國立勤益科技大學工業工程與管理系
113 學年度實務專題競賽
智慧電視互動自然手勢之探討
An Investigation of Intuitive Natural Gestures in Smart TV Interaction

摘要

隨著科技進步，直覺式的人機互動能帶給使用者更多優質的使用體驗，隨著擴增實境(AR)的廣泛應用，從 Hololence 2 到 Vision pro 的直覺式手勢互動致力於讓使用者有更佳的人機互動體驗。然而，在日常生活中人機互動直覺式手勢鮮少研究討論，因此本專題欲探討與智慧電視互動直覺式手勢產出，透過常用的指令，招募 20 位受試者參與實驗，透過模擬操控智慧家電的情境，讓受試者在自然情境下產生直覺式手勢，透過手勢分類與系統性分析計算同意率(AR)，選出指令中一致性較高之手勢，再依據手勢系統之使用性(SUS)與使用者經驗(UEQ)評量之手勢直覺性評估，期待能整理出一套適用於與智慧電視互動之直覺式通用手勢。

關鍵字：人機互動、智慧電視、直覺手勢

1.緒論

1.1 研究動機與研究問題

隨著科技的快速進步，智慧家電逐漸成為現代家庭生活中不可或缺的一部分。傳統上，人們通常透過遙控器或螢幕介面來操作這些設備，近年來許多智慧產品不再只侷限在單純的按鍵控制或是平面觸控，互動形勢包括了聲控、手勢操控等操作模式，增強使用者的直覺操控體驗，進而改善日常生活的品質。

因此，本研究旨在探討使用者控制智慧家電的直覺性手勢，以使用者的角度出發，希望能透過實驗數據分析歸納出使用者對操控家電的自然手勢，此外透過標準化問卷來評估直覺性手勢於控制智慧電視的可用性，提出符合人們直覺反應且容易記住的手勢，最為後續類似產品智慧家電之人機互動設計參考。

1.2 研究目的

1. 分析與定義智慧電視互動的基本指令
2. 依據指令收集自然手勢之產出
3. 透過手勢分類找出某項指令中同意率最高之手勢
4. 系統性分析智慧電視互動中的指令與自然手勢
5. 提出一套與智慧電視互動的最終手勢集

2.文獻回顧與探討

2.1 手勢控制在擴增實境(Augmented reality, AR)的應用

隨著虛擬實境(Virtual reality, VR)與擴增實境(Augmented reality, AR)的興起，從體感感測裝置到各式新型互動模式(語音、姿勢等)，人們對多樣性的人機互動(Human-computer interaction, HCI)方式越來越感興趣(徐悅真，2017)，人機介面的操作逐漸以體感、眼控、語音與手勢等取代傳統的滑鼠和鍵盤，使用者可以在真實環境中自然地與物件互動，包括移動、旋轉和縮放。手勢控制是利用手勢的辨識與智慧系統介面進行溝通，廣泛應用於家用電器、智慧家居及遠端護理系統等互動(Bhuiyan & Picking , 2009)。手勢互動技術在各領域都逐漸普及或被運用，例如教育領域的應用包括在虛擬實驗室與實驗裝置互動與健康教學等(Li et al., 2019)。

在擴增實境(Augmented reality, AR)環境中，從 HoloLens 到 Vision pro 直覺式的手勢互動方式逐漸變得普遍。使用者通常希望能夠自由地通過手勢與真實和虛擬物體互動，而不必依賴額外的設備，這一需求使得手勢識別技術的重要性日益增長(李靜娟，2023)。早期頭戴顯示器使用方式有語音輸入、簡易面板控制和手勢，相較其他兩種方式，手勢較能融入實境情境，以及增加使用者的體驗沉浸感，而手勢也可以產生更多組合，方便應用於較複雜的互動，提供使用者更直覺的操作(胡敏君，2018)。如何在擴增實境(Augmented reality, AR)和人機互動技術的進步使得自然且高效的互動成為研究的重點。手勢作為一種直觀的溝通方式，在擴增實境(Augmented reality, AR)中的應用價值非常顯著。此外，擴增實境(Augmented reality, AR)提供了沉浸式的體驗，具備互動性和想像力，人機互動則強調以人為中心和多模態的設計，手勢互動因其直觀性和靈活性，廣泛應用於遊戲、醫療、教育與實務工作場域具有重要意義。

2.2 影響手勢產生的因素

當使用者與智慧家電和 3C 設備互動時，過往的學習和操作習慣直接影響互動的方式，稱之為心智模式(mental model)，這種心智模式的優勢在於使用者能夠直覺快速地與互統互動，但是當面對困難或抽象指令時的反應，容易產生停頓或思考的狀態（Vogiatzidakis & Koutsabasis, 2019），例如:當使用平板或手機欲開啟某圖示化功能時，會以使用滑鼠點選的方式，用手指點擊功能選項開啟。因此，使用者對手勢產出的偏好會受到過往類似介面操作經驗影響，且互動方式通常是簡單且直觀的。先前研究亦發現性別差異在人機互動達成手勢共識所差異，這可能與男生與女生對於功能理解過程、類比能力以及目標特性認知有

關（Vatavu & Wobbrock, 2016）。在某些文化背景下，手勢的解讀也可能受到國籍或母語書寫方向的影響，例如從右到左書寫的語言使用者在指示方向時的手勢會有所不同（Dong et al., 2015）。過去經驗對反應和思考的影響，即會產生遺留偏見（legacy bias），對於功能理解差異而影響手勢產出型態（Morris et al., 2014），此外 Goldin-Meadow (2011)也提出有關學習效應（learning effect）的影響，指的是使用者因為重複操作、經驗累積而使得任務表現逐漸提升的現象。

2.3 手勢產出與分類

儘管手勢互動領域逐漸成為研究趨勢，但對於手勢產出試驗流程的規劃上仍缺乏一個公認的標準實踐流程，因此 Narvaez 等人(2020)提出研究流程應該明確定義包含受試者選擇、使用情境、手勢蒐集與分類方式、數據分析方法等步驟。傳統上大多研究流程皆以關注手勢的一致性為主軸，例如試驗流程中，主要以明確定義使用情境、功能指令，在自然互動情境下誘發受試者進行手勢的展示，透過系統性觀察與科學化數據收集，並分析多數人在特定功能指令下展現出的手勢變化性去進行數據統計(Cheng et al., 2024)。但近年來手勢不一致性也開始被探討，主要被應用於揭示手勢設計上可能出現的問題。而在 Kusanagi & Yuka (2015)的文獻中講述到，個案研究(Case Study)以研究某一個體在特定情境中的表現為主，目的是深入理解特定情境及探索個案特殊性，但由於個案研究並非產生統計上的普遍適用結論，而被質疑缺乏精確性(precision)、客觀(objectivity)、嚴謹性(rigor)，因此，在擴增實境(Augmented reality, AR)中不同的互動功能定義與使用情境是影響科學化手勢分析的重要因素。

Wobbrock 等人(2009)提出了一種基於使用者行為的觸控手勢分類方法，將手勢劃分為形式、性質、連結性和流暢度四個維度，以描述手勢的結構、意義和應用。研究顯示，手勢的概念複雜度與其類型之間存在顯著關聯($p < 0.0001$)，歸納出簡單的指令通常與物理手勢相關，而較複雜的指令則更可能引發象徵性或隱喻性手勢。在此基礎上，Vogiatzidakis 與 Koutsabasis (2019)進一步從形式、性質、身體使用部位、流程和空間五個維度對手勢進行了分類，結果顯示，隱喻性手勢最為常見（62%），其次是抽象性手勢（22%）和象徵性手勢（16%）；靜態手勢與動態手勢的比例相近（分別為 44%和 56%）；單手手勢佔大多數（54%）；離散手勢（85%）的出現頻率遠高於連續手勢（1%）；這些結果進一步支持了 Wobbrock 等人(2009)的分類框架，並對手勢特徵進行了更深入的分析。在互動情境、指令功能定義與手勢產出部分，Alyamani(2023)則採用不同的方法進行手勢分類，通過整合居家與車內空調的功能指令，開發出一個適用於不同環境（居家與車內）的通用空調控制手勢系統，該系統根據手部結構（如全手、單指、雙指、三指）和動作形式（靜態、動態、方向移動、旋轉）對手勢進行分類，並將與家用空調系統互動原有的 25 種手勢精簡為 13 種，以提升系統的靈活性和直觀性，從而增強跨環境的空調控制效率。

2.4 手勢一致性(Gesture consistency)評估

評估手勢一致性(Gesture consistency)探討為手勢產出結果歸納的階段，也稱為事後測試或驗證，可以透過各種指標來實現，其中同意率(Agreement rate, AR)是衡量一組參與者對某參照物(功能指令)達成一致意見(手勢)的指標，透過成對計算，統計群組內所有可能的參與者配對中意見一致的比例。同意率(Agreement rate, AR)的計算方法，藉由計算每個群組 G_i ($i = 1..k$)在參照物 r 上的同意率來評估一致性，算出實際達成一致的成對數與所有可能成對數的比例(Vatavu & Wobbrock, 2016)。 G_i 為獨立的參與者群組，使用 Kronecker 的 $\delta_{p,q}$ 符號來表示，其中當參與者 p 和 q 對參考物 r 達成一致時，設 $\delta_{p,q}(r)$ 為 1，否則為 0，如公式(1)所示，

$$\mathcal{AR}(r, G_i) = \frac{a_i}{n_i} = \frac{\sum_{p=1}^{|G_i|} \sum_{q=p+1}^{|G_i|} \delta_{p,q}(r)}{\frac{1}{2}|G_i|\,(|G_i| - 1)} \tag{1}$$

使用同意率公式不能完全反映不同獨立群組間的一致性行為，儘管同意率上達成一致，但獨立群組的實際偏好可能會有所不同。因此為了準確描述這種行為，引入了群組間同意率(Between-Group coagreement rate)的計算，如公式(2)所示，

$$\mathcal{CR}_b(G_1, G_2, ...G_k) = \frac{\sum_{i=1}^{k} \sum_{j=i+1}^{k} \sum_{p=1}^{|G_i|} \sum_{q=1}^{|G_j|} \delta_{p,q}}{\sum_{i=1}^{k} \sum_{j=i+1}^{k} |G_i| \cdot |G_j|} \tag{2}$$

手勢一致性(Gesture consistency)評估可以幫助理解特定指令下哪些手勢襯出更符合大多數人的直覺，在設計手勢系統時選擇更易被大眾理解和使用的符號或指令，這種方法可以用來評估某個符號或手勢的通用性(Wobbrock et al., 2005)。在 Ortega 對手勢直覺性的研究中也有使用到此公式計算同意率，反映使用者對相同指令選擇相同手勢的比例，因此同意率確實可作為「群體直覺指標」，幫助開發者找出直觀、易學的手勢操作(Ortega et al.,2019)。

除了同意率以外其他文獻有提到不一致率(Disagreement rate, DR)以及計算可猜測性(Calculating guess ability)兩種可用來整理手勢數據

時能使用的方法。不一致率是用衡量參與者在某個參考物r上意見的分歧程度，計算方法跟同意率有點相近。而且不一致率計算出的數字會與同意率的結果互補，相加起等於一(Vatavu & Wobbrock, 2015)。而可猜測性度量方法可以幫助理解哪些符號更符合大多數人的直覺，從而在設計系統時選擇更易被大眾理解和使用的符號或指令，這種方法可以用來評估某個符號或手勢的通用性(Wobbrock et al., 2005)。

除此之外，Vatavu還提出了一種可自動計算的手勢共識評估方法，稱為異質-共識法（Dissimilarity-Consensus Metho ），其目的是用於量化使用者在某個命令/意圖（referent）下，提出的手勢之間的一致性，過去評估手勢共識需依賴人工分群與主觀判斷（例如判定兩個動作是否相似），但這可能導致結果不一致、難以重現，因此改以「手勢之間的距離」作為基礎，用數值方式計算共識，完全自動化，但此方法不會考慮到文化、語境、象徵意涵(Vatavu, 2019)。

2.5 手勢設計可用性評估(Usability evaluation)

可用性評估中問卷是最常用的工具約占 70%，其次是訪談和觀察及錄影 (Simor et al., 2016)，Simor (2016)等人認為手勢研究方法缺乏基礎理論來表明每種體驗與應用合適程度，是造成互動技術系統缺乏標準化的原因，因此可用性評估有重要意義。常用量表為系統使用性(System usability scale, SUS) 、使用者經驗(User experience questionnaire, UEQ)兩種問卷工具，用於評估系統的可用性和用戶體驗。系統使用性(System usability scale, SUS)包含 10 個問題，使用者根據主觀感受對每個問題進行評分，最終得出一個範圍在 0 到 100 之間的分數，問題簡潔易於理解，適合快速評估各類產品和系統的可用性(Bangor et al., 2009)。使用者經驗(User experience questionnaire, UEQ)是一種更為全面的問卷，涵蓋了多個維度，包括吸引力、實用性、效率、可靠性等是讓使用者評估對於手勢集的易用性、有效性，以及滿意度(Cheng et al., 2024)。

1.系統使用性(System Usability Scale, SUS)

SUS 由 10 個題目組成，每個題目都有 5 分的量表，範圍從非常不同意到非常同意，題目由五種肯定的表述和五種否定的表述句交替出現，奇數題為正向表述，偶數題則為負向表述。將奇數題(正向題組)分數轉化為 x-1；偶數題(負向題組)則將分數轉化為 5-x（Alfred, 2023）。

公式：

SUS 分數=[(奇數題目總分-5)+(25-偶數題目總分)]×2.5 (3)

2. 使用者經驗 (User Experience Questionnaire, UEQ)

UEQ 量表包含 26 題正反義詞所構成的題目，來判斷使用者對此操作介面的感受。本次實驗所使用的是 UEQ 簡表問卷(UEQ-S)共 8 題的問卷，前四題以詢問務實品質，後面四題詢問享樂品質（明晰、效率和可靠性是務實品質;而刺激和新穎性是享樂品質)，並使用七點量表，數值範圍從-3 到+3，其中最否定的答案是-3，中性的是 0，最肯定的是+3。受試者從「非常不重要」、「不重要」、「相當不重要」、「尚可」、「相當重要」、「重要」、「特別重要」等選項給定使用者進行選擇(Zhang et al., 2023)。

公式:

UEQ 簡表分數=[務實品質(前四題總分)/4+享樂品質(後四題總分)/4] (於計算前須將各題評分轉換為-3~3) (4)

另外對於量表的改善，後續在文獻中發現受試者可能因為實驗的疲憊而無法充分表明他們對系統的印象，因此額外增加訪談有助於深入了解問題的源頭，進而具體提出改善方式 (Simor et al., 2016)。

3.研究方法及步驟

3.1 受試者

招募受試者時共計招募 20 位自願且健康成年人參與實驗(男女各半；年齡範圍 18~25 歲)，納入條件為：(1)願意簽署書面受試者同意書、(2)認知與動作能力正常(3)具備基本的中文閱讀能力。試驗流程經過大里仁愛醫院人體研究倫理委員會審查通過(通過案號 202500011A3)，核准實施。所有受試者均在試驗前清楚了解實驗內容與測試過程，受試者須提供基本資料，包含姓名、性別、年齡、慣用手並簽署受試同意書。

3.2 實驗設備與情境模擬

實驗透過將無線智慧投影機峰米 Dice 的畫面投影至一個寬 2.5 米、高 2.0 米的白牆上，來進行互動情境建構。情境模擬為操控智慧電視，透過智慧電視操作畫面透過投影機，在智慧電視的軟體中選擇三個大眾常用的應用程式設計實驗，將三種操作情境隨機投影在白牆上，每種情境都有需要執行的任務與指令，透過指令請受試者自然產出手勢，並在過程中使用手機，錄影並拍照手勢產出過程，如圖 1 所示，以利後續系統性分類與分析。



圖 1 依據功能指令產出手勢

為確保資料收集的完整性與畫面辨識的清晰度，特別設計了圖 2 所示的實驗空間配置。考慮到受試者的身高和體型各不相同，故將其設於前方位置，確保投影效果與設備操作的便利性。為提升手勢辨識的準確性，受試者位置的右方加裝布幕，提供單一背景以減少干擾。場域中共設有三台攝影機，分別配置於投影機左側（0.8 公尺處）、受試者左側（1.75 公尺處）及受試者後方（1.75 公尺處），從不同角度完整記錄受試者的動作表現，有助於後續比對與分析。此外，操作人員位於空間左下方，便於操作攝影與投影設備。整體配置在有限空間內達成多角度觀察、穩定辨識與順暢操作的目的。

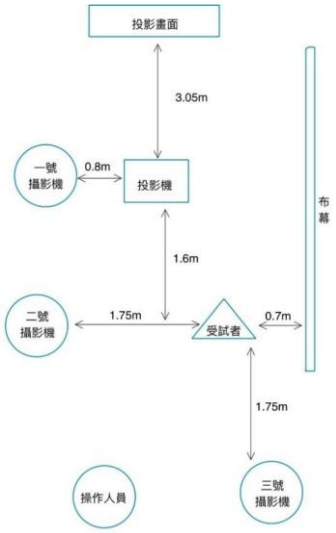


圖 2 實驗位置圖

本研究中使用的三個攝影機位置的拍攝角度。透過多機位的設置能夠從不同的角度全面觀察受試者在接收到實驗指令後所做出的手勢反應。其中，三號攝影機提供第一人稱視角，展示受試者的畫面；二號攝影機則為第二人稱視角，幫助更清楚地判斷受試者的手勢，並使機臺操作者能快速反應並進行操作；一號攝影機則是發出指令者的視角，方便觀察受試者與操作者之間的互動，確保在動作完成後能迅速釋出下一個指令。這種多角度拍攝方式不僅能彌補單一視角因遮擋或死角可能導致的資訊遺漏，還能提升影像資料的解析度與準確性，使後續的資料標註與分析工作更加順利進行。

指令功能依據三種操作情境內容，如下表 1 所示。包含基本的智慧電視功能，如:開、關機，以及方向性指令與確認選取等功能，與根據不同應用程式(如開啟應用程式、點選 YOUTUBE…等)所使用的特殊功能（如截圖、暫停、快轉等功能），共 17 個功能指令(1.開機；2.關機；3.放大；4.縮小；5.點選；6.調高音量；7.降低音量；8.往上；9.往下；10.往左；11.往右；12.快轉；13.暫停；14.上一首；15.下一首；16.截圖；17.返回)。

表 1 三種操作情境與指令

情境	指令
YouTube	找到 YouTube 點選 YouTube 點選第一個影片 增加音量+1 暫停影片 快轉 10 秒 減少音量-1 返回影片列表 返回應用程式列表
Spotify	找到 Spotify 點選 Spotify 點選每週新發現 點選播放 下一首 上一首 暫停音樂 返回應用程式列表
啟動台	截圖 找到啟動台（Launch board） 點選啟動台（Launch board） 找到文件管理器 點選文件管理器 找到圖片 點選 Screenshots 點選第一張照片 放大照片 縮小照片 返回應用程式列表

另外在實驗兩階段中，螢幕位置圖上 app 的排序並不相同(如圖 3&圖 4 所示)，其目的是透過變更 app 的螢幕位置來減少受試者對第一階段實驗的印象，可以盡量避免實驗結果受遺留偏見所影響。

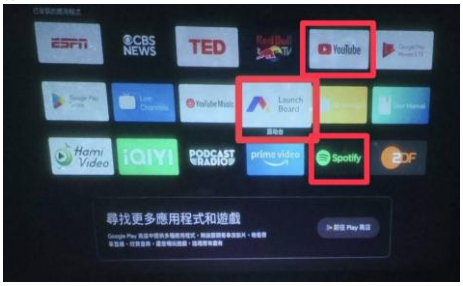


圖 3 第一階段實驗 app 螢幕位置圖



圖 4 第二階段實驗 app 螢幕位置圖

研究人員將會使用遙控器配合給予受試者機台操作指令提供畫面回饋，增加受試者的情境體驗。單一完整情境流程完成時間約需要 20 分鐘，試驗結束後，請受試者填寫手勢互動時系統使用性(System usability scale, SUS)與使用者經驗(User experience questionnaire, UEQ)。

3.3 試驗流程

實驗分成兩階段，第一階段如圖 5 所示，欲收集六項情境中功能指令產出之自由手勢，並加以分析與分類，計算每個手勢的同意率，選取功能指令中同意率最高的手勢。先讓實驗者了解基本操作流程與位置，並隨機抽取情境後，鼓勵受試者透過聯想和過去經驗，如以往使用各類產品（電腦、平板、手機等），依據情境與功能需求自由發想，反應出聽到指令的第一個直覺手勢。過程中並不限制受試者思考時間，但會以秒為基準紀錄每個手勢產出時間。第一階段整理六種情境下的 17 項功能指令中，最高同意率的代表手勢，初步歸納出與智慧電視互動各功能同意率較高的手勢。

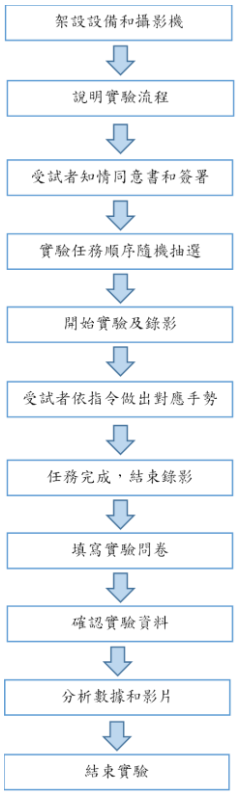


圖 5 第一階段實驗流程

如圖 6 所示第二階段應用第一階段依據各項功能指令計算出最高同意率手勢，整理出一套手勢進行學習。在正式實驗前請五位前測受試者分別進行學習三分鐘休息十五分鐘、學習三分鐘休息二十分鐘、學習五分鐘休息十五分鐘，比較不同學習相同休息時間的實驗結果，由比較結果可知，實驗後得到的錯誤率並沒有優於學習三分鐘，且在實驗過程中學習時間過長受試者會開始恍神或是發呆，由此可知學習三分鐘更合適於五分鐘，休息時間增加五分鐘對錯誤率並不會影響太大，因此休息十五分鐘勝於二十分鐘。

正式實驗過程步驟為讓受試者記憶、學習此套手勢三分鐘，再讓受試者間隔十五分鐘後，才開始進行操作，操作完第一次再間隔十五鐘後進行第二次操作，操作過程不規定思考時間，但會以秒為基準紀錄每個手勢產出時間，並觀察受使者記憶情況以得出哪些手勢讓受試者容易學習。並在實驗測試後，請受試者填寫手勢互動時系統使用性(System usability scale, SUS)與使用者經驗(User experience questionnaire, UEQ)。

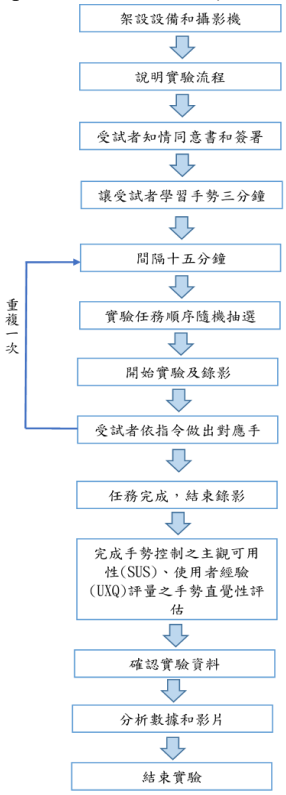


圖 6 第二階段實驗流程

3.4 資料處理

本研究的分析程序分為兩個階段進行。第一階段針對實驗影片進行人工辨識，評估受試者所做出的手勢動作，人工辨識針對動作的方向性及手勢是否具有特殊含義進行識別。為了降低辨識錯誤率，經過討論後，動作歸類的部分決定將「點選一下或多下」統一為「點選」，而「揮動一下或多下」也統一辨識為「揮動」。歸類後將手勢依據動作特徵進行分類。再依據文獻所提出的組內同意率（公式 1），計算每一項指令中受

試者手勢表現的一致程度，以辨識最具代表性的自然手勢，即受試者間最常出現、共識性最高的手勢型態，作為後續手勢學習與應用的依據。

第二階段中，受試者在學習並記憶第一階段所整理出的手勢後，進行兩次相同任務的實驗。研究者根據錄影資料記錄每位受試者的手勢表現，統計手勢執行中的錯誤次數，並分別使用卡方檢定（Chi-Squared Test）或在樣本數不足時使用費雪精確檢定（Fisher's Exact Test），以判斷兩次實驗中手勢錯誤率是否具有統計上的顯著差異。此外，針對錯誤手勢亦計算其同意率，以了解即使是錯誤動作，是否也存在潛在的一致性或混淆趨勢。

除了錯誤率分析外，本研究亦蒐集每位受試者於兩次實驗中針對每項指令的反應時間，並進行配對樣本 T 檢定（Paired Sample t-test），以分析學習後是否有顯著的反應時間改善，進一步評估手勢系統的學習效益與實用性。此外，為全面了解受試者對手勢系統的使用體驗與直覺性評價，實驗結束後請所有受試者填寫系統使用性評估量表（System Usability Scale, SUS）以及使用者經驗問卷（User Experience Questionnaire, UEQ）。透過主觀評量問卷之回饋，輔助檢驗所提出手勢系統是否具有良好可用性與直覺性，並作為未來優化人機互動設計的重要參考依據。

4.研究結果

4.1 使用者定義的手勢集

為了觀察和分析參與者在執行這些指令時所使用的手勢，第一階段實驗中對 20 位受試者進行了 17 個指令的測試，累計收集了 833 個手勢。經過分析，得出了 25 種獨特且不重複的獨立手勢。這一現象可能反映出一般受試者在自然互動情境中創造手勢時，普遍傾向依賴過去的生活經驗和常見的動作模式，導致所創造的手勢較為保守且缺乏變化，進而影響整體手勢多樣性的表現。換句話說，受試者可能缺乏足夠的想像力來產生全新或抽象的手勢型態，傾向於使用直覺且語意清晰的動作作為主要的表達方式。此外，文化背景、語意象徵和社會習慣等因素也可能潛在地限制了手勢的發展範圍。

表 2 反應時間超過 15 秒的次數

指令	超過 15 秒的出現次數
截圖	3 次
調高音量	3 次
返回	3 次
開機	2 次
關機	2 次
快轉	1 次
暫停	1 次

若從第一階段實驗中受試者思考時間超過 15 秒的指令（如表 2)來觀察，可以推斷思考時間的長短可能是該指令對於受試者而言較無共識，手勢較難想像，因此無法做出瞬間反應。

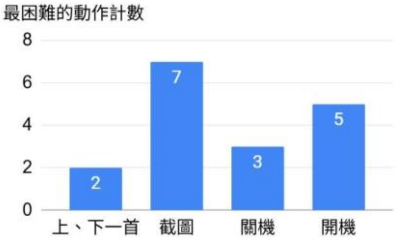


圖 7 受試者主觀認為最困難動作計數

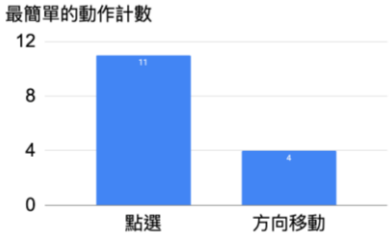


圖 8 受試者主觀認為最簡單動作計數

圖 7 和圖 8 整理了在第一階段實驗中有 2 位以上受試者在直覺反應下，認為最困難與最簡單完成動作的指令，可以瞭解到受試者認爲最困難的動作也呼應了思考時間較長，屬於無法直接聯想手勢的指令，例如：截圖、開機、關機等。而在最簡單的動作則剛好相反，點選及方向因為屬於生活中較容易聯想的指令，可以輕易根據直覺做出反應動作，而這些動作也能呼應後面同意率計算出的結果，因此可得出主觀認為容易的指令通常手勢同意率也較高，反之則較低。

4.1.1 同意率計算與分類

參考文獻(Vatavu & Wobbrock, 2015)進行手勢同意率分類，得出標準及結果如下（表 3），分析數據探討出本次研究的指令對於 20 位實驗者而言，普遍有較高的共識，且沒有指令屬於低同意率。

表 3 同意率分類表

同意率分類	同意率範圍	數量
極高同意率	同意率>0.5	8
高同意率	0.5≥同意率≥0.3	3
中等同意率	0.3>同意率≥0.1	6
低同意率	同意率<0.1	0

針對第一階段實驗的手勢進行同意率計算，以點選為例說明同意率的計算方法：手往前點數量：171 個、收攏：9 個、總數量：180 個。

先計算手往前點手勢數量為 171×(171-1)/2=14535，再計算點選總手勢數量

180×179/2=16110，接著 14535／16110=0.9022 則為該指令最高手勢同意率。

以下再舉一個最低同意率手勢關機為例進行計算：收攏:6 個、往下揮:2 個、按遙控器:4 個、往前點擊:2 個、右上滑到左下:1 個、往左點擊:1 個、比讚:1 個、倒讚:1 個、打響指:1 個、握拳:1 個。

先計算收攏手勢為數量 6×(6-1)／2=15，再計算關機總手勢數量 20×(20-1)／2=190，接著 15／190=0.0789 則為該指令最高手勢同意率。

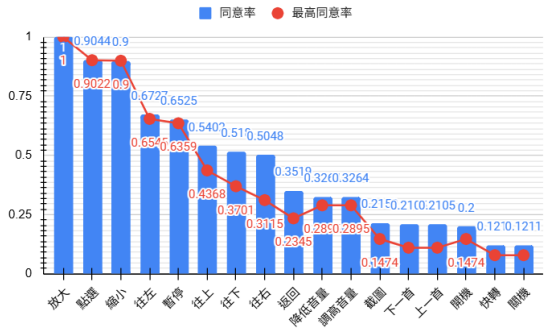


圖 9 第一階段指令同意率與手勢最高同意率

深入探討同意率與手勢最高同意率的關係，觀察圖 9 能發現其中部分指令的最高同意率與整體同意率相差較大，對應了所收的數據能了解到這些指令是因爲最高的手勢數量與次高的較接近，表示可能在這些指令中產生共識的手勢種類不只一種。其中最明顯的是方向指令，因為除了最高的同意率手勢外，還有另外一群受試者因自身習慣而使用了相反方向的手勢，綜上所述導致了方向性指令的最高同意率手勢在總同意率中佔比較低。

4.1.2 手勢分類法則

依據文獻(Vatavu et al., 2012)將同意率最高手勢依照其含義，總共分為以下三種類型：隱喻性、象徵性、抽象性（表 4）。分類後發現隱喻性佔比最高，象徵性其次，顯示這些指令可能在生活中比較容易聯想到相關手勢。根據實驗回饋表單也得知手勢大多受到生活習慣或過往使用設備（手機、平板等）的影響，驗證了前一種分類法則中同意率較高的原因。

表 4 手勢含義分類表

手勢分類	分類含義	數量
隱喻性	利用現實世界的物理行為來表達動作，手勢與實體世界的動作有對應關係。	9
象徵性	直接表達特定概念或符號的手勢，通常具有高度文化相關性或社會共識。	5
抽象性	與具體的物理行為或象徵符號無直接關聯，而是使用者自行定義的手勢。	3

4.2 十七個指令與代表手勢統整

通過計算整理出一套同意率最高的手勢集後，得出的手勢集如下（表 5）。

表 5 17 個指令與代表手勢分類統整

指令	代表手勢	手勢分類	同意率	同意率分類等級
1.開機	張開	抽象性	0.1474	中等
2.關機	收攏	抽象性	0.0789	低
3.放大	張開	隱喻性	1	極高
4.縮小	收攏	隱喻性	0.9	極高
5.點選	手往前點擊	隱喻性	0.9022	極高
6. 調高音量	向上	隱喻性	0.2895	中等
7. 降低音量	向下	隱喻性	0.2895	中等
8.往上	往上	象徵性	0.4368	高
9.往下	往下	象徵性	0.3701	高
10.往左	往左	象徵性	0.6545	極高
11.往右	往右	象徵性	0.3115	高
12.快轉	向右平移	隱喻性	0.0789	低
13.暫停	向前點	隱喻性	0.6359	極高
14.上一首	向左點	隱喻性	0.1105	中等
15.下一首	向右點	隱喻性	0.1105	中等
16.截圖	五指收攏	抽象性	0.1474	中等

17.返回	往左揮	象徵性	0.2345	中等

從表 5 中可以觀察到，受試者對於不同手勢的理解與接受度存在明顯差異，其中以「隱喻性」類型的手勢佔比最多，這類手勢因其動作與功能之間的直觀對應關係，更容易被受試者理解與接受。相對地，屬於「象徵性」與「抽象性」的手勢則因缺乏清晰的象徵聯想，導致受試者對其意圖的解讀出現分歧，進而影響同意率，普遍落在中低範圍（約 0.1 至 0.2 之間）。

此外，畫面功能鍵的佈局可能會影響受試者對手勢的思考，例如：Spotify 中上、下一首以及暫停有明確顯示的按鍵方位，受試者容易受到顯示界面的影響，會使用許多方向性的動作來完成步驟，而非使用其他性質的手勢。

根據表 5 延伸整理出圖 10，透過圖能更清楚看到每個指令手勢的佔比，並觀察到同意率較高的手勢指令，像是放大、縮小及點選等，以及手勢種類較多的指令，如：關機、返回。另外，前文有提到的隱喻性手勢佔比較高也能在圖中快速觀察到。

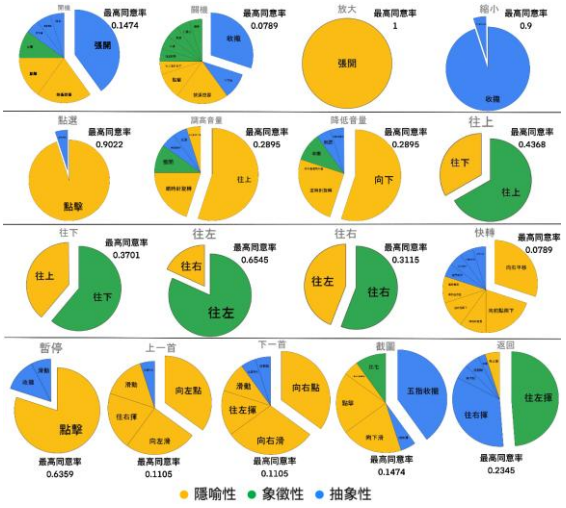


圖 10 17 個指令的手勢同意率

此外，方向手勢雖不如其他隱喻性手勢明確，但仍保有一定程度的理解共識，顯示其在選單操作上具有應用潛力，並且在收集過程中方向性手勢的種類通常為兩種，依指令方向揮動或反方向（具有拉的含義），且兩種的同意率較接近，此結果顯示通常方向性的指令也容易受到生活習慣影響，像是拉門或是滑動 3C 產品。舉往右來說，觀察圖 11 能看到往右的種類只有兩種，手勢分別是往右及往左，而往左的手勢數量也接近了往右，此種情況也呼應了前面探討到關於產生共識的手勢種類可能不只一種。

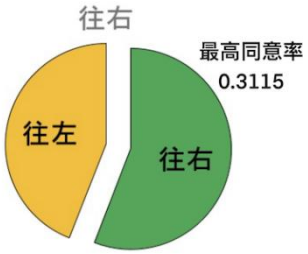


圖 11 往右指令手勢動作

整而言之，此結果強調了在設計智慧電視或其他自然互動系統的手勢介面時，應優先考量手勢與指令間的直覺關聯性，像是隱喻性這類手勢，不僅認知門檻低，也有助於提升受試者體驗與系統操作效率；而對於認知一致性較低的手勢則應進一步優化設計或輔以學習提示，以減少誤解與操作困難。

以下是第一階段實驗所整理出各個指令最高同意率的手勢並繪製而成的手勢集(圖 12)。



圖 12 17 個指令手勢集

4.2.1 小結

在第一階段實驗中，根據圖 7 可觀察到，受試者主觀認為最困難的動作與表 4.1 中思考時間超過 15 秒的指令呈現高度對應關係，像是「截圖」、「返回」與「調高音量」等較為抽象的指令，容易缺乏明確的象徵聯想或語意上的直覺關聯，導致受試者在產生手勢時意見分歧，不僅同意率偏低，也需要更長的思考時間。提截圖為例，此指令高達 7 位受試者認為是最困難的，且在表 4.1 中出現了 3 次超過 15 秒的反應時間，後續觀察該指令的手勢資料也顯示其同意率明顯偏低，顯示該動作在日常生活中較少以手勢進行操作，因此受試者難以迅速做出直覺反應，更難形成一致的手勢。

相對地，此趨勢也與圖 8 中受試者主觀認為最簡單的動作相互呼應。其中如「點選」及方向性操作（如往上、往下等）被多數受試者評為

最容易反應的手勢，這些動作的同意率亦普遍較高，顯示其不僅符合使用者的操作習慣，也具有高度直覺性。此外，根據表 4.4，這些高同意率的指令大多屬於隱喻性或象徵性手勢，呼應了前面所說的手勢語意與動作間會受到受社會共識與平時經驗的影響。值得注意的是，「返回」指令雖未被列為主觀困難動作，但其手勢同意率卻偏低，反映出受試者對該指令存在較多元的解讀與動作想像。這也驗證了在無引導條件下，受試者往往會依賴自身過往的使用習慣與經驗來產生手勢，導致手勢表現出高度個別差異，進而降低同意率。

4.3 二次驗證

4.3.1 手勢錯誤率

在第二階段實驗中，將 17 個指令同意率最高的手勢整理成一套手勢集，並以 GIF 圖呈現讓受試者記憶學習，根據圖 13 顯示第一次與第二次手勢實驗錯誤率，通過該手勢集的學習大多數指令的錯誤率在兩次實驗中皆趨近於零，顯示這些基本指令具備良好的辨識準確率與操作直覺性。而例如「往上」與「快轉」等指令在第二次實驗中錯誤率有所下降，表示部分受試者也可能在實驗過程中回想了起正確動作。然而，也有部分指令如「往左」與「往右」在第二次實驗中錯誤率反而上升，推測除了指令數量關係外，也可能與手勢之間相似或受試者混淆有關，同理「返回」指令在兩次實驗中皆呈現最高錯誤率（分別為 0.36 與 0.38），也能推論受試者可能因習慣而對方向性手勢（如往左、往右等）易出現記憶混淆，導致手勢呈現相反方向的情況，可能需重新設計以提升辨識度與直觀性。整體而言，部分手勢顯示出學習與熟悉帶來的正向影響，但針對較高錯誤率或易混淆的手勢仍需進一步調整與優化，以提升系統整體準確性與受試者體驗。

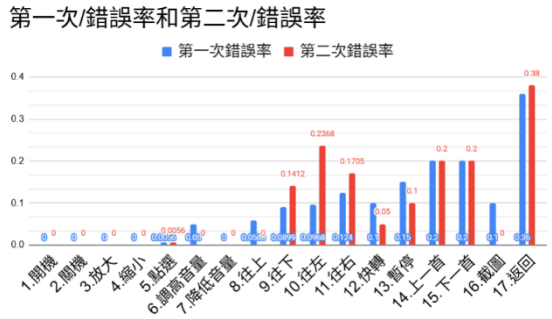


圖 13 17 個指令的第一次和第二次錯誤率

數據分析方式針對第二階段的兩次實驗錯誤率使用卡方檢定或費雪精確檢定進行分析(表 6)，當樣本數超過 40 且期望頻數足夠時，使用卡方檢定會更快速且準確；而當樣本數少於 40 或期望頻數較低時，則使用費雪精確檢定會更為精確。分析結果顯示，17 個指令的前後兩次錯誤率皆無顯著差異，可以得知對於大多數受試者而言會就是會，不會的就是不會，在絕大多數時候並不會在第二次實驗時更正為正確手勢，更多的情況是會依照第一次實驗所做的手勢繼續進行第二次實驗的手勢操作。

表 6 第二階段指令錯誤率與檢定判斷

	第一次錯誤次數/總次數	第二次錯誤次數/總次數	使用檢驗法	p-value	判斷是否有顯著差異
1.開機	0/20	0/20	Fisher	1	否
2.關機	0/20	0/20	Fisher	1	否
3.放大	0/20	0/20	Fisher	1	否
4.縮小	0/20	0/20	Fisher	1	否
5.點選	1/180	1/180	Fisher	1	否
6.調高音量	1/20	0/20	Fisher	1	否
7.降低音量	0/20	0/20	Fisher	1	否
8.往上	1/17	0/12	Fisher	1	否
9.往下	8/89	12/85	Chi-square	0.4108	否
10.往左	3/31	9/38	Chi-square	0.2760	否
11.往右	32/258	45/264	Chi-square	0.1758	否
12.快轉	1/20	1/20	Fisher	1	否
13.暫停	6/40	4/40	Fisher	1	否
14.上一首	4/20	4/20	Fisher	1	否
15.下一首	4/20	4/20	Fisher	1	否
16.截圖	2/20	0/20	Fisher	0.4872	否
17.返回	36/100	38/100	Chi-square	1	否

另外，對於第二階段實驗也進行了同意率分析(表 7)，由分析可得知，儘管受試者對於手勢使用仍有出錯情況，但整體的同意率相較的第一階段的提升非常顯著。

表 7 第二階段兩次實驗手勢同意率

指令	第一次手勢最高同意率	第二次手勢最高同意率
1.開機	1	1
2.關機	1	1
3.放大	1	1
4.縮小	1	1
5.點選	0.9889	0.9889
6.調高音量	0.8947	1
7.降低音量	1	1
8.往上	0.8824	1
9.往下	0.8274	0.7361
10.往左	0.8129	0.5775
11.往右	0.7669	0.6887
12.快轉	0.8947	0.8947
13.暫停	0.7192	0.8077
14.上一首	0.6316	0.6316
15.下一首	0.6316	0.6316
16.截圖	0.8053	1
17.返回	0.4073	0.382

透過表 7 得知了第二階段通過學習手勢集，其中有 16 個指令已屬於極高同意率，1 個高同意率，而像是：「開機」、「關機」、「截圖」等，這些動作在第一階段實驗中皆被判為中甚至低同意率，但在第二階段卻都變成了 1，另外最低的「返回」也與第一階段實驗相比高了約 0.1~0.2。

4.3.2 反應時間

基於第二階段實驗前有提供明確的手勢集進行學習，圖 14 能看到，反應時間相較第一階段實驗需由受試者自己思考時有明顯降低，兩次實驗中第二次實驗反應時間與第一次相比也有所降低，這部份是由於學習效應的影響，導致受試者在操作中會逐漸習慣熟練手勢操作的流程而加快了反應的速度。此外，第一次實驗中，對應的手勢（上一首與下一首、調高音量與降低音量），在劇本中進行的指令時間也較於前者有著更快的反應時間，這是由於兩個指令之間對立的性質，Vogiatzidakis 與 Koutsabasis 提到此類指令稱為二元指令(binary commands)(2019)，受試者透過在裝置上對二元指令使用相對的手勢可以減少他們的認知負荷，由於在做出前者後會依照自己進行的指令反映出後者的動作而不用去回想手勢集內容，因此可以較快做出反應。

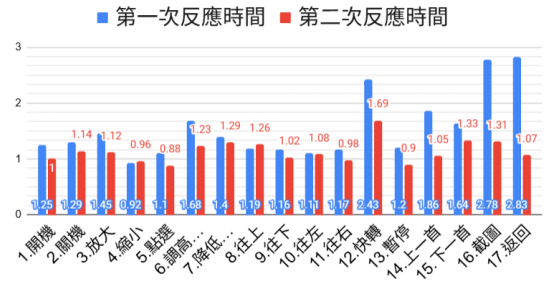


圖 14 17 個指令的第一次和第二次反應時間

另外，加入T檢定去分析兩次實驗中反應時間的差異性整理出表 8，能看到大部分的動作都具有顯著差異（數值後加＊者），也驗證了前面說的第二次實驗學習效應的成功。除此之外，針對沒有顯著差異的動作進行分析，發現了那些動作大部分是二元指令中第二個出現的指令，進而驗證前面所說二元指令能減少認知負荷，並更快做出反應。

表 8 指令反應時間與 T 檢定 p 值

	第一次平均秒數(標準差)	第二次平均秒數(標準差)	p-value
1.開機	1.25 (0.47)	1.00 (0.31)	0.01*
2.關機	1.29 (0.88)	1.14 (0.51)	0.25
3.放大	1.45 (0.96)	1.12 (0.40)	0.04*
4.縮小	0.92 (0.47)	0.96 (0.29)	0.62
5.點選	1.10 (0.68)	0.88 (0.33)	0.00*
6.調高音量	1.68 (0.81)	1.23 (0.75)	0.01*
7.降低音量	1.40 (0.66)	1.29 (0.63)	0.51
8.往上	1.19 (0.72)	1.26 (0.60)	0.77
9.往下	1.16 (0.51)	1.02 (0.36)	0.04*
10.往左	1.11 (0.40)	1.08 (0.40)	0.73

11.往右	1.17 (0.74)	0.98 (0.41)	0.00*
12.快轉	2.43 (2.30)	1.69 (1.50)	0.19
13.暫停	1.20 (0.83)	0.90 (0.41)	0.02*
14.上一首	1.86 (2.10)	1.05 (0.33)	0.09
15.下一首	1.64 (1.02)	1.33 (0.60)	0.03*
16.截圖	2.78 (2.26)	1.31 (0.58)	0.00*
17.返回	2.83 (7.68)	1.07 (0.69)	0.02*

4.3.3 小結

第二階段的實驗中主要圍繞於手勢錯誤率與反應時間進行探討，目的是檢視第一階段所建構之手勢集的可學習性與可記憶性。透過第二階段的兩次實驗，發現大多數指令在受試者短暫學習後於實驗中皆表現出穩定的操作結果，特別是如「開機」、「關機」、「放大」、「縮小」等直覺性高的功能，其錯誤率為 0（見表 6），顯示這些手勢不僅具備良好辨識性，也易於記憶與操作。依據圖 14 發現大多數手勢的反應時間都有明顯降低且同意率都相對第一階段實驗高出許多，經過 15 分鐘後的第二次實驗的錯誤率也沒有差異太大。然而如「往左」、「往右」與「返回」等方向性指令，在第二次實驗中錯誤率反而略有上升，顯示這類指令存在手勢混淆或方向判讀不一致等問題，特別是「返回」在兩次實驗中皆為錯誤率最高（36%、38%），顯示其在缺乏提示下難以形成穩定共識。此結果與先前表 4.4 中的中等同意率情形一致，突顯部分手勢雖常見，卻因理解差異導致記憶混淆。

針對錯誤動作的同意率分析也顯示，經過學習後大部分手勢同意率明顯提升，尤其是原本第一階段屬於中等同意率的「截圖」、「開機」等指令，同意率達到 1，可見手勢集的學習對於受試者的動作統一性具有正面效果，而「返回」也從第一階段 0.2345 提升到 0.4 左右的高同意率，這顯示即使初始認知偏差存在，只要手勢具有明確定義且經過統一教學，仍能有效提高群體共識性與操作一致性，展現良好的可學習性與系統優化潛力。

尤其在反應時間（圖 14）上能看出在第一階段相對困難的返回和截圖，透過學習手勢集後，受試者平均思考時間皆在 3 秒內完成，反應時間大幅縮短。而根據圖 14 大多數指令在第二次操作中的反應時間較第一次明顯縮短，後續通過表 4.7 的 T 檢定驗證更可以顯示出部分指另在第一次和第二次的反應時間有出現顯著差異，特別是「截圖」、「返回」、「下一首」等指令的 p 值已達到顯著水準($p < 0.05$)，其數據主要反映出學習效應對受試者的影響。而部分二元性質的指令（如「上一首／下一首」、「調高音量／降低音量」）則因相對出現而記憶互補，使第二項指令的反應時間自然縮短，展現出良好的互補學習效益。

總結來說，4.3 節結果延續並驗證了 4.2 小結所指出的趨勢──高同意率與隱喻性手勢不僅直覺性佳，更具備良好的學習性與穩定性，這也證明依據第一階段實驗統整的最高同意率手勢集對於受試者來說幫助很大，且學習效應良好，代表手勢集上的手勢有符合受試者直覺反應，具有良好記憶性。另外，較抽象的指令，如「返回」、「快轉」，則需進一步強化設計引導，或透過介面提示與強化學習流程來減少操作誤差。

4.4 量表分析

為了量化手勢集對受試者的可用性，設計了關於手勢集使用的系統使用性(System usability scale, SUS)、使用者經驗(User experience questionnaire, UEQ)兩種問卷工具，讓受試者在完成實驗後針對所學習的手勢集填寫量表，並以此分數進行可用性分析。

4.4.1 系統使用性(SUS)量表分析

參考了文獻(Alfred, 2023)，針對生成的手勢集設計了系統使用性(SUS)量表，以複雜度、簡易度、功能性、技術性等方面進行探討。

舉例受試者 1 做 SUS 量表計算範例：1~10 題分數分別為 4、3、4、3、4、3、4、2、4、2，則 SUS 分數={[(4+4+4+4+4)-5]+[(3+3+3+2+2)]}×2.5=67.5（分），根據這個公式分別計算出 20 位受試者針對系統使用性的分數評價（表 9）。

表 9 受試者 SUS 分數

受試者編號	SUS	分數區間判定
1	67.5	C
2	65	C
3	50	F
4	62.5	D
5	67.5	C
6	65	C
7	70	C
8	65	C
9	52.5	D
10	72.5	C+
11	90	A+
12	72.5	C+
13	65	C
14	70	C
15	60	D
16	77.5	B+
17	75	B
18	65	C
19	82.5	A
20	82.5	A
平均	68.88	C
標準差	9.68	

最終得出 20 位受試者的平均 SUS 分數是 68.875，對照表 10，分數落在等級 C 的區間，表示這個系統在整體的可用性上感受已經達到及格線，也就是使用者在操作上不會覺得困難，系統功能基本上是可以完成使用任務，以此推論使用者普遍覺得手勢集可用性尚可。但針對每個受試者去看的話，只有 4 位受試者低於平均標準 C，且有 3 位 A 以上，表示大部分受試者是認同此套手勢，甚至覺得不錯。

表 10 SUS 分數區間

Grade	SUS	Percentile range
A+	84.1 - 100	96 - 100
A	80.8 - 84.0	90 - 95
A-	78.9 - 80.7	85 - 89
B+	77.2 - 78.8	80 - 84
B	74.1 - 77.1	70 - 79
B-	72.6 - 74.0	65 - 69
C+	71.1 - 72.5	60 - 64
C	65.0 - 71.0	41 - 59
C-	62.7 - 64.9	35 - 40
D	51.7 - 62.6	15 - 34
F	0 - 51.6	0 - 14

另外，針對手勢集進行討論可改善的空間，整理出每題題目的得分情況（如表 11），並探討分數呈現較低的原因，發現了除了題目 7 與 8 對於手勢運用難易度結果特別正向外，其他題目關於複雜度、是否需要協助以及要有相關經驗等分數的呈現則較接近平均值，因此得出此套手勢對受試者而言不難，加上很多使用者對於手勢操作較陌生，沒有其他經驗對照導致其他題目出現中立答案的情況偏多，但流程可能存在某些稍顯繁瑣的部分，欲改善使用者的體驗可以優化流程引導、提高提示清楚性，減少使用時的卡頓。

表 11 SUS 每題平均分數呈現

題目	分數(3 是平均值)
1	3.8
2	2.55
3	3.8
4	2.35
5	3.5
6	2.35
7	4.2
8	1.95
9	3.85
10	2.45

4.4.2 使用者經驗(UEQ)量表分析

參考文獻（Zhang et al., 2023）從 UEQ 中精選出 8 個題目整理為 UEQ-S，保留了核心問題並提供更快速簡潔的評估來量化手勢集的務實與享樂體驗。

舉例受試者 1 做 UEQ-S 量表計算範例：1~8 題分數分別為 2、0、2、0、2、2、0、0，則 PQ 分數=(2+0+2+0)/4=1（分）；HQ 分數 =(2+2+0+0)/4=1（分）；UX 分數=1+1=2（分），根據這個公式可得出 20 位受試者的 UEQ-S 各項分數（表 12）。

表 12 受試者 UEQ-S 各項分數

受試者編號	PQ	HQ	UX
1	1	1	2
2	1	0	1
3	0.75	-1.25	-0.5
4	0	-0.5	-0.5
5	0.75	-1.25	-0.5
6	0.5	-0.5	0
7	1.5	-1.25	0.25
8	2	0	2
9	0.5	-1.75	-1.25
10	1	0.75	1.75
11	1.25	-1.25	0
12	1.75	-0.75	1
13	1.25	-1	0.25
14	2	0.25	2.25
15	1	0.5	1.5
16	2	0.75	2.75
17	1.75	-1.25	0.5
18	1.5	-1	0.5
19	1.5	0	1.5
20	1.25	1.25	2.5
平均	1.21	-0.36	0.85
標準差	0.55	0.90	1.15

表 13 UEQ-S 解釋

分數範圍	分級	解釋
>1.5	Excellent	前 10%，表現優異
0.8~1.5	Good	正向 ，設計佳
0.0~0.8	Above Avg.	稍優於平均，但非頂尖
-0.8~0.0	Below Avg.	低於平均，有潛在體驗缺失
<-0.8	Bad	表現差，需大幅改善

將各項平均總分對應表 13 後，最終得出的 PQ 平均分數為 1.2125，此落在「Good」的水平，表示使用者認為這個系統在務實方面的基本功能做得很好。表示它是一個「好用的工具」，在完成任務的過程中使用者不會感到太多阻礙。該手勢集已具有相當水準的可用性，與 SUS 結果相呼應，指系統實務功能沒問題。

而 HQ 的平均分數為-0.3625，則分類在「Below Average」，表示此系統的享樂評價偏低。顯示這系統可能會讓使用者覺得互動不夠新穎，也就是能夠使用完成操作任務，但過程可能不夠有趣或令人驚喜。

綜合以上兩項分數得出整體平均值 UX 分數為 0.85，剛好落在分級中的「Good」，代表了手勢集給予受試者的整體體驗為正面，不過這個正面體驗是由高 PQ 分數和低 HQ 分數所組成。

表 14 UEQ-S 分數呈現

面向	評估結果	優化建議
務實品質 PQ	很好（1.21）	保持目前設計邏輯與穩定性
感受品質 HQ	不足（-0.36）	提升趣味性，如：人性化互動
總體 UX	尚可（0.85）	若目標是提升使用者黏著度與品牌好感，應優先改善 HQ 部分

若要從每項題目深入分析 UEQ-S 分數呈現的原因，從表 15 中可以發現較低的平均分數反應在「重複度」、「手勢常規」、「手勢傳統」這三項，但由於該手勢集是由第一階段實驗中受試者所做出的直覺手勢所整理歸納，其核心目的便是需要得出一套簡單易懂且不過於複雜的操作手勢，因此實際上高重複度是源自於高同意率的影響，而常規與傳統的手勢則是由於融入了大多數受試者的習慣與文化，便於受試者更好的記憶與理解手勢。

表 15 UEQ-S 每題平均分數呈現

題目	分數（0 是平均值）	分析
1	1.65	幫助度偏高
2	0.4	複雜度中等
3	1.3	效率偏高
4	1.5	理解度偏高
5	-0.4	重複度偏高*
6	0.45	有趣度中等
7	-0.95	手勢偏常規*
8	-0.55	手勢偏傳統*

根據上述兩個量表綜合出的討論，此實驗的手勢集屬於傾向功能穩定且具備任務導向以及實用導向，非專精於視覺、情感、互動體驗等較人性化的使用體驗，因此更適合偏企業使用或工作導向為主的系統，但若目標是提供給一般使用者的娛樂性使用，則可能需要改善在感官上的體驗。

5.結論與建議

5.1 結論

本研究聚焦於智慧電視互動，深入探討自然手勢的潛在形式與實用性，特別以受試者角度出發，透過雙重實驗設計進行系統性分析。自然

手勢能透過直接的身體動作提升操作直覺性與使用者體驗，因此本研究的核心目標在於設計一套兼具直覺性與普遍接受度的自然手勢系統，並記錄其在無引導情境下的自然反應，以及在學習後的操作穩定性與記憶表現。

在第一階段的手勢生成實驗中，受試者在無手勢提示的情況下自由產生對各功能指令的自然手勢。結果顯示，如 2.3 的文獻中提到隱喻性手勢占比最多，受試者傾向以此類手勢表達操作意圖，例如以雙手開合模仿「放大」、「縮小」動作，或以單指點空氣來代表「點選」。這類模擬現實動作的設計不僅符合人類既有的操作邏輯，也提升了手勢的接受度與辨識一致性，凸顯了隱喻性手勢在自然手勢設計中的價值與優勢。

詳細分析數據可見，隱喻性手勢在多數指令中獲得較高的同意率與較短的反應時間，尤其在「點選」、「放大」等功能上表現尤為顯著。相對地，抽象性或象徵性手勢（如「截圖」、「返回」、「調高音量」）因缺乏明確的語意連結，造成受試者認知分歧，不僅同意率偏低，思考時間也明顯偏長。進一步印證了手勢的語意清晰度與社會共識是設計成功與否的關鍵因素。進入第二階段的操作與學習實驗後，研究聚焦於第一階段所建構手勢集的可學習性與記憶穩定性。經過短暫學習後，多數受試者對大部分指令的反應時間明顯縮短，顯示這些手勢具備良好的可記憶性與學習效果，特別是直覺性高的指令（如「開機」、「關機」、「放大」、「縮小」）表現最為穩定，錯誤率為零。同時，透過 T 檢定驗證，「截圖」、「返回」、「下一首」等指令在學習後反應時間顯著下降（$p < 0.05$），反映出學習介入能有效促進使用效率。

進一步分析顯示，部分二元對稱性指令（如「上一首／下一首」、「開機／關機」、「音量增減」）具有記憶互補與邏輯對應關係，使得受試者能迅速對應操作，降低認知負擔。例如「五指張開」對應開機、「五指收攏」對應關機，即可建立自然對稱邏輯，提升系統學習與記憶效率。然而，研究亦指出，方向性手勢如「返回」、「上下左右移動」在第二階段仍有出現較高錯誤率，反映出手勢易產生混淆、方向判讀不一等問題，特別是「返回」指令即便經過學習，其語意與動作仍相對缺乏穩定對應，雖然其同意率亦有提升（從 0.2345 增至 0.4），但未來仍可以針對方向性容易混淆問題進行改善，設計一個不具方向性但也能代表「返回」這個動作的手勢，以提升穩定性與使用體驗。

從 SUS 與 UEQ 問卷量表分析來看，本手勢系統整體可用性分數位於平均以上，其中務實品質評價相當良好，儘管享樂品質偏低，反映出受試者對手勢操作的新奇性、趣味性或互動感受仍有期待與提升空間，但本系統已顯示出具備穩定的操作流程與功能達成度。這也說明，此實驗的手勢集傾向於任務導向以及實用導向，除了維持操作效率與直觀性之外，若欲將此系統導入至消費性產品，則需提升受試者的情感體驗與互動豐富性。

總體而言，本研究成功建立出一套具代表性及可用性的智慧電視互動自然手勢集，同時也具備良好的可學習性與操作一致性，並證實通過高同意率的直覺性手勢設計能提升操作效率與系統接受度。受試者在學習後能顯著提升操作熟練度，展現自然手勢系統在智慧電視情境中實用化的潛力。本研究所建構之手勢集在設計與實驗驗證過程中，已展現其有效性與擴展性，未來可進一步應用於多種智慧設備互動場景中，並針對尚具挑戰性的指令進行優化設計與跨族群實證研究，以建立更完善的自然手勢互動系統。

5.2 建議

本研究針對智慧電視互動情境中之自然手勢進行系統性探討，並獲得具體的手勢設計依據與受試者回饋。然而整體研究過程中亦顯示出部分手勢在理解性與學習性上的限制，因此未來若欲進一步發展相關系統或擴展應用場域，建議可從以下幾個方向進行改善與延伸：

首先，在手勢設計層面，應該考慮受試者因習慣導致方向性手勢出現差異化，進而避免在設計手勢集時使用過多的方向性手勢，可考慮使用非方向性動作，或自創一套容易記憶並具代表性之動作。另外，在介面部分，智慧家電的介面設計如果越清楚明瞭，有助於讓受試者更直觀做出判斷或記憶。

其次，考量研究中所使用之樣本年齡集中於 18～25 歲本國籍大學生，建議未來可擴大樣本族群年齡與背景範圍，進一步驗證不同世代或文化對手勢的直覺認知是否存在差異，以建立更具普遍性與包容性的手勢集。

最後，除了可用性的量化問卷外，建議未來研究納入質性訪談，針對受試者對特定手勢的聯想邏輯與改善建議進行深入探討，有助於了解受試者想法並以更多面的角度去發覺問題點與優化作業，補足問卷評估的主觀性與侷限性。

整體而言，本研究所提出之手勢集已具備初步應用價值，後續設計應持續朝向「直覺性高、趣味性足、辨識性強」之方向發展，打造更加普及且具有情感連結的智慧互動體驗。

誌謝

在此謹向本專題指導邱敏綺教授致上最誠摯的感謝。從專題初期帶領我們閱讀並理解相關文獻，到後續與我們一同討論實驗設計，敏綺教授始終以耐心與細心指導我們每一個環節。過程中無數次的討論與修正，讓我們在不斷學習中逐漸掌握專題的撰寫方向與研究技巧，受益良多。

同時，也感謝大里仁愛醫院人體研究倫理委員會的審查與支持，讓本研究得以順利通過（通過案號：202500011A3）。

參考文獻

1. 李靜娟。（2023）。應用於 MR 眼鏡之 AI 動態手勢辨識系統。〔碩士論文。國立成功大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
2. 胡敏君。（2018）。視覺搜尋計算於智慧生活應用之整合設計研究-子計畫四：基於多模態手勢辨識之擴增實境智慧互動設計。GRB 政府研究資訊系統。
3. 徐悅真。（2017）。3D 手勢控制介面研究與開發。〔碩士論文。實踐大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
4. 張丹、梁桂嘉、宋曜廷（2023）。使用 UEQ 評估中文適性閱讀診斷網站設計之使用者體驗。商業設計學報，(26)，66-84。
5. AlfredCJJ. (2023). 了解可用性評估：淺談 SUS 量表及其應用。
6. Alyamani, H.J. (2023). Gesture Vocabularies for Hand Gestures for Controlling Air Conditioners in Home and Vehicle Environments. *Electronics*, *12*(7), 1513.
7. Bangor, A., Kortum, P., & Miller, J. (2009). Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. Journal of user experience, 44(3), 114-123.
8. Bhuiyan, M., & Picking, R. (2009, November). Gesture-controlled User Interfaces, What Have We Done and What's Next. In Proceedings of the fifth collaborative research symposium on security, E-Learning, Internet and Networking (SEIN 2009), Darmstadt, Germany (pp. 26-27).
9. Cheng, Y., Wu, Z., & Xiao, R. (2024). Exploring Methods to Optimize Gesture Elicitation Studies: A Systematic Literature Review. *IEEE Access, 12*, 64958-64979.
10. Dong, H., Danesh, A., Figueroa, N., & El Saddik, A. (2015). An Elicitation Study on Gesture Preferences and Memorability Toward a Practical Hand-Gesture Vocabulary for Smart Televisions. *IEEE Access, 3*, 543-555.
11. Goldin-Meadow, S. (2011). Learning through gesture. *WIREs Cognitive Science, 2*(6), 595–607.
12. Kusanagi, Y. (2015). The roles and functions of teacher gesture in foreign language teaching. Temple University.
13. Lewis, J.R., & Sauro, J. (2018). Item benchmarks for the system usability scale. J. Usability Studies 13, 3 (May 2018), 158–167.
14. Yang, L. I., Huang, J., Feng, T. I. A. N., Hong-An, W. A. N. G., & Guo-Zhong, D. A. I. (2019). Gesture interaction in virtual reality. Virtual Reality & Intelligent Hardware, 1(1), 84-112.
15.]Morris, M.R., Danielescu, A., Drucker, S.M., Fisher, D., Lee, B., Schraefel, M.M., & Wobbrock, J.O. (2014). Reducing Legacy Bias in Gesture Elicitation Studies. *Interactions, 21*, 40-45.
16. Ortega, F. R., Tarre, K., Kress, M., Williams, A. S., Barreto, A. B., & Rishe, N. D. (2019, March). Selection and manipulation whole-body gesture elicitation study in virtual reality. In 2019 ieee conference on virtual reality and 3d user interfaces (vr) (pp. 1723-1728). IEEE.
17. Schrepp, M., Kollmorgen, J., & Thomaschewski, J. (2023). A Comparison of SUS, UMUX-LITE, and UEQ-S. Journal of User Experience, 18(2).
18. Simor, F.W., Brum, M.R., Schmidt, J.D.E., Rieder, R., De Marchi, A.C.B. (2016). Usability Evaluation Methods for Gesture-Based Games: A Systematic Review. JMIR Serious Games 2016;4(2):e17
19. Vatavu, R.D. (2019). The Dissimilarity-Consensus Approach to Agreement Analysis in Gesture Elicitation Studies. In Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '19). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Paper 224, 1–13.
20. Vatavu, R.D., & Wobbrock, J.O. (2015). Formalizing Agreement Analysis for Elicitation Studies: New Measures, Significance Test, and Toolkit. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*.
21. Vatavu, R., & Wobbrock, J.O. (2016). Between-Subjects Elicitation Studies: Formalization and Tool Support. *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*.
22. Villarreal Narvaez, S., Vanderdonckt, J., Vatavu, R., & Wobbrock, J.O. (2020). A Systematic Review of Gesture Elicitation Studies: What Can We Learn from 216 Studies? *Proceedings of the 2020 ACM Designing Interactive Systems Conference*.
23. Vogiatzidakis, P., & Koutsabasis, P. (2019). Frame-Based Elicitation of Mid-Air Gestures for a Smart Home Device Ecosystem. *Informatics, 6*, 23.
24. Wobbrock, J.O., Aung, H.H., Rothrock, B., & Myers, B.A. (2005). Maximizing the Guessability of Symbolic Input. *CHI '05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*.
25. Wobbrock, J.O., Morris, M.R., & Wilson, A.D. (2009). User-Defined Gestures for Surface Computing. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '09). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1083–1092.