05，所以標記為 1 顆星等、藍色的顯著差異均以本顯著差異感興趣區域分析模

組分析結果一致。

5.結論與討論

從實驗測試結果反觀,「數據有效性判定模組」提出之三項機制(無效眼動資料分布百分率、總刺激時間分析、凝視次數分析)皆能正確地分別進行數據的有效性判定檢測；整體運算執行時間上，一張刺激物的眼動資料有效性判定時間花費介於 1 ms ~ 78.8 ms。

從實驗反觀,「數據修正模組」能如預期處理數據偏移的情況，將原本無效眼動資料分布百分率由 100%降低到 0%；整體執行時間上，一張刺激物的眼動資料修正也僅花費 800 ms ~1000 ms 左右。

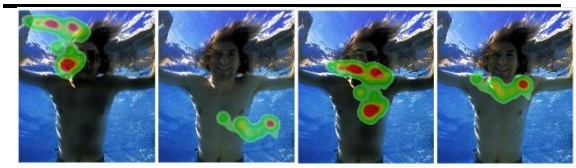
除了模擬的數據運算實驗外，作者亦針對實際的眼動資料進行眼動資料修正測試。

表 5-1 數據修正模組-實際閱讀型刺激物處理對照

處理前	處理後

從實際閱讀型刺激物處理的對照【表 5-1】可以發現處理前的眼動資料有整體略向下偏移的情況，經過模組進行校正後，原先向下偏移的數據成功地被向上校正了。

表 5-2 數據修正模組準確性與效率分析_實驗組、對照組圖片型刺激物

處理前	處理後
	

針對實驗組、對照組的圖片型刺激物，處理前後的對照如【表 5-2】。

可以發現這組實驗數據偏移修正處理的結果便不盡理想。該實驗探討的是負性材料是否對於受測者的凝視行為存在差異，因此在刺激物的設計上，左側人物是溺水時的表情，右側人物則是開心的表情，因此整體眼動資料應該是要坐落在臉部上，但從修正後的結果來看，眼動資料的分布主要是在左、右兩側人物的脖子上。

作者認為這也是本模組的最大限制所在，因為演算法的規畫上是採用非空白區域的像素點進行數據分群，倘若設計刺激物的重點並未放置於中心位置，便會出現如上述案例【表 5-2】產生些微誤差。雖然可以考量加入臉部識別、類神經網路訓練等技術來嘗試補足這方面的不足，但一來增加不少運算成本，二來也不是所有的刺激物預期數據分布的位置都在臉部區域，甚至有些實驗本身就是探討特殊情況，例如: 自閉症患者與一般人的眼動歷程差異。

整體來看，本模組可以針對偏移的眼動數據提供適當的修正建議，儘管當眼動資料偏移情況與演算法規畫 (刺激內容最大化，並且置於刺激物中心)有所出入的眼動資料修正結果還是存在誤差【表 5-2】，針對不足之處，作者建議比較好的方式是透過如修正結果預覽的方式提供研究人員做為參考，確認該次的修正建議；針對特別的刺激物設計，也可以透過區域框選定義刺激物分群中心的方式來進行改善。

研究提出顯著差異感興趣區域分析模組可以透過不同尺寸的感興趣區域進行眼動變項探勘，自動化尋找刺激物中的顯著差異感興趣區域。

依照受測者輸入的條件需求(t 檢定種類、欲分析眼動變項等)，整體顯著差異感興趣區域可以自動化進行探勘，一改以往研究人員需逐步親自進行感興趣區域定義、眼動變項分析及統計分析等流程。以圖片型刺激物顯著差異感興區分析為例，僅花費不到 5 分鐘的時間，便完成了四個不同尺寸的顯著差異感興趣區域探勘；影片型刺激物顯著差異感興區分析也僅花費約 30 分鐘的時間，便完成了三個不同尺寸的顯著差異感興趣區域探勘。

研究主要提出一顯著差異感興趣區域探勘分析之方法應用於自動化眼動資料分析，希冀降低研究人員在進行眼動資料分析上的負擔。利用電腦不容易疲勞之特性，取代原先需要大量人力進行之繁瑣眼動資料整理與分析工作。

整個眼動資料分析步驟以三大模組(「數據有效性判定模組」、「數據修正模組」、「顯著差異感興趣區域分析模組」)實踐之。從實驗數據顯示:

「數據有效性判定模組」提供三項眼動資料有效性判定機制(機制一: 無效眼動資料分

布百分率、機制二: 總刺激時間分析、機制三: 凝視刺激次數分析)，使用者能依照不同的眼動實驗選擇不同的眼動資料有效性判定機制，整體運算執行時間上，以一內含 50 筆的眼動資料為例，其眼動有效性判定分析時間花費介於 1 ms ~ 78.8 ms。
眼動資料修正前的無效眼動資料分布百分率為 100%，經過「數據修正模組」處理後的無效眼動資料分布百分率為 0%，平均處理一張刺激物眼動資料偏移修正約 1 秒鐘。
「顯著差異感興趣區域分析模組」可以執行兩種統計分析(獨立樣本 t 檢定、成對樣本 t 檢定)，於兩群受測者的眼動資料找尋到各類眼動變項(ex: 首次凝視時間、總凝視時間等)的顯著差異感興趣區域。圖片型刺激物的實驗，32 位受測者、每位 4 張刺激物、4 種尺寸(4 格、16 格、64 格、256 格)切割的顯著差異探勘花費 4.92 分；影片型刺激物的實驗，5 位受測者、每位 20 秒的刺激物、3 種尺寸(4 格、16 格、64 格)切割的顯著差異探勘花費 29.38 分鐘。
本研究提出之顯著差異感興趣區域探勘分析之方法應用於自動化眼動資料分析尚屬一套軟體雛型，在相關自動化、使用者經驗(User Experience, UX)上還是有進步的空間，例如: 如何提供研究人員更方便的匯入不同廠商所記錄下的眼動資料、如何單鍵進行眼動資料分組，此外統計分析也可以更多元化，除了原有的 t 檢定外，還可以加入如 ANOVA 與 Z-test 等。

參考文獻

[1] 于莉莉, 夏结来, and 蒋红卫, "几种简单设计的等效性检验的样本量与检验效能," *第四军医大学学报*, vol. 25, pp. 1045-1049, 2004.

[2] 朱瀅, *實驗心理學*, 2002.

[3] 柴惠敏. (2005). *獨立 t 檢定的概念*. Available: http://www.pt.ntu.edu.tw/hmchai/SAS/SAScontinuous/SASttest.htm

[4] 唐大崙 、 莊賢智, "由眼球追蹤法探索電子報版面中圖片位置對注意力分佈之影響," *廣告學研究*, pp. 89-104, 2005.

[5] 劉仁沛, "啤酒與學生氏 t 檢定," *科學發展*, vol. 487, pp. 68-70, 2013.

[6] 韓承靜 、 蔡介立, "眼球軌跡記錄—科學學習研究的明日之星," *科學教育月刊*, vol. 310, pp. 2-11, 2008.

[7] 謝寶煖, "比較平均數 Test," in *量化研究與統計分析*, ed, 2006.

[8] A. Aula, P. Majaranta, and K.-J. Räihä, "Eye-tracking reveals the personal styles for search result evaluation," in *Human-Computer Interaction-INTERACT 2005*, ed: Springer, 2005, pp. 1058-1061.

[9] A. Klin, W. Jones, R. Schultz, F. Volkmar, and D. Cohen, "VIsual fixation patterns during viewing of naturalistic social situations as predictors of social competence in individuals with autism," *Archives of General Psychiatry*, vol. 59, pp. 809-816, 2002.

[10] A. T. Bahill, A. Brockenbrough, and B. T. Troost, "Variability and development of a normative data base for saccadic eye movements," *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, vol. 21, pp. 116-125, 1981.

[11] A. T. Duchowski, *Eye Tracking Methodology: Theory and Practice*, 2003.

[12] D. D. Salvucci and J. H. Goldberg, "Identifying fixations and saccades in eye-tracking protocols," in *Proceedings of the 2000 symposium on Eye tracking research & applications*, Palm Beach Gardens, Florida, USA, 2000, pp. 71-78.

[13] E. Javal, "Essai sur la physiologie de la lecture," in *Annales D\'Oculistique*, 1879.

[14] E. Javal, K. J. Ciuffreda, and N. Bassil, "Essay on the physiology of reading*," Ophthalmic and physiological optics, vol. 10, pp. 381-384, 1990.

[15] G. S. M. Chwo, H. F. Ho, B. C. Y. Liu, and S. W. L. Chiu, "Using eye-tracking as a means to evaluate visual and content design choices in web 2.0-An initial finding from Livemocha," in *UHAMKA PRESS*, 2013.

[16] G. T. Buswell, *How people look at pictures*: University of Chicago Press Chicago, 1935.

[17] H. F. Ho, "The effects of controlling visual attention to handbags for women in online shops: Evidence from eye movements," *Computers in Human Behavior*, vol. 30, pp. 146-152, 1// 2014.

[18] H. F. Ho and D. H. Huang, "A study on teaching debugging strategies for digital circuit," in *Asia-Pacific Society for Computers in Education*, 2014.

[19] H. F. Ho, G. A. Chen, and C. Vicente,

"Impact of Misplaced Words in Reading Comprehension of Chinese Sentences: Evidences from Eye Movement and Electroencephalography " in *The 23rd International Conference on Computers in Education (ICCE 2015)*, 2015.

[20] J. Hewig, R. H. Trippe, H. Hecht, T. Straube, and W. H. R. Miltner, "Gender Differences for Specific Body Regions When Looking at Men and Women," *Journal of Nonverbal Behavior,* vol. 32, pp. 67-78, 2008.

[21] J. M. Henderson and A. Hollingworth, "High-level scene perception," *Annual review of psychology,* vol. 50, pp. 243-271, 1999.

[22] J. V. Singh and G. Prasad, "Enhancing an Eye-Tracker based Human-Computer Interface with Multi-modal Accessibility Applied for Text Entry," *International Journal of Computer Applications,* vol. 130, 2015.

[23] K. Rayner, C. Rotello, A. Stewart, J. Keir, and S. Duffy, "Integrating text and pictorial information: Eye movements when looking at print advertisements," *Journal of experimental psychology. Applied,* vol. 7, pp. 219-226, 2001.

[24] M. A. Just and P. A. Carpenter, "Eye fixations and cognitive processes," *Cognitive psychology,* vol. 8, pp. 441-480, 1976.

[25] M. A. Just and P. A. Carpenter, "A theory of reading: from eye fixations to comprehension," *Psychological review,* vol. 87, p. 329, 1980.

[26] M. G. Calvo and P. J. Lang, "Gaze Patterns When Looking at Emotional Pictures: Motivationally Biased Attention," *Motivation and Emotion,* vol. 28, pp. 221-243, 2004.

[27] M. Nyström and K. Holmqvist, "An adaptive algorithm for fixation, saccade, and glissade detection in eyetracking data," *Behavior research methods,* vol. 42, pp. 188-204, 2010.

[28] M. V. O'Shea, "The Psychology and Pedagogy of Reading," *The journal of philosophy, psychology and scientific methods,* vol. 5, p. 500, 1908.

[29] M. Vernet and Z. Kapoula, "Binocular motor coordination during saccades and fixations while reading: A magnitude and time analysis," *Journal of Vision,* vol. 9, pp. 2-2, 2009.

[30] S. Djamasbi, T. Tullis, J. Hsu, E. Mazuera, K. Osberg, and J. Bosch, "Gender preferences in web design: usability testing through eye tracking," in *Proceedings of the Thirteenth Americas Conference on Information Systems (AMCIS)*, 2007, p. 1.

[31] S. Instrument. (2016). *Products sold by SMI*. Available: http://www.smivision.com/en/gaze-and-eye-tracking-systems/products/overview.html

[32] S. Kim, A. K. Dey, J. Lee, and J. Forlizzi, "Usability of car dashboard displays for elder drivers," presented at the Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Vancouver, BC, Canada, 2011.

[33] S. M. Thang, N. M. Jaafar, H. F. Ho, G. A. Chen, and O. K. Soh, "Using eye tracking to investigate strategies used by English as Second Language learners in reading a scientific text with diagram," in *International Workshop on Learning Analytics, Technology Adoption, and Language Learning in the Big-Data Era*, 2015.

[34] S. RESEARCH, *EyeLink user manual*. Ottawa, 2007.

[35] STUDENT, "ON THE ERROR OF COUNTING WITH A HAEMACYTOMETER," *Biometrika,* vol. 5, pp. 351-360, February 1, 1907 1907.

[36] STUDENT, "PROBABLE ERROR OF A CORRELATION COEFFICIENT," *Biometrika,* vol. 6, pp. 302-310, September 1, 1908 1908.

[37] T. Group. (2016). *Eye Tracker solded by Tobii*. Available: http://www.tobii.com/