

利用智慧型手機震動回饋功能辨識兩點覺閾與線寬能力之量測

Evaluating Recognition Abilities of Two-Point Threshold and Line Thickness by Using the Vibration Function of a Smart Phone

黃芷筠 李玥玟 謝雨軒 林瑞豐*

元智大學工業工程與管理學系 桃園縣中壢市遠東路 135 號

juifeng@saturn.yzu.edu.tw

摘要

隨著智慧型行動裝置的發展，已有程式開發人員利用行動裝置的攝影與震動回饋功能，嘗試發展協助視障者接收外在影像的手機應用程式。然而，人員以手指觸碰手機螢幕上圖像所產生的震動回饋辨識圖像的能力仍是未知，因此本研究目的為量測人員在無視覺回饋下，使用智慧型手機的震動回饋辨別圖像的能力。實驗中徵募了十二位大學生使用自行開發的手機應用程式進行(1)兩點覺閾、(2)兩線相對判斷、及(3)多線絕對判斷的能力量測。研究結果顯示(1)兩點之間的距離在 24 mm 時可達到 99 % 的辨識度、(2)相對判斷的兩線差異比在 3% 時能達到 88 % 的辨識度、而(3)絕對判斷在 3 種線寬時可達到 72 % 的辨別度。本研究結果將有助於提供發展視障者圖像辨識軟體時所需的設計準則。

關鍵詞：觸覺回饋、視障者、智慧型手機、圖像辨識、兩點覺閾

Abstract

Utilizing the camera and vibration functions of new innovative mobile devices, researchers made efforts on developing mobile applications to help visually impaired persons recognize environmental images taken by mobile camera. The idea is fantastic, but the extent to which people can recognize spatial information via the means is unclear. Hence, this study aimed at evaluating the abilities of tactile recognition based on the vibration function embedded in general mobile phones. Twelve college students participated in this study to test their tactile abilities of (1) two-point discrimination threshold, (2) relative judgment of line thickness, and (3) absolute judgment of line thickness via using self-developed mobile applications. The results showed that (1) the two-point discrimination accuracy rate reached 99 % when the distance between two points was set at 24 mm, (2) the relative judgment reached the level of 88 % accuracy when the two-line difference ratio was set at 3%, and (3) the absolute judgment reached the level of 72 % when line thickness number was 3. These findings should help provide designing guidelines for relative mobile application developments.

Keywords: tactile feedback, visually impaired persons, smart phone, image recognition, two-point threshold

1 前言

現代社會科技發達，一般人在行動間獲取資訊的管道相當多元，例如，GPS 導航系統、平板電腦、智慧型手機等行動裝置。然而在行動裝置如此盛行的時代，反觀完全依賴輔助工具獲取行動資訊的視

覺障礙者(以下簡稱視障者)，使用的卻都是體積大不便攜帶的輔具，例如，觸覺地圖、盲用電腦、點字觸摸器等，視障者也應享有和一般人一樣的行動資訊生活。但對視障者而言，行動裝置在接收資訊上，受限於裝置中的語音提示及震動系統。而現有

以觸覺為主的輔助工具多以浮凸方式進行，浮凸與震動同樣由觸覺傳達，但兩種方式間存在相當大的差異，且視障者以震動方式辨識圖像的能力仍是未知。因此本研究希望以幾項指標評估人員使用智慧型行動裝置以震動方式進行辨識的能力。

2 文獻探討

2.1 現存觸覺輔助視障者工具

依據內政部民國九十七年的統計資料顯示，我國的視障人口數為 54,888 人，相較於九十二年的視障者人口數 45,178 人，我國在五年之間視障人口增加將近一萬人[6]，視障人口逐年增加，應多重視視障者權益，以協助他們提升生活品質，降低不便性。

一般而言視障者可藉由點字、有聲書(口述)與觸摸式圖形等方式，獲取影像資訊。以平面圖像為例，普遍以文字形式轉譯為點字呈現，並搭配口述影像引導說明；或是將圖片以高低反差處理後，經特殊處理為浮凸的畫面(熱印圖形)，供視障者觸摸讀解[1]。

而上述輔助工具的設計體型較大，不便攜帶，無法在行動中，做為接收路面資訊工具。且大部分行動輔具多為放置在公共場合的觸覺地圖，因此，視障者需事先記憶地圖內容，再照著印象行走，這會使得錯誤率非常高[5]，因此輔助工具應發展為較輕巧且易攜帶。

2.2 智慧型行動裝置

TrendForce 預估 2013 年智慧型手機出貨量將可達到 8.30 億支以上，年成長率接近 30%[11]。智慧型手機銷售的成長速度已經超過了傳統手機，未來智慧型手機逐漸普及是必然的趨勢[9]。

智慧型手機就是兼具手機與 PDA 功能的手機。最基本的功能必須具備個人訊息管理、資料處理、網路瀏覽、收發 e-mail[4]，這加強了傳統手機沒有的缺陷。而傳遞資訊的方式也因觸控螢幕的發展，在觸覺方面除了傳統按鍵外，還多了震動回饋的方式。另外智慧型手機有著開放性的作業系統，即為一個電腦環境的開放架構，軟體的擴充性較傳

統手機完善許多[8]。

智慧型行動裝置擁有如此強大的功能，但面對小眾市場如視障者的特殊族群，是否也能成為好的輔助工具也是未知[2]。

2.3 智慧型行動裝置輔助視障者

視障者輔助工具中，因智慧型行動裝置的觸控螢幕發展，也衍生出許多利用震動回饋機制當作輔具之相關應用程式。

在 2009 年 Truong 等人利用 Nokia 的觸控螢幕，外加裝置使螢幕可產生不同頻率震動，並利用點字的方式呈現，當視障者觸摸螢幕中的點字，即產生不同頻率震動方式進行辨識[16]。另外，也有探討使用類似觸控螢幕的 TeslaTouch 裝置，分為盲文及圖形部分探討。在盲文部分，研究者將每個點利用不同頻率和不同振動時間長短，以及擴大點之間距離等變因做實驗；影像部分，利用簡單的幾何圖形，圓形、方形三角形等，配合三種型態，圖形輪廓、半透明以及實心圖形，利用頻率，來測試視障者是否可判別差異[12]。

但是上述裝置都屬於特殊裝置，皆會改變原本的裝置形態，若能在不改變智慧型行動裝置的情況下，發展出應用程式，將能降低開發新產品的成本，使視障者不需花費大量金錢在輔助產品上，例如，彭羽軒於 2010 年已開發出「Dark Angel 盲人照相機」Android 應用程式，將使用者拍攝之周遭景物照片經過處理，轉變為輪廓線條。當觸摸照片時，碰到線條便會震動，藉此判斷簡單的圖案[10]，圖 1 為實際操作畫面。



Fig. 1 視障輔助軟體「盲人照相機 DarkAngel」

雖然「Dark Angel 盲人照相機」構想很好，但應用程式是否能增進視障者福祉，且以震動方式進行辨識之能力是未知，因此本研究首先將以(1)兩點覺閾、(2)相對判斷與(3)絕對判斷三項基本指標來評估使用智慧型行動裝置透過震動方式回饋的辨識能力。

2.4 兩點覺閾

在觸覺敏感度的測量上，兩點覺閾(two-point threshold)為經常使用之方式。最早由 Weinstein [18] 進行，結果發現手部之兩點覺閾值越往指尖處越小，亦即敏感度越高[17]，指尖可以區分達 2 mm 的刺激間距，手臂最好則是 30 mm，到了背部就變成 70mm 了，這類兩點觸覺位置區分能力稱為觸感敏銳度(touch acuity)。在國內也有盲用點字尺寸之研究指出，原點直徑在 1.5 mm 時，點字最易被判讀[3]。若能將兩點覺閾的概念應用至智慧型行動裝置上，其值大小的參考，對於未來觸覺形式的設計具有極大的價值。

2.5 相對判斷與絕對判斷

相對判斷為在做判斷時有機會可以比較兩個或多個刺激是否相同[7]。例如，比較兩個或多個聲音，指出何者比較大聲；或比較兩個燈光，指出何者較亮。

絕對判斷指的是靠著記憶辨別刺激的不同程度也就是在做判斷時沒有比較機會，本質上純憑記憶[15]。Miller 指出，人在單一向度上的絕對判斷，其數目大約在 7 ± 2 個，所傳送資訊量為 2 ~ 3 位元。然而隨著經驗的增加，能夠辨別的層次數也會跟著增加[14]。

3 研究方法

3.1 受測者與實驗設備

實驗受測者為 12 位年齡介於 20~25 歲大學生男女各半，慣用手皆為右手，並有使用過智慧型手機經驗。

實驗設備包含兩支多點觸控智慧型手機，以及一套自行開發的應用程式。兩支手機型號規格分別為：HTC Desire 螢幕大小 3.7 吋，解析度 480x800

pixels，進行兩點覺閾與絕對判斷；HTC Sensation 螢幕大小 4.3 吋，解析度 960 × 540 pixels，進行相對判斷。以 Java 語言撰寫 Android 系統應用程式，實驗設備已安裝自行開發的應用程式，主要功能為隨機顯示圖形於手機螢幕中，當手指持續觸摸著圖形時，手機同時跟著持續震動。

為評估人在震動回饋觸覺中的敏銳度，本實驗中包含三個任務：兩點覺閾、相對判斷以及絕對判斷。每項任務各有 4 位受測者進行實驗，全程有一名人員於受測者身旁協助並且記錄測量時間，測量自受測者手指開始觸碰手機螢幕至受測者回答問題止為受測者所需辨識時間，每 15 分鐘請受測者脫下眼罩並休息以減緩不適與疲勞，以非慣用手握持裝置，慣用手的食指指尖觸摸螢幕。兩點覺閾與相對判斷於正式執行實驗量測前，請受測者接受 5 題測驗作為練習。絕對判斷於正式執行實驗量測前，請受測者觸摸並記憶所有不同編號之線條寬度。兩點覺閾及相對判斷分別皆完成三次實驗，絕對判斷因測驗較多，每位受測者僅完成一次實驗，兩點覺閾一次實驗約進行 30 分鐘，相對判斷一次實驗約進行 1 小時 30 分鐘，絕對判斷一次實驗中分成四個測驗，每個測驗約進行 1 小時，以下對三項任務內容作詳細說明。

3.2 兩點覺閾量測

應用兩點覺閾定義：具有兩個觸覺刺激點存在時，能夠辨別兩點是分開的，評估人能辨識出兩點的最小距離。兩點覺閾實驗內容為，正式執行實驗前，告知受測者測驗之圖形將出現於螢幕正中央，便不再給予提示，隨機出現兩點與一短線兩種圖形，受測者經觸摸辨識回答螢幕中為點或線，再繼續進行下一題。自變項為點線寬度與距離，四種寬度分別為 25, 30, 35, 40 pixels (分別約為 10, 12, 14, 16 mm)，每種寬度再分為六種距離分別為 10, 20, 30, 40, 50, 60 pixels (分別約為 4, 8, 12, 16, 20, 24 mm)，一次實驗共 48 題。圖 2 為兩點覺閾實驗示意圖。

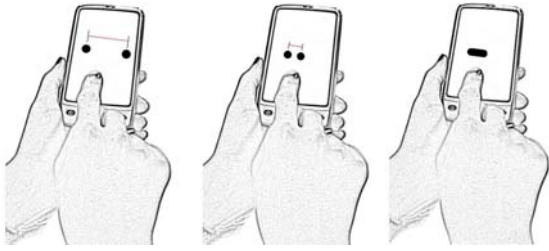


Fig. 2 左為距離較遠之兩點，中間為距離較近之兩點，右則是呈現一短線

3.3 相對判斷量測

相對判斷的定義為，做判斷時比較兩個或多個刺激，來認定不同刺激彼此在向度上的相對位置。相對判斷從前應用在評估視覺上辨識兩刺激間最小差異之敏銳度，此任務利用相同定義，欲評估以震動回饋觸覺能辨識兩線間最小差異之敏銳度。相對判斷實驗內容為，螢幕中將隨機出現兩條不同寬度的垂直長線，受測者經觸摸辨識回答兩線中較粗的線條出現於左邊或右邊，再繼續進行下一題。自變項為一條線的最小寬度以及兩線寬度差和最小寬度間的比例，由四種最小寬度分別為 10, 30, 50, 70 pixels (分別約為 4, 12, 20, 28 mm)，每種寬度再以五種比例分別為 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3 控制另一條線之寬度，若最小寬度為 10 pixels(約為 4 mm) 以比例為 0.1 控制另一條線寬度，則另一條線寬度為 $10 \text{ (pixels)} \times 0.1 + 10 \text{ (pixels)} = 11 \text{ pixels}$ (約為 4.4 mm)，每種最小寬度的線條出現於左邊與右邊分別各 2 次，一次實驗共 80 題。圖 3 為相對判斷實驗示意圖。

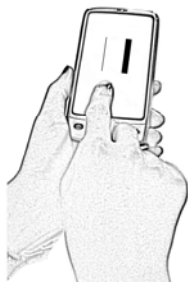


Fig. 3 測驗出現不同粗細之兩條線

3.4 絕對判斷量測

絕對判斷的定義為，無兩種或兩種以上不同的刺激作比較刺激程度差異，而靠著記憶辨別刺激的不同程度。絕對判斷從前應用在評估視覺或聽覺上憑記憶而辨識不同程度且不同數目刺激的能力，此

任務利用相同定義，欲評估以震動回饋觸覺做出絕對判斷之能力。絕對判斷實驗內容為，先讓受測者觸摸並記憶不同編號的線條寬度，接著每題測驗隨機出現一條已編號的線條，經觸摸辨識後依據對線條的記憶，受測者回答其認知的線條編號，則繼續下一題。自變項為 4 種線條數目分別 3, 4, 5, 6 條線，第一位受測者測驗線條數目的順序為數目 3, 4, 5, 6；第二位受測者測驗線條數目的順序為數目 4, 5, 6, 3；第三位受測者測驗線條數目的順序為數目 5, 6, 3, 4；第四位受測者測驗線條數目的順序為數目 6, 3, 4, 5。數目為 3 時依序將 20, 40, 60 pixels (分別約為 8, 16, 24 mm) 線條編號為 1, 2, 3 號，數目為 4 時依序將 20, 40, 60, 80 pixels (分別約為 8, 16, 24, 32 mm) 線條編號為 1, 2, 3, 4 號，依此類推至數目為 6 時依序將 20, 40, 60, 80, 100, 120 pixels (分別約為 8, 16, 24, 32, 40, 48 mm) 線條編號為 1, 2, 3, 4, 5, 6 號，每條線分別各出現 5 次，在數目為 3 時共測驗 15 題，數目為 4 時共測驗 20 題，數目為 5 時共測驗 25 題，數目為 6 時共測驗 30 題，受測者完成 4 種線條數目後才算一次實驗，因此一次實驗共 90 題。圖 4 為絕對判斷實驗示意圖。



Fig. 4 受測者先記憶不同編號線條後，測驗出現一條線讓受測者辨識

4 研究結果

4.1 兩點覺閾辨識度正確率

經變異數分析得知，距離(Distance)對於正確率(Correction Rate)具有顯著影響(p 值<0.001)。圖 5 呈現距離(Distance)對正確率(Correction Rate)之影響：

兩點間距離(Distance)為 10 pixels (約為 4 mm) 時，正確率(Correction Rate)最低，當兩點間距離(Distance)越大，受測者辨識的正確率(Correction

Rate)也會隨之增加，若兩點間距離(Distance)小於 10 pixels (約為 4 mm)，可能會使受測者開始無法辨識，在兩點間距離(Distance)為 40 pixels (約為 16 mm)以上時，正確率(Correction Rate)非常接近百分之百。

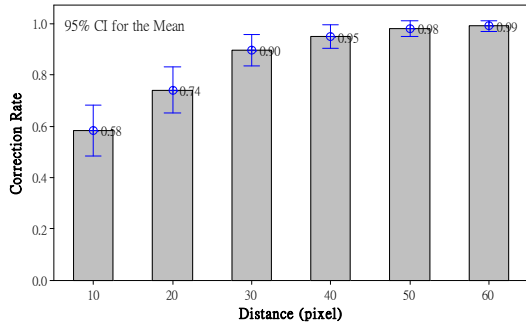


Fig. 5 兩點覺閾正確率(Correction Rate)與距離(Distance)區間圖

4.2 兩點覺閾辨識所需時間

經變異數分析得知，寬度(Width)對於所需時間(Time)具有顯著影響(p 值 < 0.001)。圖 6 呈現寬度(Width)對於辨識所需時間(Time)之影響：

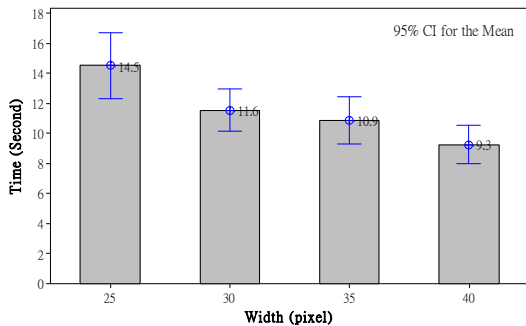


Fig. 6 兩點覺閾所需時間與寬度區間圖

所需時間(Time)以寬度(Width)為 25 pixels 最長，隨著寬度(Width)越大所需時間(Time)越短。

4.3 相對判斷辨識度正確率

經變異數分析後得知，最小寬度(w)、比例(Ratio)以對正確率(Correction Rate)具有顯著影響(p 值 < 0.001)。圖 7 呈現最小寬度(w)與比例(Ratio)對於正確率(Correction Rate)之影響：

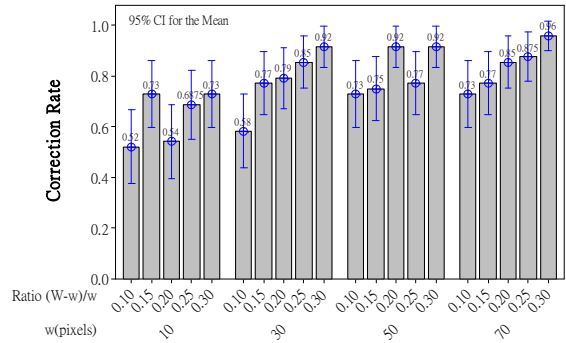


Fig. 7 相對判斷正確率(Correction Rate)對最小寬度(w)與比例(Ratio)區間圖

最小寬度(w)越低，正確率(Correction Rate)隨著比例(Ratio)的變化程度越明顯。而比例(Ratio)越高，正確率(Correction Rate)也越高。但在比例(Ratio)為 0.15 時，不論是何種最小寬度(w)，所得的正確率(Correction Rate)都高於 0.75。在此可做假設，人在兩條線比例(Ratio)為 0.15 時，最能夠判斷出兩條線是有差距的。

4.4 相對判斷辨識所需時間

經變異數分析得知後，最小寬度(w)、比例(Ratio)以及比例(Ratio)和最小寬度(w)之交互作用對於所需時間(Time)皆具有顯著影響(p 值 < 0.001)。圖 8 為呈現時間(Time)對於最小寬度(w)和比例(Ratio)之交互作用：

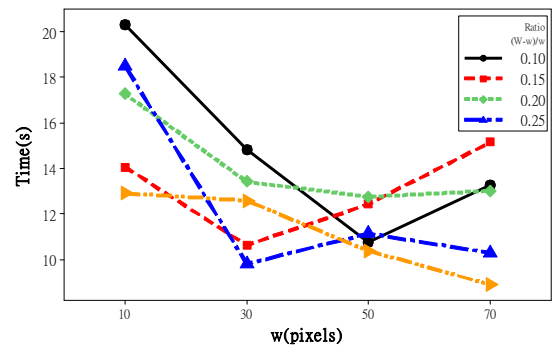


Fig. 8 相對判斷之所需時間(Time)對於最小寬度(w)和比例(Ratio)之交互作用圖

當比例(Ratio)越大，所需時間(Time)越低；而最小寬度(w)在 10 pixels (約為 4 mm)時，所需時間(Time)較其他最小寬度(w)長，而最小寬度(w)為 70 pixels (約為 28 mm)時，所需時間(Time)隨著比例(Ratio)的變化程度較明顯；最小寬度(w)為 50 pixels

(約為 20 mm)時，所需時間(Time)最平均也較小。

4.5 絕對判斷辨識度正確率

經變異數分析後得知，記憶線條的數目(Amount of Line)對正確率(Correction Rate)具有顯著影響(p 值 < 0.05)，圖 9 呈現記憶線條數目(Amount of Line)對於正確率(Correction Rate)之影響：

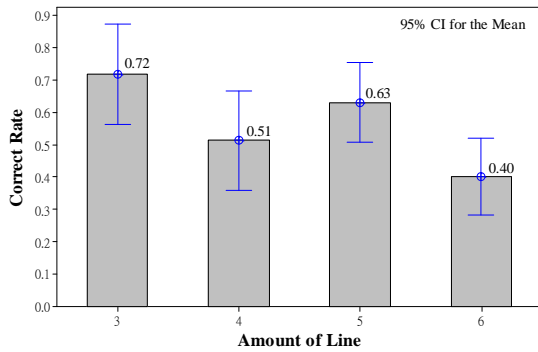


Fig. 9 絕對判斷正確率(Correction Rate)與線條數目(Amount of Line)區間圖

隨著記憶線條數目(Amount of Line)越多，受測者在不同寬度線條之間容易混淆而導致辨識正確率(Correction Rate)下降，在數目(Amount of Line)為 6 時，辨識正確率(Correction Rate)已低於 0.5。

4.6 絕對判斷辨識所需時間

雖然經變異數分析後，記憶線條數目(Amount of Line)對於所需時間(Time)無顯著影響(p 值 > 0.05)，但仍以圖 10 呈現並觀察記憶線條數目(Amount of Line)對於所需時間(Time)之影響：

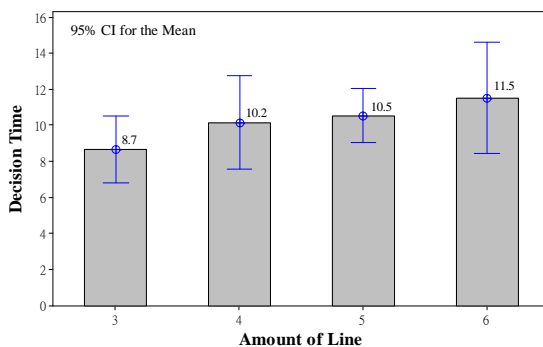


Fig. 10 絕對判斷所需時間(Time)與線條數目(Amount of Line)之區間圖

在任何線條數目(Amount of Line)下，辨識所需時間(Time)相當平均而差距不大，從上圖觀察到線

條數目(Amount of Line)越多所需時間(Time)越長，但所需時間(Time)隨著線條數目(Amount of Line)的變化程度較不明顯。

5 討論

在兩點覺閾中，距離越大受測者越容易從震動回饋中，分辨螢幕上為兩點或一短線；而受測者在測驗時，主要所需時間為摸索螢幕中的圖示，螢幕顯現的兩點或短線其寬度越小，受測者相對摸索找尋圖示的時間則越長，因此所需時間越長。依數據結果作初步判斷，在距離為 10 pixels (約為 4 mm) 以下，使用者正確辨識兩點與短線之能力相當低；而寬度則不適宜在 25 pixels (約為 10 mm) 以下，將會造成使用者摸索時間過長。

在相對判斷中，最小寬度越小，受測者所需判斷之比例需越高，才能夠分辨其差異。由所需時間而言，在最小寬度為 50 pixels (約為 20 mm) 時，所需時間為最平均也較低。因此依數據結果作初步判斷，在最小寬度為 50 pixels (約為 20 mm) 時，且比例需大於 0.1 時，受測者能在最短時間判斷出兩條線之間有差異。

在絕對判斷中，當需要記憶的線條數目越多，受測者除了難以記憶外，在進行觸摸辨識時非常容易混淆。辨識數目為 6 時正確率低於 0.5，換言之，記憶 6 條不同寬度的線條可能已超出受測者能力範圍，未來針對此方向的設計數目應在 6 個數目以內。

假設未來將盲文書與熱印圖形這些厚重的輔助工具，轉換在智慧型手機螢幕上顯示，其盲文的兩點與熱印圖形輪廓的線條粗細皆可參考本研究結果的閾值，例如：盲文中兩點間最小間距應大於 10 pixels (約 4 mm)，視障者進行閱讀時較為順暢。並且加以改善如文獻探討中盲用相機的優用性，若以較粗的線條表示物體較近，而以較細的線條表示物體較遠，較細的線條與兩線寬度差的比例應大於 0.1，且螢幕中所出現的線條數目應以 6 個數目為限視障者較容易做出比較與判斷。

6 未來展望

現階段研究評估人利用震動回饋方式辨識兩點覺閾、相對判斷以及絕對判斷等三項任務是否可行，而使用兩種型號規格不同的手機，主要目的為能夠同時進行不同任務實驗，然而發現兩支手機震動頻率不相同會影響受測者表現，未來將以相同型號規格的手機進行三項任務量測。

本研究僅探討在無視覺回饋的條件，利用震動回饋觸覺方式的辨識能力程度，並不考慮以視障者作為受測者，所以受測者皆為明眼之大學生，進行實驗時以眼罩蒙蔽雙眼，而以下其他因素如：不同環境、不同使用手勢、不同螢幕大小、不同震動頻率等情形在本研究中皆未考慮。目前三項任務量測的資料尚不夠完善，實驗手機型號規格不同，受測者人數稀少，且完成實驗次數不多，未來將會以同款手機型號規格，再繼續進行實驗，並將更完整資料彙整分析，製成各項能力之閾值表格。

未來更深入的探討將以本研究量測結果的閾值作為基礎，為了能獲取更實際的能力值，考慮將受測者鎖定為視障者，且不同震動頻率等其他因素也列入考慮，再相較其中的差異，完成更精準、更具價值的閾值表格，研究最終目的為，提供未來針對視障者開發智慧型行動裝置應用程式作為設計準則。

7 結論

本研究以三項指標，包含兩點覺閾、相對判斷以及絕對判斷，評估人員在無視覺回饋情況下，使用智慧型行動裝置以震動方式進行辨識的能力。研究結果顯示出，在兩點覺閾中，兩點間距離會影響受測者辨識的正確率，點的寬度影響的是辨識過程所需時間，以測驗內容的數值而言，兩點間距 10 pixels (約 4 mm) 以及點的寬度為 25 pixels (約 10 mm)，受測者分別在正確率與所需時間的表現較不佳；在相對判斷中，最小寬度與兩線寬度比例皆會影響受測者辨識的正確率以及辨識過程所需時間，另外，最小寬度與兩線寬度比例對於辨識過程所需時間具有交互作用的影響，當最小寬度越小，正確率受到比例影響的程度越大，以測驗內容的數

值而言，最小寬度為 10 pixels (約 4 mm) 在比例為 0.3 時辨識正確率明顯較比例為 0.1 時高出許多，而最小寬度為 70 pixels (約 28 mm) 在比例為 0.3 與比例為 0.1 的正確率差距，則不如最小寬度為 10 pixels (約 4 mm) 時表現明顯；在絕對判斷中，需記憶的線條數目會影響受測者的辨識正確率，辨識所需時間則沒有受到明顯的影響，以測驗內容而言，讓受測者記憶 6 條不同粗細的線，辨識的正確率表現相當不佳，記憶 6 條不同粗細的線可能已達受測者辨識能力程度的上限。

致謝

本研究由國科會專題研究計畫 (NSC101-2815-C-155-038-E 與 NSC101-2221-E-155-006) 補助支持，特此致謝。

參考文獻

1. 蕭嘉銘，(2005)，*臺灣全盲生圖像資訊應用之現況*，(碩士論文)，國立臺灣科技大學設計研究所。
2. 宋隆勛，(2007)，*體驗式觀察法應用於產品概念發展研究—以視障者手機為例*，(碩士論文)，臺北科技大學創新設計研究所。
3. 賴順祥，(2008)，*我國盲用點字細胞尺寸研究*，(碩士論文)，大同大學工業設計研究所。
4. 楊銀濤，(2009)，*智慧型手機發展的趨勢研究*，(碩士論文)，國立成功大學企業管理學系。
5. 杜明勸，(2009)，*視障者行動觸覺地圖與導航訊息設計研究*，(碩士論文)，大同大學工業設計研究所。
6. 黃耀榮，(2010)，既有建築物室內增設視障引導系統之效益研究，*建築學報*，第 71 期，頁 188。
7. 吳水丕、彭游、許勝雄，(2010)，*人因工程-人機境介面工適學設計(第四版)*，頁 236。
8. 羅玉芬、陳冠良、葉日勝，(2011)，智慧型手機與傳統手機比較之研析，頁 6-8。
9. 呂易鑫，(2011)，*iPhone 手機應用程式開發技術之研究*，(碩士論文)，中原大學應用數學系。
10. 彭羽軒，(2010)，*Dark Angel 盲人照相機*，今日新聞網，取自 <http://www.nownews.com/2010/09/15/327-2652580.htm>
11. Jasminehuang，(2012)，TrendForce：2013 年全球智慧型手機年成長 24.3%，OS 競爭白熱

- 化。
12. Ali, Xu, Cheng, Israr, Poupyrev, Ivan, Bau, Olivier, & Harrison, Chris.(2011). *Tactile Display for the Visually Impaired Using TeslaTouch*.
 13. Bau, Olivier, Poupyrev, Ivan, Israr, Ali, & Harrison, Chris. (2010). *TeslaTouch: Electrovibration for Touch Surfaces*.
 14. Miller. (1956). The magical number seven ,plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information.
 15. S.Sanders, Mark, & McCormick, Ernest J. (2005). *Human Factors in Engineering and Design*.
 16. Truong and Yatani.(2009). A user interface with semantic tactile feedback for mobile touch-screen devices.
 17. Vallbo AB, Johansson RS.(1978). The tactile sensory innervation of the glabrous skin of the human hand. In: Gordon G (ed) *Active touch: the mechanisms of recognition of objects by manipulation. A multidisciplinary approach*. Pergamon Press, Oxford, pp 29-54
 18. Weinstein, S.(1986) Intensive and Extensive Aspects of Tactile Sensitivity as a Function of Body Part, Sex, and Laterality. In D.R. Kenshalo (Ed.), *The Skin Senses* (pp.195-222). Springfield, IL: Charles C. Thomas.