

# 國立勤益科技大學資訊管理系

114學年度進修部四技學生實務專題報告書

## 基於影像辨識手部模型在音樂遊戲中對多感官訓練的應用：反應力與專注力的實證研究

**Application of Image Recognition Hand Models in Music Games for Multisensory Training: An Empirical Study on Reaction Time and Attention**

專題生：

9B132006 張文玄

9B132027 謝易修

9B132031 陳心惟

9B132042 李昀禧

9B132045 陳政宏

9B132201 吳少鈞

指導教授：陳建智 博士

中華民國 114 年 12 月

## 摘要

面對全球人口老化與神經退化性疾病增加，非藥物介入訓練日益重要。然而，現有方法（如傳統復健儀器）面臨設備成本高、場域限制，以及缺乏多感官整合與神經協同活化機制的挑戰。如何開發一款容易取得、低成本且具備神經協同效益的創新非藥物介入工具，以拓展高齡族群與精細動作復健的訓練場域，是一個值得探討的議題。因此，本研究提出一款基於影像辨識技術的手勢音樂遊戲系統，以提升訓練的娛樂性與協同神經活化效果。該系統利用 MediaPipe 即時偵測手部 21 點關鍵點，並透過多層感知機（MLP）模型進行手勢判別。訓練表現紀錄包含分數、準確率、連擊數等。研究採用單組前後測準實驗設計，招募六名受試者進行為期兩週的遊戲化訓練。前測結果顯示，受試者基準線上的平均準確率約 51.9%，顯示改善空間大。經過介入訓練後，多數受試者在分數、準確率與連擊數等關鍵指標上皆呈現顯著提升。最終準確率的分佈範圍達到 60%~76% 不等，有力證明此遊戲化訓練能有效提升使用者的反應速度與手眼協調能力。結果證實，透過低成本影像辨識結合音樂節奏回饋的創新模式，能有效提升使用者的精細動作與反應能力。本系統具備高普及性、易用性與強大訓練誘因，未來可作為具備神經協同效益的非藥物介入工具，有效應用於高齡族群的認知促進與長期精細動作復健之場域。

**關鍵字：**手勢辨識、音樂遊戲、非藥物介入、反應時間、多感官訓練

## **Abstract**

In response to global aging, this study proposes a non-pharmacological intervention to overcome the cost and spatial limitations of traditional rehabilitation. We developed a music game system integrating gesture recognition via MediaPipe and Multi-Layer Perceptron (MLP) models to facilitate multisensory training.

A two-week quasi-experiment with six participants was conducted to evaluate the system. Results showed a significant improvement from a baseline accuracy of 51.9% to a post-training range of 60%–76%. The findings confirm that combining low-cost computer vision with rhythmic feedback effectively enhances reaction time and fine motor skills. This system offers an accessible and engaging solution for cognitive and physical rehabilitation.

**Keywords:** Gesture Recognition, Music Game, Non-Pharmacological Intervention, Reaction Time, Multisensory Training

## 誌謝

首先，我要向我的指導教授陳建智教授，獻上最崇高的敬意與衷心的感謝。老師不僅在學術上給予我高瞻遠矚的指導，更以其嚴謹的治學態度和對研究的熱忱，深刻的啟發了我。本研究從最初的構想到最終的定稿，皆得益於老師悉心且耐心的引導，使我得以克服重重難關，順利完成學業。

特別要感謝專題組員：張文玄、謝易修、陳心惟、李昀禧、陳政宏、吳少鈞，在研究旅程中，我們共同經歷了無數個充滿挑戰與收穫的時刻。

我們每一位的貢獻度如下：

- 張文玄：各章節的文獻查找及撰寫、通篇專題文章編輯與校稿。
- 謝易修：遊戲架構設計、遊戲程式編寫、系統架構圖設計。
- 陳心惟：第四章的文獻查找及撰寫、遊戲畫面的動態設計、遊戲元素的設計、音樂製作。
- 李昀禧：第四章的文獻查找及撰寫、影像辨識模型設計與訓練、程式合併與除錯、實驗架構設計。
- 陳政宏：第二章與第三章的文獻查找及撰寫、使用者流程圖設計、實驗流程設計。
- 吳少鈞：第一章與第三章的文獻查找及撰寫、實驗結果統整。

# 目錄

摘要.....	1
Abstract .....	2
誌謝.....	3
目錄.....	4
表目錄.....	6
圖目錄.....	7
第一章 緒論 .....	8
1.1 研究背景.....	8
1.2 研究動機.....	9
1.3 研究目的.....	12
1.4 研究架構.....	13
第二章 文獻回顧 .....	14
2.1 神經退化性疾病的非藥物介入趨勢.....	14
2.2 遊戲化與認知功能訓練.....	15
2.3 多感官刺激的整合與精細動作復健.....	15
2.4 文獻總結與研究缺口 .....	16
第三章 研究方法 .....	18
3.1 實驗架構.....	18
3.2 研究工具.....	19
3.3 實驗介入流程.....	20
3.4 資料處理與分析.....	21
第四章 系統架構實驗 .....	22
4.1 手部影像辨識模型.....	22
4.1.1 資料前處理與資料品質控管.....	22
4.1.2 模型選擇與比較.....	23
4.2 研究對象.....	23

4.3 系統畫面.....	24
4.4 系統架構圖.....	27
4.5 實驗研究.....	32
第五章 結論 .....	36
5.1 研究成果.....	36
5.2 未來展望.....	37
參考文獻.....	38

## 表目錄

表 3.1 實驗設計 .....	18
表 4.2 第一次實驗 (2025/11/06) .....	32
表 4.3 第二次實驗 (2025/11/13) .....	33
表 4.4 第三次實驗 (2025/11/20) .....	34
表 4.5 受試者完整實驗結果對比圖 .....	35

## 圖目錄

圖 4.1 選擇歌曲主目錄 .....	24
圖 4.2 遊戲畫面 .....	25
圖 4.3 視覺化譜面編輯器 .....	25
圖 4.4 遊戲結算畫面 .....	26
圖 4.5 音樂遊戲畫面設計 .....	27
圖 4.6 系統架構圖 .....	28
圖 4.7 組件依賴圖 .....	29
圖 4.8 狀態轉換圖 .....	30
圖 4.9 使用者流程圖 .....	31



# 第一章 緒論

全球人口結構正經歷快速老化，根據世界衛生組織（World Health Organization, WHO）統計，至 2050 年全球 60 歲以上人口將達 20 億人，約占總人口的五分之一 (UN DESA, 2023)。隨著高齡人口的增加，與年齡相關的神經退化性疾病，如阿茲海默症（Alzheimer's disease）、帕金森氏症（Parkinson's disease）及輕度認知障礙（Mild Cognitive Impairment, MCI）的病例亦逐年攀升。此類疾病導致患者的記憶力、專注力、執行功能與動作協調能力持續退化，嚴重影響患者的生活品質，並對家庭照護系統造成沉重負擔。因此，尋找有效、可負擔且具永續性的介入方法，以延緩認知退化，已成為全球公共衛生與醫療領域的關鍵挑戰。

## 1.1 研究背景

藥物治療是目前失智與認知退化的主要干預手段，但現有藥物多數僅能緩解症狀，無法從根本上改變疾病的進程。針對神經退化疾病的藥物療法仍存在顯著限制，且可能伴隨副作用、依賴性或療效不穩定等問題。有鑑於此，非藥物介入（Non-pharmacological Intervention, NPI）逐漸成為臨床與研究領域的焦點。非藥物介入涵蓋了多種方法，包含認知訓練、音樂治療、運動訓練、虛擬實境（Virtual Reality, VR）及遊戲化互動等 (Ishibashi, G. A., et al., 2023)。這些方法具備更高的安全性、靈活性與娛樂性，能夠以多感官刺激的方式來活化與強化腦部功能。

儘管 NPI 種類繁多，但在實際應用中仍面臨兩大挑戰：一是 NPI 的綜合有效

性，即如何最大化協同效應，同時訓練認知和精細動作；二是 NPI 的普及性與持續性，許多有效的 VR 或專業復健設備往往成本過高、佔用空間大，且難以在家庭環境中持續進行，導致參與者的長期動機低落。因此，迫切需要開發一種低成本、易於普及、且能夠整合多感官刺激（特別是認知與精細動作）的創新遊戲化訓練模式，以滿足高齡化社會對有效、易用工具的需求。

## 1.2 研究動機

為了解決上述「綜合有效性與普及性」的問題，過去的研究可概略分成以下四種：

- (1) 遊戲化與認知控制訓練：隨著科技與互動媒體的進步，遊戲化（Gamification）與嚴肅遊戲（Serious Games）已成為 NPI 的重要研究方向。遊戲化介入利用遊戲設計原理與互動機制，將訓練活動轉化為具娛樂性與回饋性的過程。研究證明，針對多任務設計的訓練遊戲能有效增強老年人在執行控制與工作記憶上的表現，顯示電子遊戲在促進老年人認知功能上具備潛在的可能性（Anguera, J. A., et al., 2013）。
- (2) 音樂節奏與多感官刺激：音樂是一種能夠同時刺激多重腦區的感官活動，包含聽覺皮質、運動皮質與前額葉等區域。音樂中的節奏、旋律與情緒變化能引發神經可塑性變化，促進感官整合與認知反應（林佩儒、柯志欣，2009）。研究指出，互動式節奏遊戲訓練能有效提升使用者的節奏感與專注力，並透過音樂回饋增強學習動機（林佩儒、柯志欣，2009）。此外，將音樂元

素融入 VR 手部訓練遊戲中，可提升參與者的動作表現與投入度，證明音樂作為動作引導與情緒誘發媒介的關鍵作用 (Amin, F., et al., 2024)。

- (3) 手部動作與認知活化： 手部是人類最具靈活性的身體部位之一，其運動與大腦的運動皮質、前額葉及小腦密切相關。長期進行手指操或手部按壓訓練，已被證實可促進老年人前額葉與運動區活化，改善專注力與工作記憶表現，顯示手部動作訓練對認知功能具潛在促進效果 (Liu, J., & Shi, H., 2023)。
- 而遊戲式的復健 (Serious Games) 亦能提升手部動作靈活性與反應準確性，互動性與即時回饋被視為維持復健效果的重要因素 (Bressler, M., et al., 2024)。

- (4) 動作與認知混合訓練： 結合「動作訓練與認知任務」的混合式訓練 (motor-cognitive training) 已被證實能對高齡者的整體認知功能與步態穩定性產生顯著的協同改善效果。這一結果強化了本研究將「手部動作」結合「音樂認知刺激」的可行性與理論依據。

雖然上述個別研究都驗證了單一組件的有效性，但其研究成果仍存在以下限制：

- (1) 缺乏多重協同刺激的整合： 現有許多遊戲或訓練系統多專注於單一功能（如純認知遊戲或純手部復健），未能將精細手部動作、音樂節奏和認知遊戲三者有效整合於同一系統中，難以最大化其在神經學上的協同活化作用（即同時活化運動皮質、聽覺皮質與前額葉）。

(2) 普及性與可近性限制：高階 VR 或專業復健設備的成本與空間要求，阻礙了其在一般家庭中的普及。目前仍缺乏一種極易取得、初期成本低廉的訓練模式，能打破地點和設備的限制。

(3) 使用者群體與目的單一性：既有研究多聚焦於失智症或中風患者。然而，非藥物介入應擴大至所有習慣使用 3C 產品的群體，以預防早期認知退化和改善如腕隧道症候群等現代生活常見的精細動作問題。

為克服上述限制，本研究提出並設計一款結合「影像捕捉」、「手部精細動作」與「音樂節奏互動」的遊戲化復健系統。此系統的創新性與貢獻如下：

(1) 低成本與高普及性：透過成熟的影像辨識技術進行手部追蹤，使用者僅需一台具備鏡頭的電腦或行動設備即可進行訓練，徹底解決了傳統復健產品或 VR 遊戲「成本過高、產品佔空間」的問題。

(2) 多感官與認知神經學協同：系統能同時活化運動皮質（手部動作）、聽覺皮質（音樂回饋）與前額葉區域（節奏與任務控制），實現最大化的認知神經學協同效應。

(3) 提升訓練動機與習慣養成：採用音樂遊戲與遊戲化獎勵機制，能有效提升使用者的參與意願與專注力，將訓練轉化為具備娛樂性的休閒活動，這符合習慣養成需透過聯想和獎勵學習機制強化的心理學原理 (Wood, W., & Rünger, D., 2016)。

(4) 應用群體廣泛：訓練對象不限於高齡者，亦涵蓋所有習慣使用 3C 產品的

群體，主要目標為提升反應力與專注力，並降低神經退化性疾病發生的概率

，同時可作為改善精細動作協調、甚至預防腕隧道症候群的引導式工具。

本研究旨在填補上述缺口，透過設計和開發一款低成本影像捕捉手部音樂遊戲系統，系統性地驗證其對使用者（包括高齡族群與一般 3C 族群）的專注力、反應速度與手眼協調能力的提升成效。本研究的結果將為高齡化社會提供一個具備高可近性、高娛樂性與多重神經協同效應的創新非藥物介入模式。

### 1.3 研究目的

綜合上述研究背景與動機，本研究旨在達成以下目的：

- (1) 設計與開發： 研發一款基於影像捕捉技術的「手勢音樂節奏互動遊戲系統」，確保其具備易取得、初期成本低、好操作的特性。
- (2) 探討機制： 分析並驗證此「手勢動作結合音樂節奏」的訓練模式，對使用者的專注力與反應速度的提升成效。
- (3) 提供解決方案： 針對全球高齡化及廣泛使用 3C 產品的群體，提供一個安全、低成本、高娛樂性且具備多重認知與動作訓練潛力的非藥物干預解決方案。

## 1.4 研究架構

本論文主要分為 5 個章節、參考文獻，分別如下：

- 緒論：說明本研究背景、動機、目的及論文架構
- 文獻回顧：手部動作訓練遊戲化，配合音樂節奏增強訓練效果。
- 研究方法：探討相依樣本的核心反應時長，是否能證實手部動作遊戲化訓練的成效。
- 系統架構實驗：模型準確度提升方法與實驗結果評估。
- 結論：統整研究結果及探討未來展望。
- 參考文獻

## 第二章 文獻回顧

本章旨在回顧與本研究主題相關的學術文獻，以建立理論基礎，並明確界定本研究欲填補的知識缺口。文獻回顧將圍繞三個核心要素展開：非藥物介入的現狀與挑戰、遊戲化訓練對認知的影響，以及多感官整合（特別是手部動作與音樂節奏）的神經機制與應用。

### 2.1 神經退化性疾病的非藥物介入趨勢

#### 非藥物介入的必要性與多樣性

隨著全球人口快速老化，神經退化性疾病如失智症和輕度認知障礙的發病率持續上升 (UN DESA, 2023)。傳統的藥物治療在延緩疾病進程方面存在侷限性與潛在副作用。因此，NPI 作為一種輔助或替代方案，已成為臨床研究的焦點。NPI 的範疇廣泛，包括認知訓練、音樂治療、運動訓練、虛擬實境及遊戲化互動等，其共同優勢在於能以更安全、靈活且具備內在動機的方式刺激多重腦區 (Ishibashi, G. A., et al., 2023)。

#### 動作-認知混合訓練的協同效應

近年來的研究強調「動作-認知混合訓練」(motor-cognitive training) 的價值。此類訓練模式結合了身體運動（如手部動作或步態訓練）與認知任務（如工作記憶或執行功能），被證實對改善高齡者的整體認知功能和步態穩定性具有顯著的協同改善效果。這表明，將運動與認知刺激同時整合，能產生優於單一訓練模式的效益。

，為本研究結合手部動作和認知刺激提供了理論基礎 (Kwan, et al., 2021)。

## 2.2 遊戲化與認知功能訓練

### 嚴肅遊戲與遊戲化對動機的影響

隨著科技進步，遊戲化 (Gamification) 與嚴肅遊戲 (Serious Games) 已成為認知復健的重要方向。嚴肅遊戲指的是將遊戲機制應用於非娛樂目的，如教育、醫療或復健 (白麗，2018)。遊戲設計中內建的即時回饋與獎勵機制，能有效提升參與者的投入度、專注力與學習動機。這種設計符合行為心理學中關於習慣養成的原理：透過聯想和獎勵學習機制，訓練活動的持續性得以強化 (Wood, W., & Rüniger, D., 2016)。

### 遊戲對認知控制的實證效益

多項研究已實證遊戲化介入對認知功能的效益。例如，Anguera, J. A., et al. (2013) 設計的多任務訓練遊戲，證實能顯著提升年長者在執行控制 (Executive Control) 與工作記憶 (Working Memory) 上的表現，確立了電子遊戲作為老年人認知功能促進工具的可能性。此外，遊戲治療也被指出能有效降低失智症患者的焦慮與躁動，並提升他們的生活品質 (高薇淇、郭麗敏與莊宇慧，2019)。

## 2.3 多感官刺激的整合與精細動作復健

### 手部動作對認知活化的作用

手部是人類精細動作的代表，其靈活性與大腦的運動皮質、前額葉及小腦功能



密切相關。手部動作訓練，如手指操或按壓練習，被證實能促進老年人前額葉與運動區的活化，進而改善專注力與工作記憶 (Liu, J., & Shi, H., 2023)。這為本研究以手部動作作為核心訓練元素提供了神經生理學依據。進一步地，Bressler, M., et al. (2024) 的研究指出，針對手部與手指設計的嚴肅遊戲能提升使用者的動作靈活性與反應準確性，凸顯了互動性復健在精細動作訓練中的重要性。

### **音樂節奏的跨模態刺激機制**

音樂不僅是一種感官享受，更是一種能同時刺激聽覺皮質、運動皮質與前額葉等多重腦區的活動。音樂中的節奏、旋律與情緒變化被認為能引發神經可塑性 (Neuroplasticity) 變化，促進感官整合與認知反應 (林佩儒、柯志欣，2009)。研究發現，互動式節奏遊戲訓練能有效提升使用者的節奏感、專注力與手眼協調 (林佩儒、柯志欣，2009)。

### **音樂與動作整合的協同效益**

將音樂元素融入動作訓練中，已被證實能產生加乘效果。(Amin, F., et al., 2024) 的研究顯示，在虛擬實境 (VR) 手部訓練遊戲中搭配音樂，可作為情緒誘發與動作引導的媒介，提升參與者的動作表現與投入度，進而改善復健成效。這證明了「音樂節奏」與「手部動作」的跨模態整合，能有效提高訓練效率與依從性。

## **2.4 文獻總結與研究缺口**

### **現有文獻的優勢與局限**

綜觀上述文獻，我們確認了：

(1) 遊戲化 (Anguera, J. A., et al., 2013; 白麗, 2018) 能有效提升認知訓練的動機和效果。

(2) 手部動作訓練 (Liu, J., & Shi, H., 2023; Bressler, M., et al., 2024) 對改善精細動作與活化認知功能至關重要。

(3) 音樂節奏 (林佩儒、柯志欣, 2009; Amin, F., et al., 2024) 能作為強大的多感官刺激媒介，增強訓練效果。

然而，現有研究主要集中在這些元素的單獨應用或兩兩結合（例如：遊戲 + 認知、音樂 + 手部 VR）。當前的知識缺口在於：

(1) 整合性驗證不足： 缺乏一個低成本、易於家庭普及的系統，能夠同時且有效地整合「影像捕捉手部精細動作」、「音樂節奏回饋」和「遊戲化認知任務」三個核心要素，並系統性地驗證其協同活化多個腦區（運動皮質、聽覺皮質、前額葉）的綜合訓練效果。

(2) 普及性解決方案的欠缺： 雖然 VR 復健效果良好 (Amin, F., et al., 2024)，但其高成本和空間限制阻礙了大規模普及。現有文獻尚未提出利用普遍易得的影像捕捉技術來取代高成本硬體設備，以達到訓練目的的具體設計與應用評估。

(3) 目標群體的擴展需求： 多數 NPI 研究聚焦於臨床患者。但為了實現預防醫學的目標，需將訓練擴展至一般習慣使用 3C 產品的群體，以預防早期認知退化和改善精細動作協調。

### 第三章 研究方法

本研究旨在驗證自行設計之「影像捕捉手部音樂遊戲系統」對於提升使用者反應能力的成效。本章節將詳述研究設計、研究對象、研究工具、實驗介入流程及數據分析方法（洪麗珍，2025）。

#### 3.1 實驗架構

本研究採用單組前後測準實驗設計（One-Group Pretest-Posttest Design）。研究對象將作為單一受試組別，接受為期兩週的遊戲化介入訓練。透過比較受試者在訓練前（前測）與訓練後（後測）在核心反應指標上的表現，以評估介入訓練的成效，如表3.1所示。

表 3.1 實驗設計

前側		介入訓練		後側	
受試者	A	受試者	A	受試者	A
分數 (/1,000,000)		分數 (/1,000,000)		分數 (/1,000,000)	
準確率 (%)		準確率 (%)		準確率 (%)	
最大連擊		最大連擊		最大連擊	
PERFECT (次/%)		PERFECT (次/%)		PERFECT (次/%)	
GREAT (次/%)		GREAT (次/%)		GREAT (次/%)	
GOOD (次/%)		GOOD (次/%)		GOOD (次/%)	
BAD (次/%)		BAD (次/%)		BAD (次/%)	
MISS (次/%)		MISS (次/%)		MISS (次/%)	

## 變項界定

### (1) 自變項 (Independent Variable) :

**影像捕捉手部音樂遊戲介入 (X)** : 指受試者使用本研究自行開發的影像辨識音樂遊戲系統，進行為期 2 週的標準化訓練。

### (2) 依變項 (Dependent Variable) :

**核心反應能力 (Core Reaction Time, CRT)** : 以遊戲內建之精確反應時長 (Reaction Time, RT) 為主要量化指標，用於評估使用者對視覺和聽覺節奏刺激的處理速度。

**手眼協調性與準確度 (Accuracy and Coordination)** : 以遊戲過程中擊中目標的正確率 (Accuracy) 與節奏點偏差 (Timing Deviation) 為輔助指標。

## 3.2 研究工具

### 影像捕捉手部音樂遊戲系統

本研究的核心介入工具為自行設計與開發的電腦應用程式：

#### (1) 硬體需求：具備鏡頭且作業系統使用 windows 11 的電腦（用於影像捕捉）

。

#### (2) 核心機制：系統透過 MediaPipe 影像辨識技術追蹤使用者手部（或手指）

的精細動作，並將其轉化為遊戲輸入。

#### (3) 遊戲內容：結合音樂節奏，要求使用者在音樂節拍點上，透過特定的手部動

作（拇指對掌），精準擊中螢幕上出現的目標。

(4) 數據記錄：遊戲後台須自動記錄每次遊戲的以下數據：

總遊戲時長、總嘗試次數。

平均核心反應時長（CRT）。

平均節奏點偏差（ms）。

### 3.3 實驗介入流程

本研究的實驗介入流程共分為三個階段：前測、介入訓練及後測。

#### 前測階段（A1）

受試者在開始訓練前，將在標準化環境下進行基線測量：

(1) 測量內容：受試者將遊玩本研究設計的音樂遊戲中一組預設的標準測驗關卡

（難度與節奏固定）。

(2) 數據記錄：系統將記錄受試者在該關卡中的核心反應時長（CRT）作為前測

基線分數。

#### 介入訓練階段（X）

(1) 介入時長與頻率：介入期為兩週，受試者每週須進行 5 次訓練，每次訓練

持續 10 分鐘。

(2) 訓練內容：訓練內容將包含不同節奏類型與難度層級的音樂關卡，確保訓練

的多樣性與挑戰性，以持續刺激使用者的反應能力與手眼協調。

(3) 訓練監控：研究者將監控受試者的遊戲日誌，確保其訓練時長與頻率符合研

究要求，並記錄訓練過程中的異常狀況。

## 後測階段 (A2)

在完成為期兩週的介入訓練後，受試者將接受後測：

- (1) 測量內容：受試者再次遊玩與前測相同的標準測驗關卡。
- (2) 數據記錄：系統記錄受試者在該關卡中的核心反應時長 (CRT) 作為後測分數。

## 3.4 資料處理與分析

**成效驗證 (Efficacy Validation)：**

- (1) 使用相依樣本 t 檢定 (Paired Sample t-test) 比較受試者在「前測分數 A1」與「後測分數 A2」之間的核心反應時長 (CRT) 是否具有顯著差異。
- (2) 若後測的核心反應時長顯著短於前測，則證明本遊戲化介入訓練能有效提升使用者的反應能力。

## 第四章 系統架構實驗

### 4.1 手部影像辨識模型

為確保影像辨識模型的訓練效果與穩定性，本研究對手部影像資料進行多階段的處理與正規化，涵蓋資料前處理、資料品質控管與幾何正規化等步驟。

#### 4.1.1 資料前處理與資料品質控管

##### 資料清洗與標籤檢查

首先，從收集到的原始影像中剔除模糊、遮擋或無法辨識的照片，以確保資料品質。隨後對清洗後的影像資料進行人工目視檢查，確認每張影像的手勢標籤正確無誤，避免標籤錯誤對模型訓練造成影響。

##### 邊緣資料擴建

針對手部位於影像邊緣的樣本，進行資料增強，包括裁切、水平翻轉與縮放，以提升模型對邊界手勢的辨識準確度，並增加樣本多樣性。

##### 手部關鍵點幾何正規化

利用 MediaPipe 偵測手部 21 點關鍵點，對每張影像進行座標系平移與尺度正規化：以手腕作為原點，將所有關鍵點座標平移至手腕中心；再以手掌多組邊界距離的中位數作為尺度進行除法，以降低手部大小差異對模型的影響。

此外，對極端離群值進行裁切，並丟棄非有限值或尺度過小的樣本，以確保資料乾淨且穩定。經正規化的關鍵點以  $(21, 3)$  結構存儲為 JSON，方便後續模型直

接讀取使用。此方法可有效消除手部位置與大小差異，提升模型對不同手勢的辨識穩定性與穩健性，並減少遮擋或姿態抖動造成的誤差。

#### 4.1.2 模型選擇與比較

本研究在手部姿態影像辨識任務中，針對三種常見模型進行比較：

- (1) 多層感知器 (MLP, Multi-Layer Perceptron)
- (2) 支援向量機 (SVM, Support Vector Machine)
- (3) K-Means 分群 (K-Means Clustering)

比較指標主要包括辨識準確率與推論延遲 (inference latency)。實驗結果顯示：

- (1) MLP 在保持高準確率的前提下，推論延遲最低，單張影像處理時間約 2 毫秒。
- (2) SVM 與 K-Means 雖能完成分類或聚類，但延遲相對較高，不適合即時應用場景。

基於以上考量，本研究最終選擇 MLP 作為主要辨識模型，以兼顧準確性與即時性需求。

## 4.2 研究對象

本研究因製作時間較緊湊，擬以組員全體作為受試者，並符合以下條件：

- (1) 年齡範圍：考量研究目標涵蓋一般 3C 族群，年齡設定為 20~25 歲者。
- (2) 慣用手：具備使用雙手進行遊戲操作的能力。



(3) 排除條件：排除患有嚴重神經系統疾病（如中重度失智症）、上肢嚴重肢體障礙、或聽覺/視覺嚴重受損且無法矯正之受試者。

(4) 自願參與：受試者須自願並知曉實驗數據用途後，願意依照個人意願參與完整實驗，並提供本研究相關資訊供研究分析。

### 4.3 系統畫面

啟動系統後，如圖 4.1 所示。

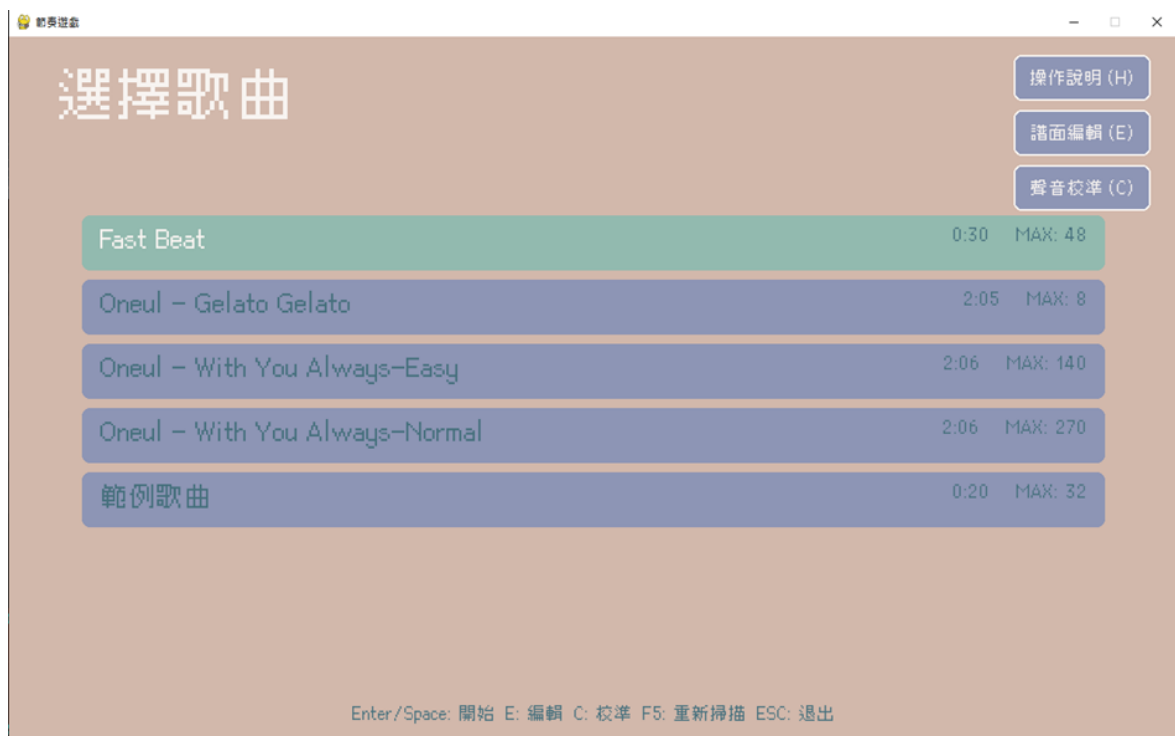


圖 4.1 選擇歌曲主目錄

遊戲畫面，如圖 4.2 所示。

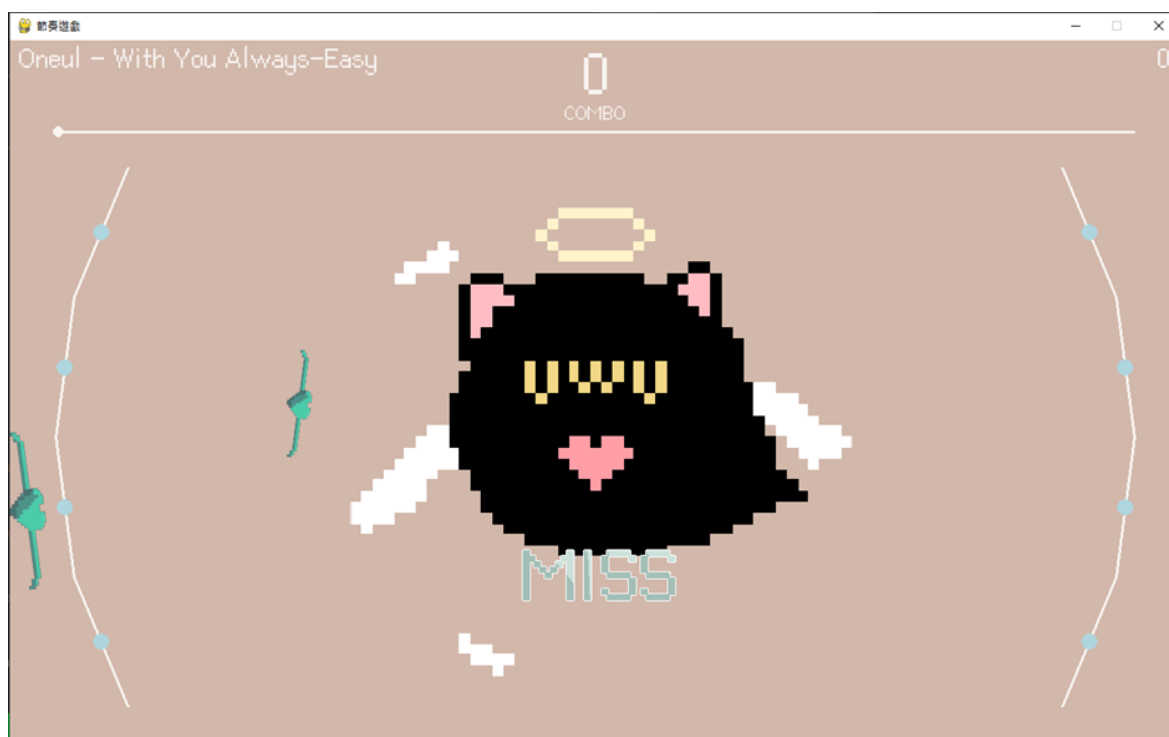


圖 4.2 遊戲畫面

視覺化譜面編輯器，如圖 4.3 所示。

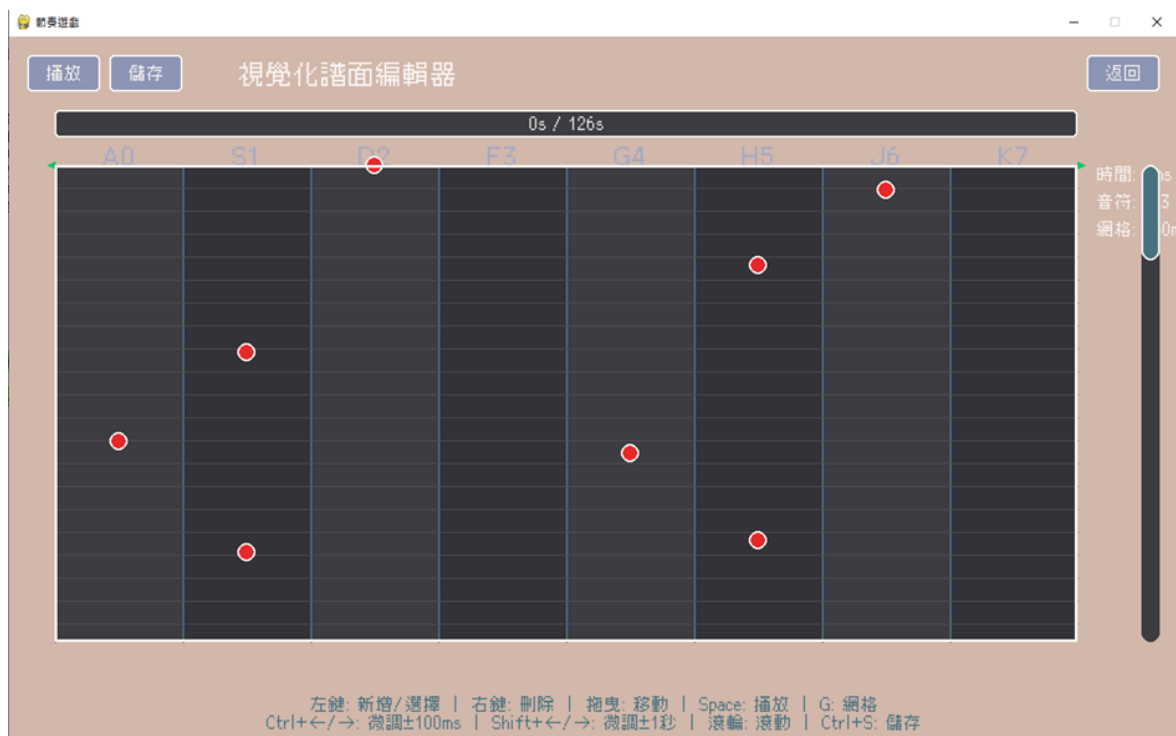


圖 4.3 視覺化譜面編輯器

遊戲結算畫面，如圖 4.4 所示。



圖 4.4 遊戲結算畫面

音樂遊戲畫面設計，如圖 4.5 所示。

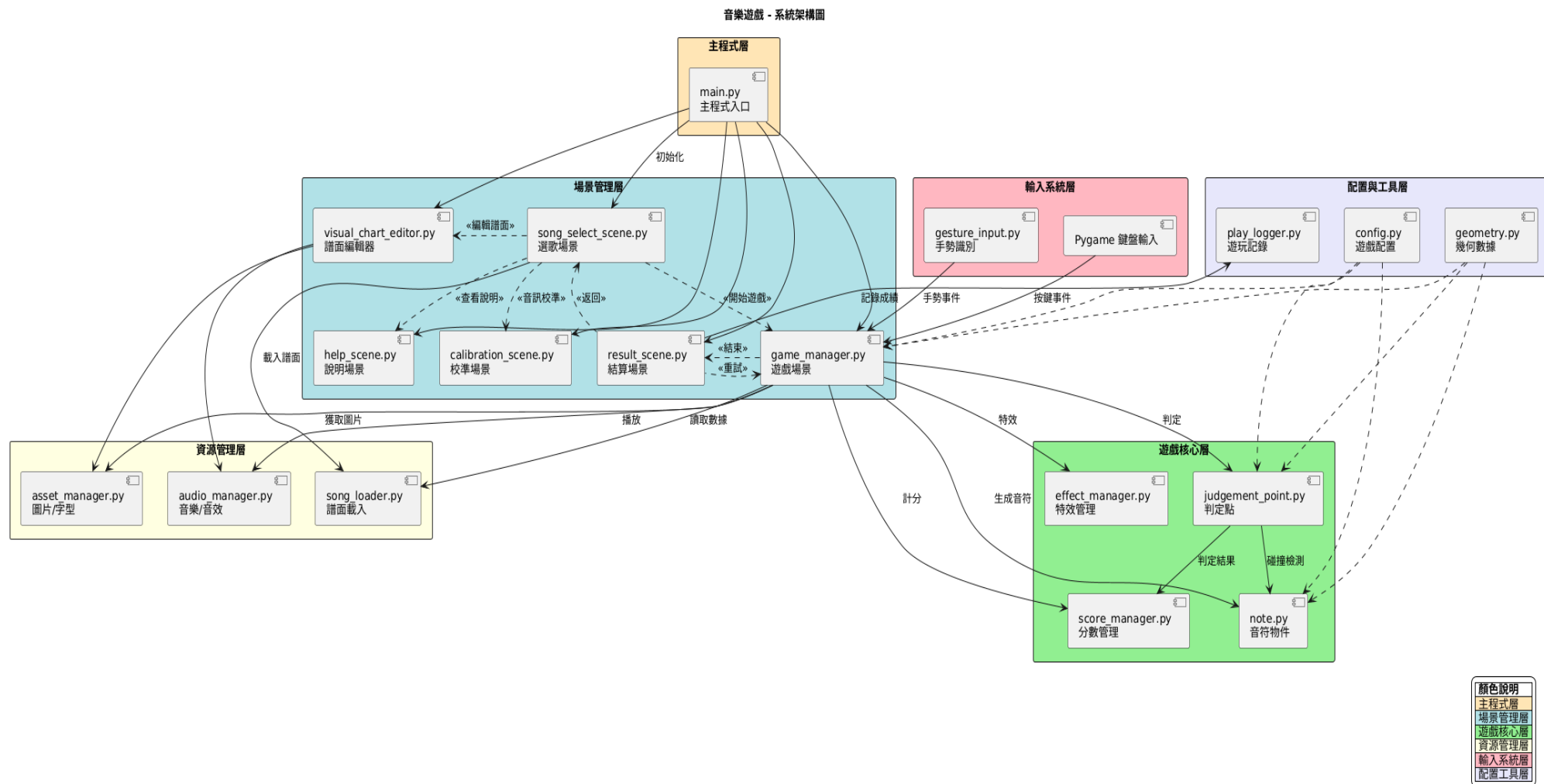


圖 4.5 音樂遊戲畫面設計

(A) 準確率PERECT (B)準確率GREAT (C)準確率GOOD (D)準確率BAD (E)準確率MISS (F)音符 (G)主視覺1 (H)主視覺2。

4.4 系統架構圖

系統架構圖，如圖 4.6 所示。



組件依賴圖，如圖 4.7 所示。

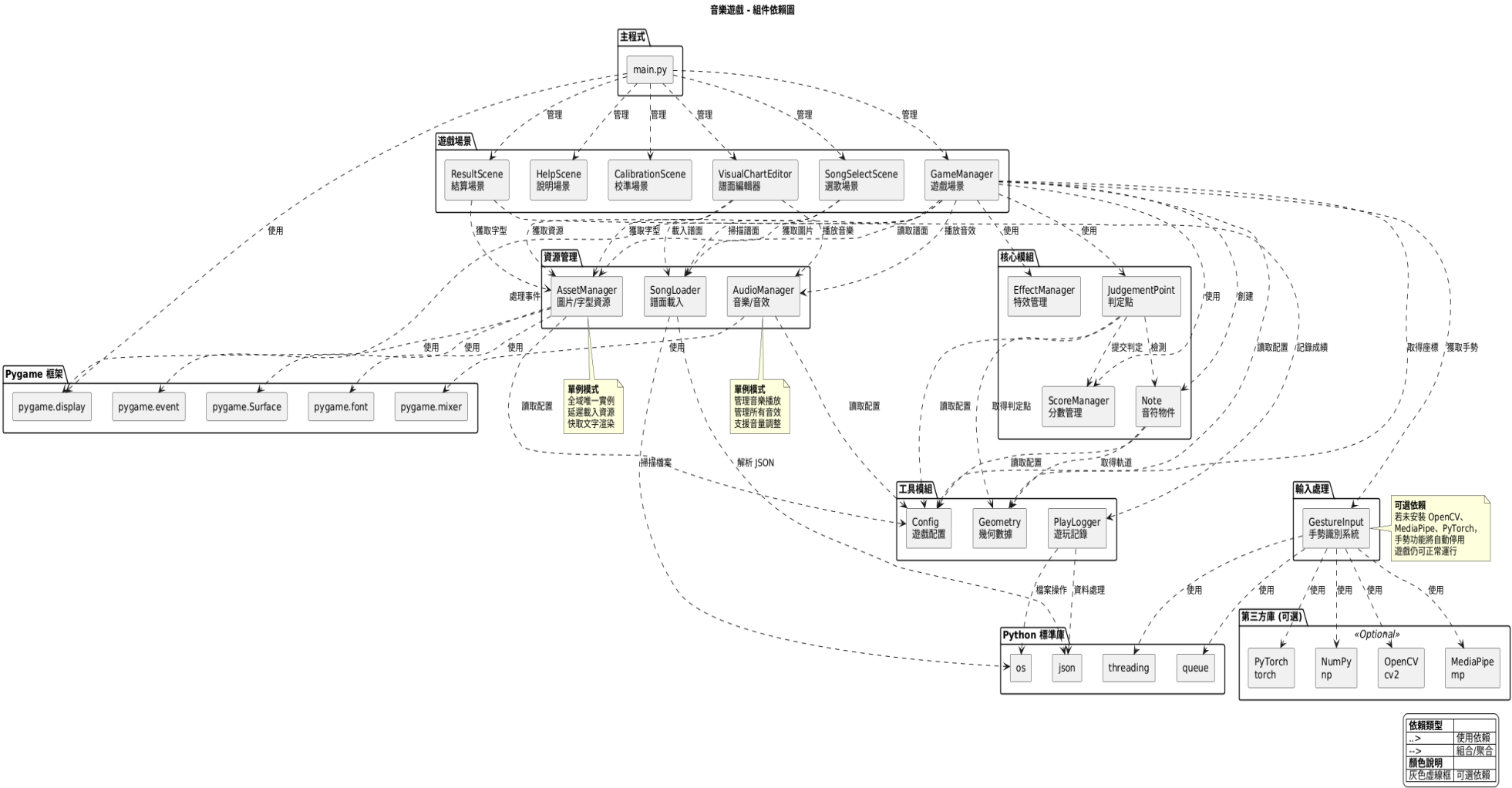


圖 4.7 組件依賴圖

狀態轉換圖，如圖 4.8 所示。

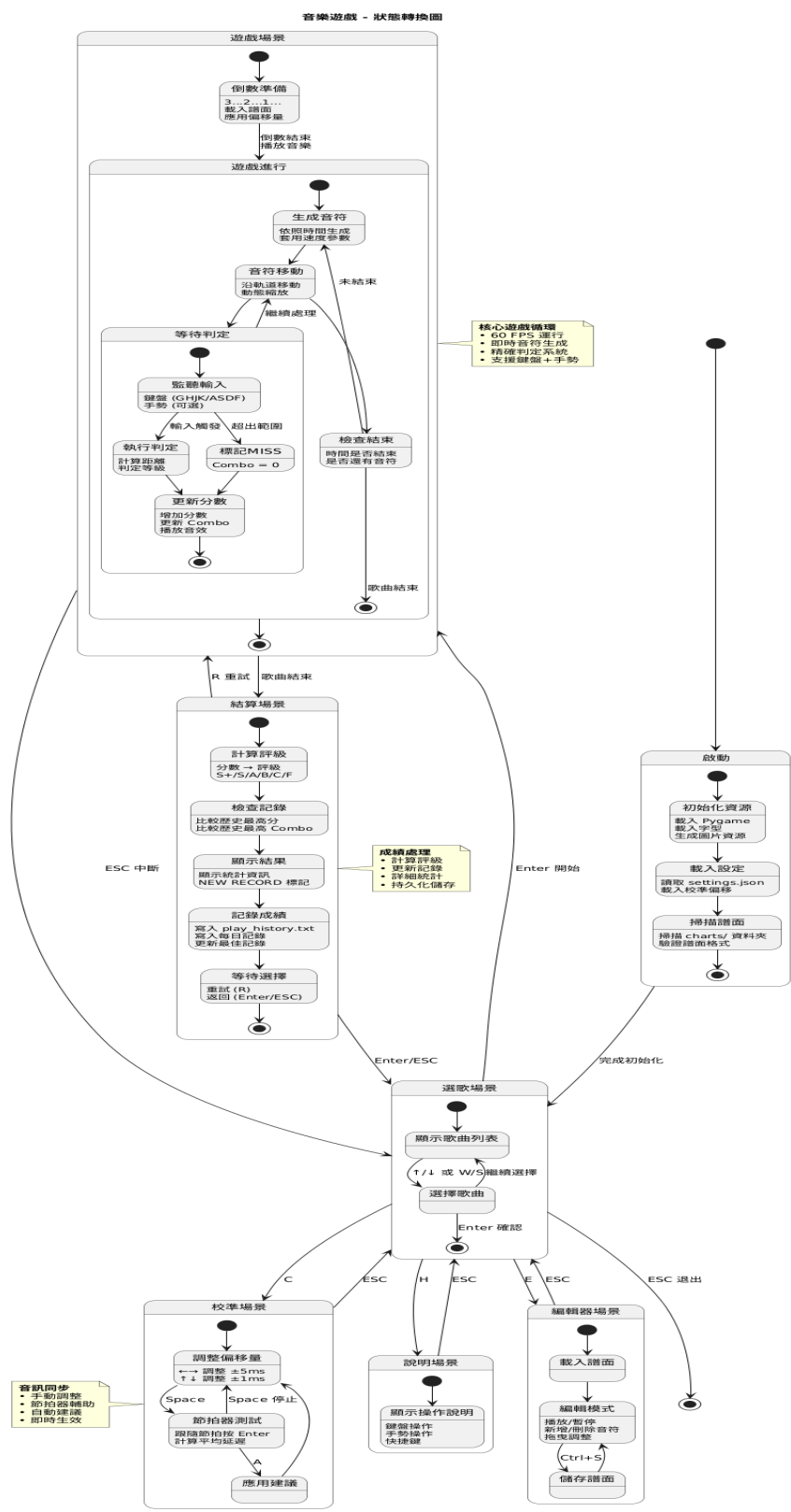


圖 4.8 狀態轉換圖

使用者流程圖，如圖 4.9 所示。

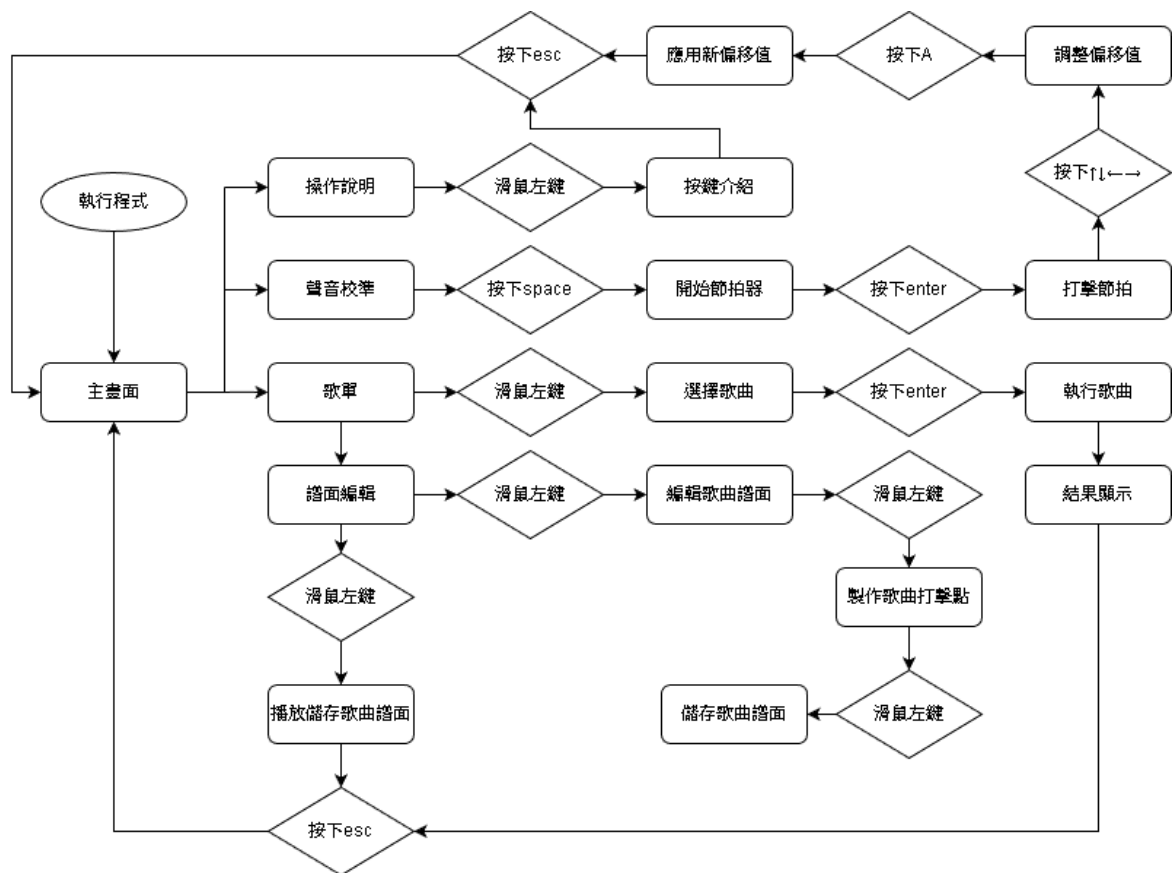


圖 4.9 使用者流程圖



## 4.5 實驗研究

第一次實驗，如表 4.2 所示。

表 4.2 第一次實驗 (2025/11/06)

受試者	吳少鈞	陳政宏	李昀禧	陳心惟	張文玄	謝易修
分數 (/1,000,000)	473,352	603,150	451,010	472,300	518,579	578,685
準確率 (%)	47.34	60.31	45.1	47.23	51.86	57.87
最大連擊	7	17	8	6	13	15
PERFECT (次/%)	38 (20.2%)	69 (36.7%)	25 (13.3%)	43 (22.9%)	53 (28.2%)	62 (33.0%)
GREAT (次/%)	34 (18.1%)	35 (18.6%)	43 (22.9%)	36 (19.1%)	40 (21.3%)	41 (21.8%)
GOOD (次/%)	42 (22.3%)	32 (17.0%)	46 (24.5%)	32 (17.0%)	23 (12.2%)	28 (14.9%)
BAD (次/%)	14 (7.4%)	2 (1.1%)	12 (6.4%)	5 (2.7%)	5 (2.7%)	0 (0.0%)
MISS (次/%)	20 (10.6%)	10 (5.3%)	22 (11.7%)	32 (17.0%)	27 (14.4%)	17 (9.0%)

前測整體平均準確率約為 51.9%，平均分數為 518,667 分，平均最大連擊為 11.7 次。

陳政宏同學獲得最高分（603,150分）與最高準確率（60.31%），其 PERFECT 達 36.7%。

整體 BAD 平均約 3.4%，MISS 平均約 12.6%。

MISS 比例偏高顯示仍有節奏延遲現象，推測與手勢感應延遲及反應時間有關。

第二次實驗，如表 4.3 所示。

表 4.3 第二次實驗 (2025/11/13)

受試者	吳少鈞	陳政宏	李昀禧	陳心惟	張文玄	謝易修
分數 (/1,000,000)	521,240	670,703	462,175	578,685	491,455	580,813
準確率 (%)	63.3	76.1	64.4	67.6	57.4	69.7
最大連擊	12	22	5	14	11	15
PERFECT (次/%)	55 (29.3%)	28 (14.9%)	24 (12.8%)	62 (33.0%)	55 (29.3%)	61 (32.4%)
GREAT (次/%)	37 (19.7%)	45 (23.9%)	40 (21.3%)	43 (22.9%)	31 (16.5%)	45 (23.9%)
GOOD (次/%)	26 (13.8%)	23 (12.2%)	57 (30.3%)	24 (12.8%)	24 (12.8%)	24 (12.8%)
BAD (次/%)	2 (1.1%)	3 (1.6%)	12 (6.4%)	2 (1.1%)	3 (1.6%)	1 (0.5%)
MISS (次/%)	28 (14.9%)	15 (8.0%)	15 (8.0%)	17 (9.0%)	27 (14.4%)	35 (18.6%)

第二次測試的目的在於觀察短期練習後的改善狀況。

整體平均準確率約為 66.01%，平均分數為 550,179 分，平均最大連擊為 13.17 次。整體 BAD 平均約 3.83%，MISS 平均約 21.17%。

雖然平均 MISS 比第一次增加，但是在第二次測試開始嘗試更積極、更快的節奏，依這種「明顯進步」代表訓練模式對部分受試者的效果相當顯著。

第三次實驗，如表 4.4 所示。

表 4.4 第三次實驗 (2025/11/20)

受試者	吳少鈞	陳政宏	李昀禧	陳心惟	張文玄	謝易修
分數 (/1,000,000)	541,451	560,066	588,253	512,354	548,367	627,086
準確率 (%)	65.43	67.55	72.87	66.49	64.36	73.94
最大連擊	14	14	13	8	8	17
PERFECT (次/%)	54 (28.7%)	56 (29.8%)	60 (31.9%)	46 (24.5%)	59 (31.4%)	65 (34.6%)
GREAT (次/%)	42 (22.3%)	44 (23.4%)	41 (21.8%)	36 (19.1%)	39 (20.7%)	51 (27.1%)
GOOD (次/%)	28 (14.9%)	27 (14.4%)	34 (18.1%)	44 (23.4%)	25 (13.3%)	23 (12.2%)
BAD (次/%)	1 (0.5%)	3 (1.6%)	4 (2.1%)	8 (4.3%)	2 (1.1%)	3 (1.6%)
MISS (次/%)	23 (12.2%)	18 (9.6%)	9 (4.8%)	14 (7.4%)	39 (20.7%)	6 (3.2%)

第三次測試為訓練周期的最終驗收，主要分析視覺/動作同步能力是否成熟、反應速度是否提高、錯誤率是否下降、是否能維持穩定表現。

整體平均準確率約為 68.43%，平均分數為 564,763 分，平均最大連擊為 12.33 次。整體 BAD 平均約 3.5%，MISS 平均約 18.17%。

第三次測試中發現多數受試者的準確率再次提升，BAD 與 MISS 下降，PERFECT 比例提升最為明顯。

受試者完整實驗結果對比圖，如表 4.5 所示，結果發現經過訓練全員準確率皆大幅提升。

表 4.5 受試者完整實驗結果對比圖

受試者		吳少鈞			
前測		介入訓練		後測	
分數 (/1,000,000)	473,352	分數 (/1,000,000)	521,240	分數 (/1,000,000)	541,451
準確率 (%)	47.34	準確率 (%)	63.3	準確率 (%)	65.43
受試者		陳政宏			
前測		介入訓練		後測	
分數 (/1,000,000)	603,150	分數 (/1,000,000)	670,703	分數 (/1,000,000)	560,066
準確率 (%)	60.31%	準確率 (%)	76.1%	準確率 (%)	67.55%
受試者		李昀禧			
前測		介入訓練		後測	
分數 (/1,000,000)	451,010	分數 (/1,000,000)	462,175	分數 (/1,000,000)	588,253
準確率 (%)	45.1%	準確率 (%)	64.4%	準確率 (%)	72.87%
受試者		陳心惟			
前測		介入訓練		後測	
分數 (/1,000,000)	472,300	分數 (/1,000,000)	578,685	分數 (/1,000,000)	512,354
準確率 (%)	47.23%	準確率 (%)	67.6%	準確率 (%)	66.49%
受試者		張文玄			
前測		介入訓練		後測	
分數 (/1,000,000)	518,579	分數 (/1,000,000)	491,455	分數 (/1,000,000)	548,367
準確率 (%)	51.86%	準確率 (%)	57.4%	準確率 (%)	64.36%
受試者		謝易修			
前測		介入訓練		後測	
分數 (/1,000,000)	578,685	分數 (/1,000,000)	580,813	分數 (/1,000,000)	627,086
準確率 (%)	57.87%	準確率 (%)	69.7%	準確率 (%)	73.94%

## 第五章 結論

本研究以 MediaPipe 影像辨識技術建構手部動作節奏互動遊戲，旨在驗證其作為非藥物介入（NPI）工具，對反應速度、手眼協調以及專注力之成效。透過為期兩週、共三次量化測試的前後比較，研究結果顯示本系統確實能有效促進使用者的節奏反應能力與動作準確性。

### 5.1 研究成果

本研究針對 1.3 小節之研究目的，三項達成的狀況如下：

依據實驗方法建構基於影像捕捉技術的手勢音樂節奏互動遊戲系統，並用其完成完整測試。

在三階段測試中，受試者整體準確率由前測平均 51.9% 持續提升至第二次測試的 66.01%，並在最終測試達到 68.43%，呈現穩定向上之改善趨勢。最大連擊、PERFECT 打擊率亦逐步提升，顯示使用者在節奏掌握、手部控制與視覺同步上更加熟練。雖部分受試者於第二次測試中 MISS 比例上升，但此現象推測與受試者嘗試更快速或更積極的輸入策略有關，代表其訓練動機與投入度增加，而最終測試中已觀察到 MISS 與 BAD 類型明顯下降，證明使用者已逐漸掌握適當節奏與手勢控制，並提升專注力與反應速度。

整體而言，研究證實本研究提出的「手部動作 × 音樂節奏 × 多感官整合」之混合訓練模式具實際成效。影像辨識方式成本低、操作簡易，可有效降低傳統復健

工具與 VR 裝置的門檻，提升廣泛使用 3C 產品的群體可接觸性。透過音樂節奏回饋與遊戲化設計，能誘發使用者的持續參與意願，並同時活化運動皮質、前額葉與聽覺皮質，達到多重神經協同刺激的效果。

## 5.2 未來展望

本研究的成果顯示，此系統除可作為一般使用者提升反應與注意力之工具外，也具備推展至高齡者、認知衰退族群或精細動作復健領域之潛力。未來建議可增加更大型樣本、不同年齡層與臨床族群測試，並擴展更多手勢類型、動作難度或長期追蹤，以驗證其在認知提升與神經可塑性上的更大應用可能性。

## 參考文獻

### [中文文獻]

白麗. (2018). 為失智症患者設計之 [嚴肅遊戲]-可行性與治療效果的評估. 福祉科技與服務管理學刊, 6(1).

林佩儒, & 柯志欣. (2009). 線上音樂遊戲對音樂學習與節奏感提升成效之研究. 屏東教育大學學報-教育類, (3), 37-67.

洪麗珍, 陳怡慧, 周建文, & 何政峰. (2025). 體感式電玩遊戲與傳統實體遊戲介入對提升粗動作發展遲緩兒童動作能力之成效. 特殊教育發展期刊, (9), 1-23.

高薇淇, 郭麗敏, & 莊宇慧. (2019). 淺談失智症遊戲. 護理雜誌, 66(1), 101-106.

### [英文文獻]

Amin, F., Waris, A., Syed, S., Amjad, I., Umar, M., Iqbal, J., & Gilani, S. O. (2024). Effectiveness of immersive virtual reality-based hand rehabilitation games for improving hand motor functions in subacute stroke patients. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 32, 2060-2069.

Anguera, J. A., Boccanfuso, J., Rintoul, J. L., Al-Hashimi, O., Faraji, F., Janowich, J., ... & Gazzaley, A. (2013). Video game training enhances cognitive control in older adults. Nature, 501(7465), 97-101.

Bressler, M., Merk, J., Gohlke, T., Kayali, F., Daigeler, A., Kolbensschlag, J., & Prahm, C.

- (2024). A virtual reality serious game for the rehabilitation of hand and finger function: iterative development and suitability study. *JMIR Serious Games*, 12, e54193.
- Effectiveness of immersive virtual reality-based hand rehabilitation games for improving hand motor functions in subacute stroke patients. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 32, 2060-2069.
- Ishibashi, G. A., Dos Santos, G., Moreira, A. P. B., Verga, C. E. R., da Silva, G. A., Ordonez, T. N., ... & da Silva, T. B. L. (2023). Effects of cognitive interventions with video games on cognition in healthy elderly people: a systematic review. *Arquivos de neuro-psiquiatria*, 81(05), 484-491.
- Kwan, R. Y. C., Liu, J. Y. W., Fong, K. N. K., Qin, J., Leung, P. K. Y., Sin, O. S. K., ... & Lai, C. K. (2021). Feasibility and effects of virtual reality motor-cognitive training in community-dwelling older people with cognitive frailty: pilot randomized controlled trial. *JMIR serious games*, 9(3), e28400.
- Liu, J., & Shi, H. (2023). Finger exercise effects on cognitive functions in older adults with MCI/AD/dementia: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Brain Behavior and Immunity Integrative*, 4, 100034.
- Malhi, G. S., Mann, J. J., & et al. (2021). Cognitive impairment in bipolar disorder: Mechanisms and clinical implications. *Bipolar Disorders*, 23(7), 741–756.
- United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2023).



World Population Ageing 2023: Challenges and opportunities of population ageing in the least developed countries. UN DESA/POP/2023/TR/NO.5.

Wood, W., & R  nger, D. (2016). Psychology of habit. *Annual review of psychology*, 67(1), 289-314.