

東海大學
數位創新碩士學位學程
碩士論文

以腳趾作為多點觸控操作介面的裝置
Toepad

指導教授：周忠信

研究生：卓瑞彬

中華民國一零七年六月

東海大學數位創新碩士學位學程

學位考試委員審定書

數位創新碩士學位學程 卓瑞彬 君所提之論文

以腳趾作為多點觸控操作介面的裝置，經本考試委員會審查，符合碩士資格標準。

學位考試委員會 召集人：蘇麗蓮 (簽章)

委員：周中言

邱浩修

中華民國 107 年 06 月 26 日

目錄

摘要	I
ABSTRACT	II
壹、緒論	1
貳、Toepad 多點觸控互動設計	2
參、Toepad 的架構設計與雛型製作	3
肆、Toepad 實際可能應用	5
一、醫療情境案例	6
二、製造現場案例	8
伍、結論與建議	13
陸、參考文獻	14

摘要

目前多點觸控技術已成為人機互動領域中最受關注的互動技術，許多應用領域也因多點觸控技術的導入，帶來嶄新風貌。目前多點觸控介面大多著重以雙手來操控，然而現實生活中，仍存在許多當下無法空出雙手卻需運用多點觸控介面的情境。為此，本論文基於以人為本（Human centric）的設計理念，為上述多點觸控的限制提出解決之道。本論提出以腳趾作為多點觸控操作介面並稱之為 Toepad。Toepad 的操作是將腳趾分成拇指與其他四指兩部分，透過感應此兩部分的壓力變化，即可多點觸控操控如手機、平板或互動式多媒體機台等設備。最後本論文提出製造業領域、醫療領域兩種不同的 Toepad 應用情境，以驗證本論文所設計與實作之 Toepad 的實用性。

關鍵字：多點觸控 (multi-touch)、人機互動 (human-computer interaction)、互動式設計(interaction design)、用戶體驗 (user experience)

ABSTRACT

Multi-touch technology is one of the most successful interfaces for human-machine interaction. In fact, it has greatly changed the way we use devices. Currently, human fingers are the easiest way to perform multi-touch. However, under some circumstances, people may not have the opportunity to use their fingers. Therefore, in this thesis we propose a new multi-touch interactive design called Toepad. By combining the operations of thumb and the rest of the four toes, Toepad can perform multi-touch interaction. In this thesis a prototype of Toepad is created and its possible applications in dental surgery and smart manufacturing are also discussed.

Keywords: multi-touch, human-computer interaction, interaction design, user experience

壹、緒論

近年來多點觸控介面 (Multi-touch interface) 技術已獲得許多關注，不僅是因為它們在手機中的應用，更重要的是此一技術為各行各業帶來許多方便性及潛在優勢。在人機互動領域中 (Human-computer interaction, HCI)，多點觸控介面允許使用者能以雙手觸碰螢幕的方式來取代滑鼠、軌跡球或遙控杆等，對電腦等相關設備進行操作[1, 2]。因為能以手指直覺式地在螢幕上進行輸出操作，相對於其他人機互動的介面而言，多點觸控介面更受到大眾喜愛[3]。

隨著多點觸控技術的日愈成熟，許多創新服務也隨之興起，例如，多人多點觸控技術—DiamondTouch [4, 5]，這種允許多人在觸控螢幕上進行交流，且能即時追蹤、回饋參與者手勢 (Gesture) 的應用，為多人學習、互動遊戲及協同合作領域帶來新風貌。另外，為了操控的方便性，近來觸控板 (Touchpad) 亦提供遠端控制電視及虛擬實境 (Virtual reality, VR) 設備的功能。Apple 與 Samsung 對於自家所推出的電視機，其遙控器上有一觸控板，讓使用者可在觸控板上移動和選擇電視機上的節目清單 [6]。若能在結合視覺、語音等多元化的互動技術，勢必將大幅改善人機互動過程中的用戶體驗 (user experience, UX)。

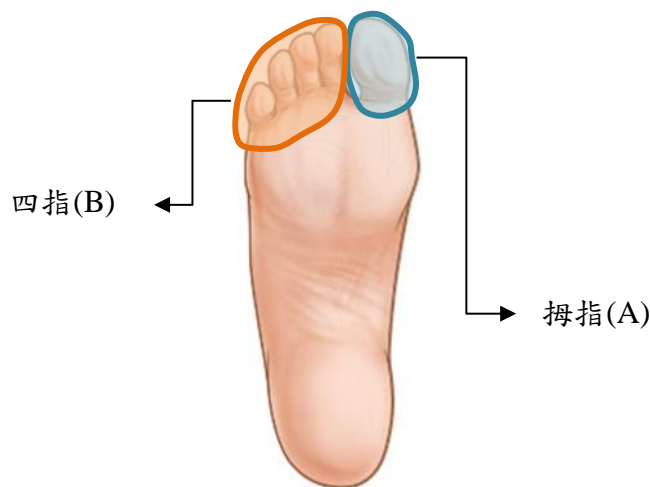
然而，現今多點觸控技術仍有諸多挑戰及限制需要克服[3]。例如，當用戶在面板上操作時，手指、手掌或手臂可能導致部分螢幕被遮擋住[7]。反之若使用滑鼠、軌跡球等設備，便可輕易避免上述問題。再者，使用者差異性的問題，不同的人其指頭、手掌大小均不同，如何設計一個能適用大多數人的觸控面板是一大挑戰，目前已有多篇論文深入探究此一問題[8, 9, 10]。

已知多點觸控技術的介面大多以雙手來操控。然而現實生活中，仍有特殊情況會造成此一應用的限制。例如在醫療場域中，儘管多點觸控對醫生查看螢幕中的 X 光片或斷層掃描甚為方便。但對正在為病人進行手術的醫師，則需另行在面板貼上消毒面膜。手術中將手術刀放下或脫下手套才能操控前方螢幕，顯然對醫師而言用戶體驗並非最佳。另外，在製造現場雙手正在操作機台的同時，工作人員顯然無法善用多點觸控作為互動介面。而更大的互動挑戰則是面對雙手失能者，如何滿足其多點觸控的操作支持。

為了面對上述互動需求，本論文提出以腳趾作為多點觸控操作介面，並稱之為 Toepad。Toepad 的操作是將腳趾分成拇指與其他四指兩部分，透過感應此兩部分的壓力變化，即可多點觸控操控如手機、平板或互動式多媒體機台 KIOSK 等設備。本論文在第二章中將說明 Toepad 的互動設計方式；第三章將介紹 Toepad 的架構設計與雛型製作；第四章將說明 Toepad 在製造現場及醫療領域的實際可能應用；第五章則為本論文的結論與建議。

貳、Toepad 多點觸控互動設計

由於人類腳趾不像手指那樣可以容易控制自如，因此在符合人體工學（Ergonomic）概念下，Toepad 的多點互動設計，如圖一所示，將腳趾依靈活度分成：拇指區 A 以及其他四指區 B。











圖一、圖示 Toepad A、B 兩大壓力感測區

為了模擬手指的多點觸控手勢，本論文結合上述 Toepad A、B 兩大壓力感測區域，設計一套互動方式。Toepad 的多點觸控模式，如圖二所示：

- (1) A 區單擊：取得螢幕控制權或選擇螢幕上的特定物件；
- (2) B 區單擊：返回前一步驟；

- (3) B 區長壓：改變上次左右滑動方向，並滑動螢幕。例如若上次長壓為向左滑動，此次長壓將為向右滑動。如欲改變左右滑動，則放開並再次長壓 B 區；
- (4) A 區長壓：同 B 區長壓概念，但為上下滑動；
- (5) A 區+B 區長壓：同 B 區長壓概念，但為放大縮小。

		
(1) A 區單擊	(2) B 區單擊	(3) B 區長按(左)
		
(4) B 區長按(右)	(5) A 區長按(下)	(6) A 區長按(上)
		
(7) A 區+B 區(縮小)	(8) A 區+B 區(放大)	

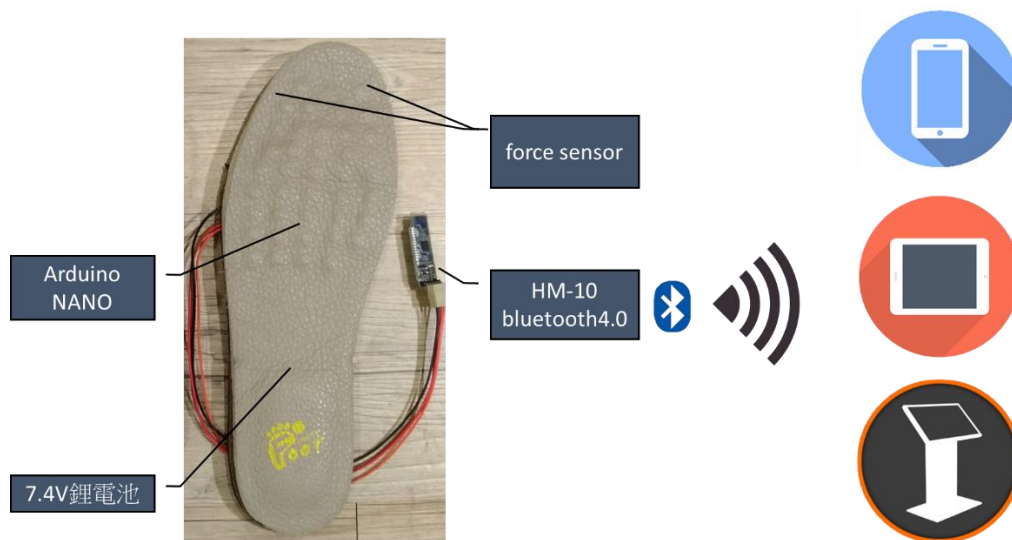
圖二、Toepad 互動設計準則

參、Toepad 的架構設計與雛型製作

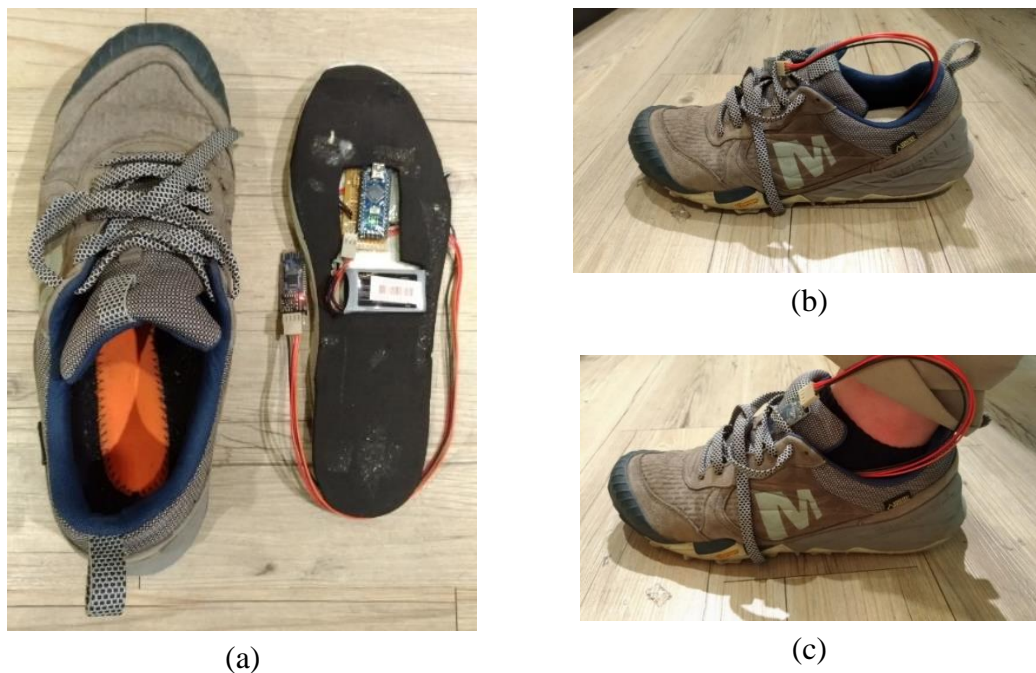
本節中我們將介紹 Toepad 的架構設計與硬體雛型製作，細部內容描述如下：

圖三為 Toepad 鞋墊的架構設計。Toepad 鞋墊內含多種電子元件，包括：Arduino Nano、壓力感測器（Force sensor）、藍牙無線模組（Bluetooth）及聚合物鋰電池。

透過藍牙設備，可對配對成功的設備，諸如：各式手機、平板電腦及多媒體機台 (KIOSK)等，進行遠端操控。至於手機、平板電腦及多媒體機台上，則需要發展 Toepad 對應之服務 app。雛型規格說明及實體對照圖如表一所示，圖四則為 Toepad 鞋墊嵌入至步鞋中的實例圖。

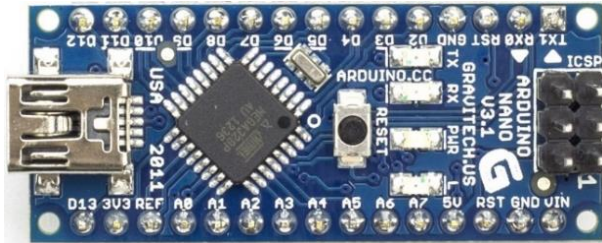


圖三、Toepad 硬體雛型設計架構



圖四、嵌入 Toepad 鞋墊之步鞋。圖(a) 嵌入 Toepad 鞋墊之步鞋的正、反面實例圖；圖(b)、(c)分別為嵌入 Toepad 鞋墊之側面圖。

表一、Toepad 鞋墊內各電子元件規格說明



Arduino Nano

是一款基於 ATmega328 研製的小型電路板。具有 22 個 IO 引腳。長 45mm 寬 18mm，體積嬌小功能強大。



壓力感測器

FSR 402 壓電式壓力感測器。傳感區域為直徑 0.5 吋的圓。



鋰電池

待機時間長達 12 小時的 7.4V 聚合物鋰電池。



藍牙模組

主從一體藍牙低功耗 4.0 模組(HM-10)。空曠環境下，最遠通信距離可達 100 公尺。

肆、Toepad 實際可能應用

在本節中，本論文將介紹 Toepad 在不同工作場域的應用。案例一為 Toepad 在醫療領域的應用，設想開刀房的醫生，在手持沾滿血跡手術刀的同時，又想滑動前方螢幕的醫學影像以檢視不同角度的病變區域時，Toepad 就派上用場。

案例二為 Toepad 在製造現場的應用情境。設想手提重物，或雙手正在處理要務的工人，急需操控機台時。

一、醫療情境案例

在醫療場域的實際案例中，本論文將 Toepad 應用在牙醫診所中，牙醫師在為病人看診時，經常需要隨時檢視該病人牙齒構造的 X 光影像，以作為後續診斷的方針，在還沒有 Toepad 之前，為了要檢視 X 光影像，醫師需先暫緩手邊正在進行的療程，脫下手套，起身至螢幕前方多點操控螢幕以檢視影像，有了 Toepad 之後，簡化了上述流程，看診也變得更有效率。圖十二為醫師透過 Toepad 操作，瀏覽患者螢幕上的 X 光影像。首先醫師點擊 Toepad A 區域，以載入患者 X 光影像（如圖五(a)所示），緊接著透過長按 Toepad B 區域並左右滑動的方式選擇檢視角度（如圖五(b)所示），醫師點擊 Toepad A 區域選定檢視角度（如圖五(c)所示），並進入主畫面（如圖五(d)所示），為了要細看單顆牙齒的資訊，醫師透過 Toepad A+B 長按的方式，放大檢視區域的畫面，如圖五(e)所示。



(a) 載入患者 X 光影像



(b) 移動游標，選擇檢視角度



(c) 確定檢視角度



(d) 進入主畫面



(e) 放大螢幕，細看特定牙齒資訊

圖五、Toepad 於醫療情境中的互動式設計

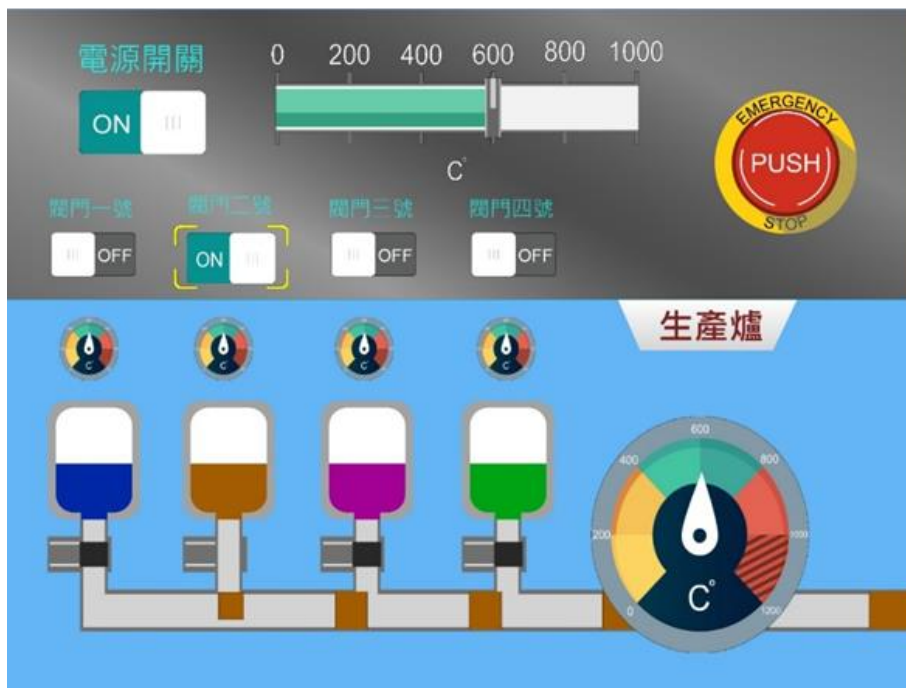
二、製造現場案例

在廠房中的工人，可能是雙手繁忙的裝配師傅，或者手持表單檢核機台現況的稽核人員，透過 Toepad 操控機台，模擬之操作流程說明如下：

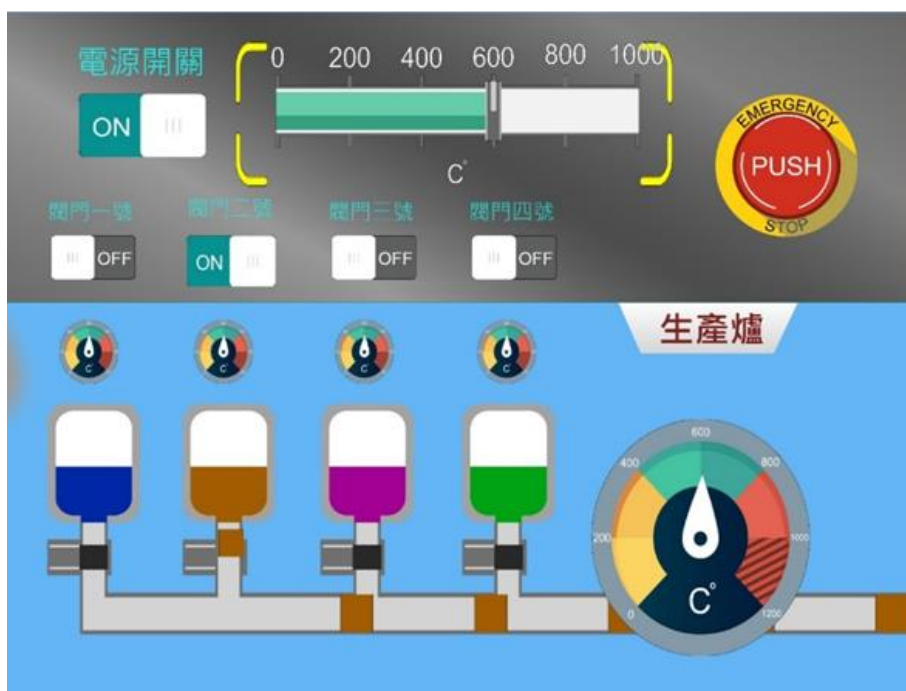
首先，稽核人員透過 Toepad 連線機台顯示屏，觀測各項資訊，得知目前電源為 ON，設定的溫度為 600°C （如圖六所示）。稽核人員以腳控制 Toepad A、B 區域，任意的改變游標位置。此時，為了要將物料送進閥門二號進行生產，將游標移至閥門二號，點擊 Toepad A 區域，即開啟二號閥門，二號槽開始進料，生產爐一切正常（如圖七所示）。初步查驗完成後，稽核人員欲要降低生產速率，將游標移至溫度調節拉桿（如圖八所示）。緊接著，透過長按 Toepad B 區域並往左滑動的方式，將溫度調至最低（如圖八九所示）。稽核人員透過 Toepad 降低輸出功率時，發現生產爐溫度不減反增，超過警戒值，觸發警告（如圖十所示）。發覺異常警訊的稽核人員，透過快速鍵 Toepad A+B 長按，緊急關閉電源（如圖十一所示）。查明原因並修復後，透過 Toepad 點擊 A 區域一次，重新啟動機台，回復到初始狀態，繼續作業流程（如圖十二所示）。



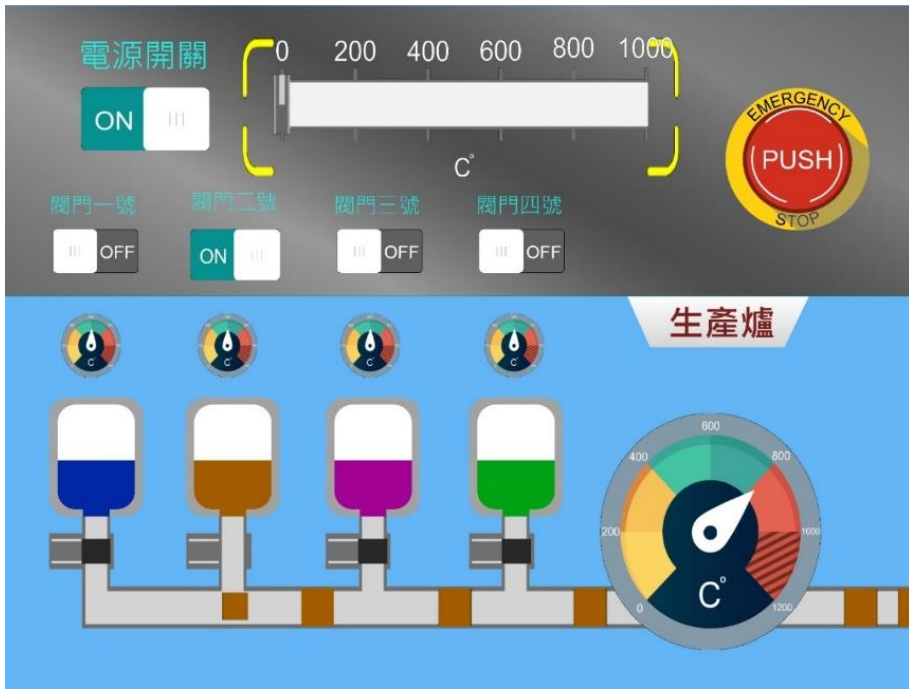
圖六、機台顯示屏



圖七、將游標移至二號閥門，開始進料



圖八、將游標移至溫度調節拉桿



圖九、調節溫度，以降低生產速率



圖十、發出溫度異常警訊



圖十一、長按 toepad A+B 區域，快速關閉生產爐



圖十二、回到初始狀態的機台

伍、結論與建議

為克服以雙手為主操控面板的侷限，本論文提出以人為本 (Human centric)、原創性十足的構想，以腳暫代無法空出的雙手來操控面板，並將構想實作出來。本論文詳細介紹所開發之腳多點觸控 Toepad，其硬體雛型製作方式，包含所使用的各項電子元件，以及與遠端連線設備的觸控互動設計，並提出多項 Toepad 的創新應用，最後以 Toepad 在工廠中的模擬應用及牙醫看診的實際按例來說明與驗證 Toepad 的實用性。

雖然 Toepad 經牙科醫師認可實際應用在看診中，然而本論文目前尚未進行 Toepad 使用性的統計分析。未來工作本論文會以問卷方式全面性的調查 Toepad 在醫療場域及製造業場域的使用性分析，以更加確認 Toepad 的實用性。另外，除了實用性之外，用戶體驗 (UX) 被認為是當今競爭激烈的大眾市場上衡量人機互動產品優劣的關鍵，在學術界和工業界都越來越受歡迎。它通常涉及產品使用的經驗，情感，有意義和有價值的方面，可以被看作是從用戶、機器與環境的互動中所延伸的體驗價值。因此本論文日後亦會納入用戶體驗問卷調查 (user experience questionnaire, UEQ)，作為用戶體驗分析的驗證工具。目前 UEQ 已被廣泛應用於衡量互動式產品的用戶體驗[11, 12, 13]。期望日後的研究結果可以幫助研究人員了解用戶如何看待和評價這種新型的互動產品，在不斷的修改與回饋的過程中，成為更多人期望的 Toepad。

未來展望:

1. 未來 A 區與 B 區之間將予以區隔開，類似夾腳拖的概念，使得 A 區與 B 區更能夠分別使力，並且將 A+B 放在中間夾腳的位置，使用 A+B 指令時，將大拇指與第二腳趾夾向中間隔板即可，如此可加速腳趾的速度，同時可以避免 A 取 B 區同時案時會有時間差。
2. 傳統的多點觸控式以手為工具，如果能夠結合腳的控制，設計出手腳並用的方式，相信可以讓未來的觸控工具更具多元，也更加好用。

陸、參考文獻

- [1] Westerman, W., Elias J.G., and A.Hedge, "Multi-touch: a new tactile 2-d gesture interface for human-computer interaction," *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 45th Annual Meeting*, vol. 1, pp. 632-636, 2011.
- [2] Sushovan Chanda and Arunasish Acharya, "Analysis of Multi Touch Interactive Device for a Cost Effective Architecture," *International Journal of Computer Applications*, vol. 140, no. 9, pp. 12-17, April 2016.
- [3] S. Bachl, M. Tomitsch, C. Wimmer, and T. Grechenig, "Challenges for designing the user experience of multi-touch interfaces," *Proceedings of the Engineering Patterns for Multi-Touch Interfaces Workshop (MUTI'10) of the ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems*, Berlin, Germany, 2010.
- [4] Dietz, P. and Leigh, D., "DiamondTouch: A Multi-User Touch Technology," *Proceedings of the 14th annual ACM symposium on User interface software and technology*, Orlando, Florida, pp. 219-226, 2001.
- [5] Esenther, A., Forlines, C., Ryall, K., Shipman, S., DiamondTouch SDK: Support for Multi-User, Multi-Touch Applications, ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work (CSCW 2002 Demonstration). Available as, Mitsubishi Electric Research Labs Technical Report TR2002-048, 2002.
- [6] Hyun K. Kim, Jaehyun Park, Kyeong Park, and Mungyeong Choe, "Analyzing thumb interaction on mobile touchpad devices," *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 67, pp, 201-209, 2018.
- [7] Saffer, D., "Designing Gestural Interfaces: Touchscreens and Interactive Devices," O'Reilly Media, Inc., 2008.
- [8] Puspasari, M.A. and Lee, Y.-H, "Factors affecting performance of target acquisition tasks for touchpads," *International Journal of Technology*, vol. 3, no. 2, pp. 145-159, July 2012.
- [9] Burnett, Gary, Lawson, Glyn, Millen, Laura, Pickering, Carl, and Webber, Emily, "Designing touchpad user-interfaces for right-hand drive vehicles: an investigation into where the touchpad should be located," *Behaviour & Information Technology*, vol. 32, no. 9, pp. 874-887, 2013.
- [10] Hertzum, Morten and Hornbæk, Kasper, "The Effect of Target Precuing on Pointing With Mouse and Touchpad," *International Journal of Human-Computer Interaction*, vol. 29, no. 5, pp. 338-pp.350, 2013.
- [11] Chou, Jyh-Rong, "An Empirical Study of User Experience on Touch Mice," *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, vol. 12, no. 11,

pp. 2875-2885, 2016.

- [12] Rauschenberger, M., Schrepp, M., Cota, M.P., Olschner, S., and Thomaschewski, J., “Efficient Measurement of the User Experience of Interactive Products. How to use the User Experience Questionnaire UEQ? Example: Spanish Language Version,” *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, vol. 2, pp. 39-45, 2013.
- [13] Schrepp, M., Hinderks, A., and Thomaschewski, J., “Applying the User Experience Questionnaire (UEQ) in Different Evaluation Scenarios,” *Design, User Experience, and Usability. Theories, Methods, and Tools for Designing the User Experience*, Lecture Notes in Computer Science Volume 8517, pp. 383-392, 2014.