

可應用於軍事上之手勢及語音辨識技術研究

作者／李蒼昱少校

提要

- 一、本文提出基於視覺之動態手勢辨識技術，不需要特殊硬體的輔助，並結合既有語音辨識技術，可輕易且方便操控虛擬物件。
- 二、互動式擴增實境技術，可用在軍事相關應用，例如教育訓練、裝備控制、指令(命令)下達等等用途。
- 三、研究成果能應用在兵棋操控，改善現今電腦兵棋系統需手動輸入繁複位置參數之缺點。可藉由動態手勢方便地移動、旋轉及縮放三維物件，進而下達作戰命令，亦可應用在國軍高危險性作業機械手臂遠端控制，降低人員作業危安。

關鍵詞：動態手勢辨識，語音辨識應用，擴增實境平台，人機介面。

前言

本文提出基於視覺之動態手勢辨識技術，不需要特殊硬體的輔助(裸手手勢)，並結合既有擴增實境技術，可因地制宜修改，輕易用於直覺且即時性之操控。

手勢資訊主要包括「形狀(Shape)、位置(Position)、方向(Orientation)及運動(Movement)」¹四要素，結合此四項要素，手勢不僅可以表達單一概念，還可組合成另一個具有意義的動態手勢(Dynamic Hand Gesture)。本文首先擷取手部區域，接著擷取指尖位置、手指支數、手勢方向等特徵，以辨識靜態手勢。最後結合狀態資訊及手勢變動資訊，辨識出移動、旋轉及縮放等動態手勢變動資訊，分析各個靜態手勢資訊，組合成正確且具完整意義之動態手勢。

此外，手勢辨識技術可用在軍事相關應用，例如教育訓練、裝備控制、指令(命令)下達等等用途，相關應用概述如後：

一、教學訓練方面

可運用在戰術、裝備維保及裝備操作等教學與訓練模擬器上，以身歷其境的環境，誘發學習者的興趣，增加學習成效。

二、裝備控制方面

國軍高危險性作業機械手臂遠端控制，如彈藥庫彈整所未爆彈處理之機械手臂等

¹ Kelly, Daniel, McDonald, John and Markham, Charles, "A person independent system for recognition of hand postures used in sign language, Pattern Recognition Letters," Vol.3, 2010, pp.11359-1368.

裝備操作，可降低人員作業傷亡。

三、指令(命令)下達

可運用在兵棋操控系統，改善現今電腦兵棋系統需手動輸入繁複位置參數。藉由動態手勢方便地移動位置、定位，進而下達作戰命令。

原理說明

一、手勢辨識運用

為了讓擴增實境更富互動性，基本上以採用標記輔助及特殊硬體輔助等兩類方法，用來輔助事件或腳本的觸發，透過與使用者之間的交互過程，達到更為生動的互動過程，以下列舉兩個手勢辨識技術在學術上的運用。

在 2005 年紐西蘭坎特伯里大學 Trond Nilsen 及 Julian Looser 等人，²設計出可 2 人以上同時操作使用的擴增實境坦克大戰遊戲(如圖一)，這項技術若引進至軍方，可用至戰術兵棋推演或教學使用。

圖一 擴增實境坦克大戰遊戲



資料來源：Nilsen, T., and Looser, J., Tankwar Tabletop war gaming in augmented reality, In Proceedings of 2nd International Workshop on Pervasive Gaming Applications, 2005, p.5.

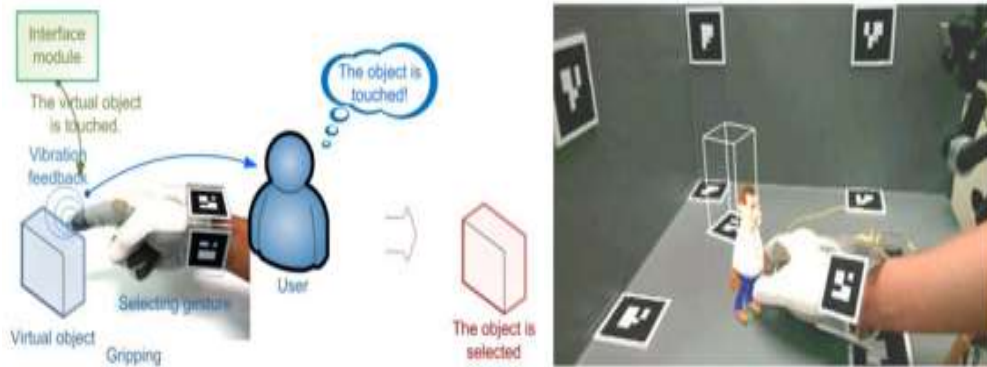
2010 年 Lee 等人³利用接觸式的電子手套(Pinch Glove)在混合實境(Mixed Reality, MR)及擴增實境(Augmented Reality, AR)的環境中，操縱虛擬物件。(如圖二)

鑒於軟硬體技術的進步，前述方式利用特殊硬體或利用標記的觸發，在 AR 環境下達到互動目的，但也相對的產生了實用上的困擾，除了特殊硬體取得及攜帶的困擾外，多標記的互動方式亦需學習或了解各標記的功能後方能夠運用；在實際應用面，希望能使用更靈巧且方便的媒介，擺脫特定硬體(含標記)的輔助，而「基於視覺技術的手勢」及「語音辨識」就是直觀，且很好的操控媒介。

² Nilsen, T. and Looser, J., "Tankwar Tabletop war gaming in augmented reality," In Proceedings of 2nd International Workshop on Pervasive Gaming Applications, 2005, p.5.

³ Lee, J. Y., Gue W. R. and Seo, D. W., "Hand gesture-based tangible interactions for manipulating virtual objects in a mixed reality environment," Int J Adv Manuf Technol, Vol.51, 2010, pp.1069-1082.

圖二 電子手套於擴增實境的運用



資料來源：Lee, J. Y., Gue W. R., and Seo, D. W., “Hand gesture-based tangible interactions for manipulating virtual objects in a mixed reality environment,” *Int J Adv Manuf Technol*, Vol.51, 2010, pp.1069-1082.

二、手勢辨識相關技術分析

手勢對人們而言是直覺且方便運用的，在資訊科技尚未普及前，用於人與人之間訊息與情感的傳達。在目前資訊科技普及的情況下，也將是現今人機介面的關鍵技術之一，故很多研究人員朝向手勢辨識的領域發展。

手部區域資訊取得方式大致可分為兩類，一類是用特殊硬體輔助，如採用資料手套(電子手套等)、特殊影像擷取器等方式取得手部訊息。另一類則是以視覺技術的方式取得手部訊息，相關研究分述如後：

(一)利用輔助設備之手勢辨識相關研究

Malassiotis 及 Strintzis⁴利用新型 3D 的感測器(Novel 3D Sensor)取得有深度的手部訊息。(如圖三)

圖三 Novel 3D Sensor 取出手部區域圖



(a)條紋圖像(算深度) (b)真實影像 (c)具深度的手勢影像

資料來源：Malassiotis, S., and Strintzis, M.G., “Real-time hand posture recognition using range data,” *Image and Vision Computing*, Vol.26, 2008, pp.1027-1037.

⁴ Malassiotis, S. and Strintzis, M.G., “Real-time hand posture recognition using range data,” *Image and Vision Computing*, Vol.26, 2008, pp.102-1037.

Ramirez-Cortes 等人⁵為了提升手掌辨識率，直接用商用掃描機取得手部區域，取得手掌區域影像。(如圖四)

圖四 商用掃描機取得手部區域圖



資料來源：Juan, Manuel Ramirez-Cortes, Pilar, Gomez-Gil, Gabriel, Sanchez-Perez, and Cesar Prieto-Castro, Shape-based hand recognition approach using the morphological pattern spectrum, Journal of Electronic Imaging, Vol.18, No.1, 2009, pp.013012-1-013012-6.

Cheng 及 Trivedi⁶提出的車上異常行為偵測，利用可見光及近紅外線(陣列)來識別手部資訊(針對特別區域)，其硬體裝置如圖五。

圖五 結合可見光及近紅外線設備



資料來源：Cheng, Shinko Y., and Trivedi, Mohan M., Vision-Based Infotainment User Determination by Hand Recognition for Driver Assistance, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.11, No.3, September 2010, pp.759-764.

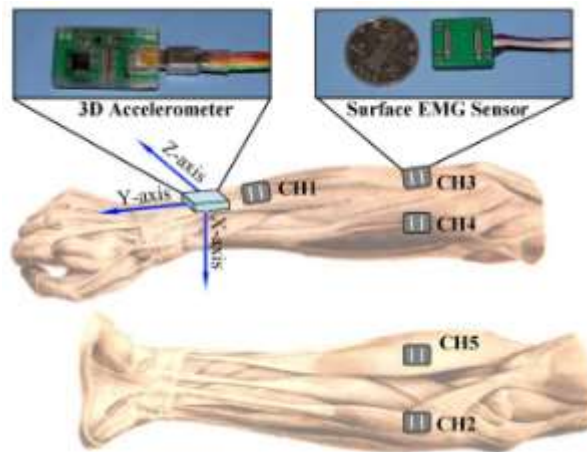
Zhang 等人⁷利用類似電子手套的裝置，來擷取手部的運動、動作等資訊，裝置如圖六。

⁵ Juan, Manuel Ramirez-Cortes, Pilar, Gomez-Gil, Gabriel, Sanchez-Perez and Cesar Prieto-Castro, "Shape-based hand recognition approach using the morphological pattern spectrum," Journal of Electronic Imaging, Vol.18, No.1, 2009, pp.013012-1-013012-6.

⁶ Cheng, Shinko Y. and Trivedi, Mohan M., "Vision-Based Infotainment User Determination by Hand Recognition for Driver Assistance," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.11, No.3, September 2010, pp.759-764.

⁷ Zhang, X., Chen, X., Li, Y., Lantz V., Wang K. and Yang J., "A Framework for Hand Gesture Recognition Based on Accelerometer and EMG Sensors," IEEE transactions on systems, man, and cybernetics-part a: systems and humans, vol.41, no.6, 2011, pp.1064-1067.

圖六 EMG 電子手套



資料來源：Zhang, X., Chen, X., Li, Y., Lantz V., Wang K. and Yang J., “A Framework for Hand Gesture Recognition Based on Accelerometer and EMG Sensors ,IEEE transactions on systems, man, and cybernetics-part a: systems and humans, vol.41, no.6, 2011, pp.1064-1067.

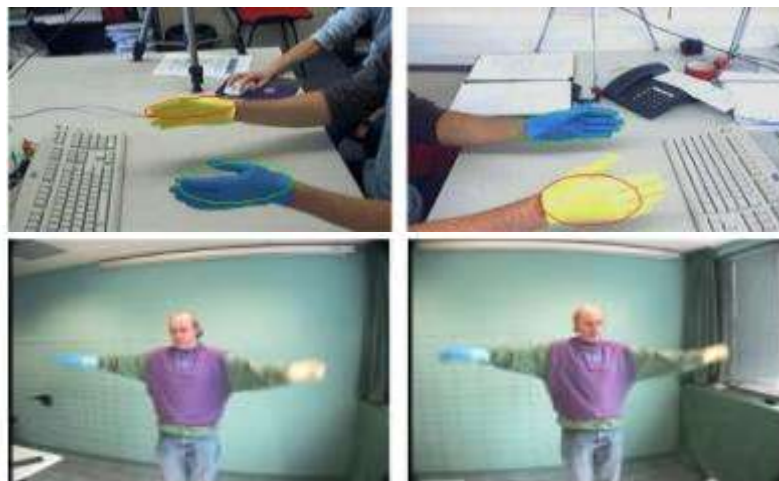
(二)利用視覺技術之手勢辨識相關研究

以視覺技術方式取得手部區域，進而辨識手勢之方法可分為兩大類，其一為手部增加色彩標記方式，另一種則為透過膚色偵測等技術之裸手手勢辨識，分述如後：

1. 彩色標記

Just 及 Marcel⁸使用彩色標記，在手上配戴顏色標記(色彩手套)，協助手部區域取得。(如圖七)

圖七 色彩手套輔助手部取得圖



資料來源：Zhang, X., Chen, X., Li, Y., Lantz V., Wang K. and Yang J., “A Framework for Hand Gesture Recognition Based on Accelerometer and EMG Sensors,” IEEE transactions on systems, man, and cybernetics-part a: systems and humans, vol.41, no.6, 2011, pp.1064-1067.

⁸ Just, A. and Marcel, S., “A comparative study of two state-of-the-art sequence processing techniques for handgesture recognition, Computer Vision and Image Understanding,” Vol.113, 2009, pp.532-543.

2. 裸手手勢辨識

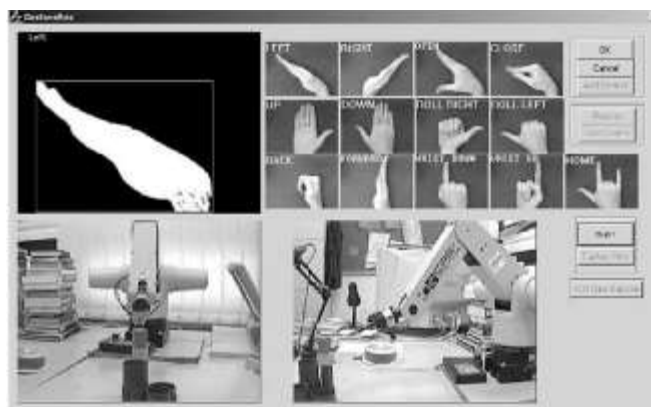
Ionescu 等人將手勢分為靜態手勢(Static Gestures)及動態手勢(Dynamic Gestures)兩大類別，⁹並運用手部區域的骨架集合來判斷手勢；Just 及 Marcely 提出動態手勢的概念；¹⁰Kelly 等人¹¹提出手的姿勢可以作為特殊的過渡態(Transition States)，而多個過渡態可以組合成特殊的意義之概念，並將此概念用於人類手語之辨識。

結合前述概念，本文將裸手手勢區分為靜態手勢及動態手勢兩種分類；而就辨識區域的不同，還可再細分為手臂手勢與手掌手勢。換句話說，手勢以類別來區分可分為靜態與動態手勢，而又因為觀察的區域區分為手臂與手掌手勢，相關研究分述如後：

(1) 靜態手掌手勢辨識

Ionescu 等人¹²利用靜態手掌手勢辨識後的結果，來操控機械手臂。(如圖八)

圖八 靜態手掌手勢辨識圖



資料來源：Wachs, J. P., Stern, H., Edan, Y., Cluster Labeling and Parameter Estimation for the Automated Setup of a Hand-Gesture Recognition System, IEEE transactions on systems, man, and cybernetics-part a: systems and humans, vol.35, no.6, November 2005, pp.932-943.

Huang 及 Hu¹³利用 Gabor Filter 的特性將手掌的角度做適當調整，即讓所有手勢都調整至單一方向，如此可減少模板數目，以增加比對時的效率，並且有提升手勢辨識率的效果。這也點出了，手勢的方向對手勢辨識有其關聯與助益。

Yin 以及 Xie¹⁴利用 RCE(Restricted Coulomb Energy)類神經網路以及 $L^*a^*b^*$ 色彩空

⁹ Ionescu, B., Coquin D., Lambert, P. and Buzuloiu V., "Dynamic Hand Gesture Recognition Using the Skeleton of the Hand," EURASIP Journal on Applied Signal Processing, Vol.13,2005, pp.2101-2109.

¹⁰ Just, A. and Marcel, S., "A comparative study of two state-of-the-art sequence processing techniques for hand gesture recognition, Computer Vision and Image Understanding," Vol.113, 2009, p.532-543.

¹¹ Kelly, Daniel, McDonald, John and Markham, Charles, "A person independent system for recognition of hand postures used in sign language, Pattern Recognition Letters," Vol.3, 2010, pp.11359-1368.

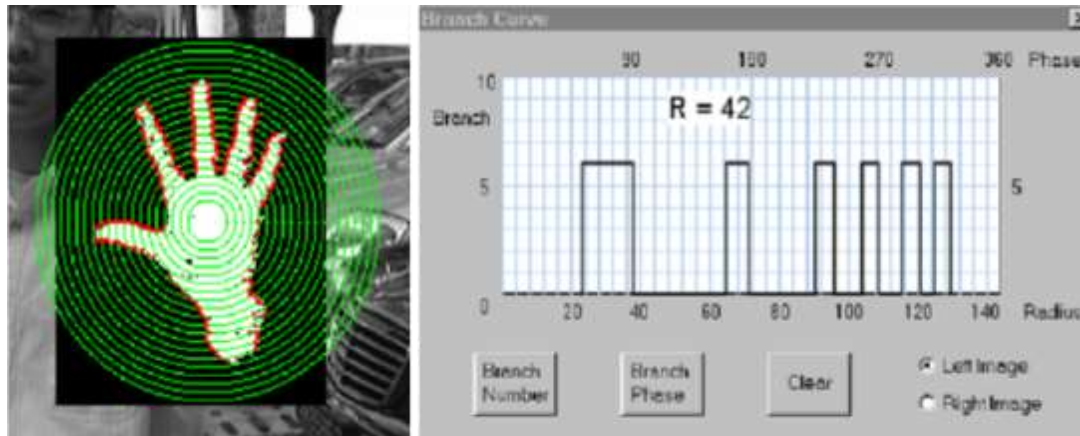
¹² Wachs, J. P., Stern, H., Edan, Y., "Cluster Labeling and Parameter Estimation for the Automated Setup of a Hand-Gesture Recognition System," IEEE transactions on systems, man, and cybernetics-part a: systems and humans, vol.35, no.6, November 2005, pp.932-943.

¹³ Huang, Deng-Yuan, Hu, Wu-Chih and Chang, Sung-Hsiang, "Gabor filter-based hand-pose angle estimation for hand gesture recognition under varying illumination," Expert Systems with Applications, Vol.38, 2011, pp.6031-6042.

¹⁴ Yin, X. and Xie, M., "Finger identification and hand posture recognition for human-robot interaction," Image and Vision Computing, no.6, 2007, pp.1291-1300.

間，切割出手部膚色區域之二值化影像，找出像素值變化之位置點當做特徵點，利用此特徵點計算手指支數(或分支數目)(Branch Number, BN)，以及分支相位(Branch Phase)。作者並利用該特徵定義八種手勢來控制機器人具六個軸承手臂之活動。(如圖九)

圖九 靜態手掌手勢辨識圖



資料來源：Yin, X. and Xie, M., “Finger identification and hand posture recognition for human-robot interaction,” Image and Vision Computing, no.6, 2007, pp.1291-1300.

Luca¹⁵利用凸包(Convex Hull)的特性，即時且直覺地計算手指支數，如圖十。但該方法僅是初步的手勢辨識方式，例如該方法僅對單一方向之手勢有效且無進一步擷取指尖座標的機制。

圖十 靜態手掌手勢辨識圖



資料來源：“Emgu CV Hand Gestures Recognition Advanced Tutorial,” <http://db.tt/GkT6J9k>, <http://blogs.ugidotnet.org/wetblog/Default.aspx>, 2017/10/20.

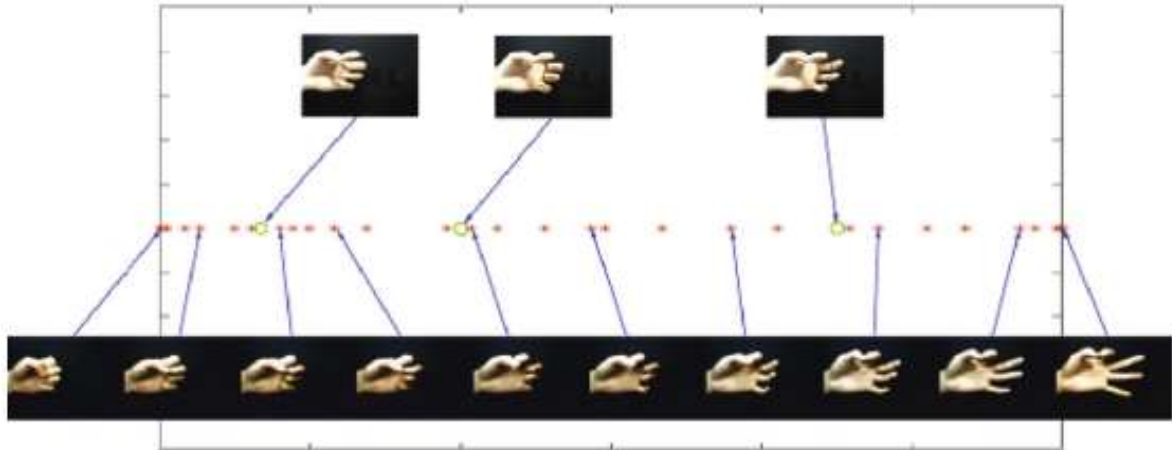
手勢辨識研究領域中，部分的研究以模板比對(Match Template)的方式來判斷手勢，如 Ge 等人¹⁶、Huang 及 Hu¹⁷(模板比對如圖十一)，但判別的手勢必須有一定的差異性，否則正確率將偏低。另一方面，要辨識複雜手勢必須增加其模版樣本數目或多個資料庫比對，比對時將花費更多的計算時間，較不利即時系統。

¹⁵ “Emgu CV Hand Gestures Recognition Advanced Tutorial,” <http://db.tt/GkT6J9k>, <http://blogs.ugidotnet.org/wetblog/Default.aspx>, 2017/10/20.

¹⁶ Yang, S.S., Ge, Y. and Lee, T.H., “Hand gesture recognition and tracking based on distributed locally linear embedding,” Image and Vision Computing, Vol.26, 2008, pp.1607-1620.

¹⁷ Huang, Deng-Yuan, Hu, Wu-Chih and Chang, Sung-Hsiang, “Gabor filter-based hand-pose angle estimation for hand gesture recognition under varying illumination”, Expert Systems with Applications, Vol.38, 2011, pp.6031-6042.

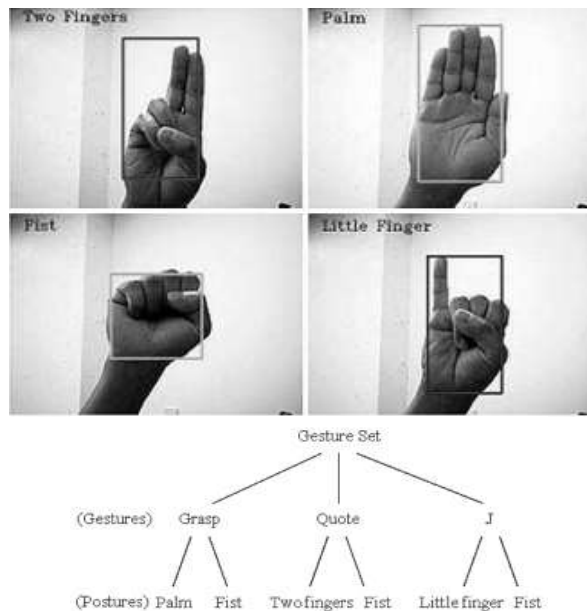
圖十一 模板比對圖



資料來源：Yang, S.S. ,Ge, Y. and Lee, T.H., “Hand gesture recognition and tracking based on distributed locally linear embedding,” Image and Vision Computing, Vol.26, 2008, pp.1607-1620.

也有部分研究使用學習的方式來做手勢的辨識，如 Chen 等人¹⁸、Cheng 及 Trivedi¹⁹，但使用 AdaBoost、SVM 等學習的方式辨識的準確度皆受樣本的影響甚鉅，且無法直接擷取手指位置等相關資訊，須結合其他方式獲取，圖十二是將手掌手勢作 AdaBoost 分類的圖。

圖十二 AdaBoost 分類圖



資料來源：Chen, Qing, Georganas, Nicolas D. and Petriu, Emil M., “Hand Gesture Recognition Using Haar-Like Features and a Stochastic Context-Free Grammar,” Image and Vision Computing, Vol.26, 2008, pp.1607-1620.

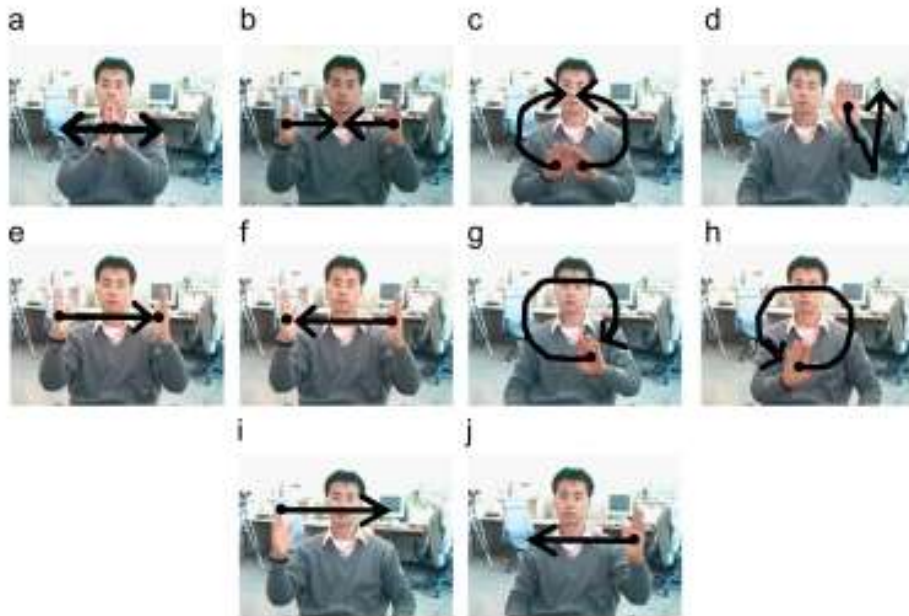
¹⁸ Chen, Qing, Georganas, Nicolas D. and Petriu, Emil M., “Hand Gesture Recognition Using Haar-Like Features and a Stochastic Context-Free Grammar,” Image and Vision Computing, Vol.26, 2008, pp.1607-1620.

¹⁹ Cheng, Shinko Y. and Trivedi, Mohan M., “Vision-Based Infotainment User Determination by Hand Recognition for Driver Assistance,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.11, No.3, September 2010, pp. 759-764.

(2)動態手臂手勢辨識

Suk 等人²⁰提出雙手動作及手臂與參考點間之手部分析，其手勢的定義圖十三(a)至(j)，利用雙手的動作組合出的手勢，但該論文未提及手勢辨識的起始與結束，不利於實際運用。例如，辨識圖十三(g)時，過程中手部軌跡有向左、右的動作，易誤判成圖十三(i)、(j)手勢，在辨識過程中容易有混淆的狀況。

圖十三 雙手手勢圖



資料來源：Suk, Heung-Il, Sin, Bong-Kee and Lee, Seong-Whan, “Hand gesture recognition based on dynamic Bayesian network framework, Pattern Recognition,” Vol.43, 2010, pp.3059-3072.

Ionescu 等人²¹提出將每個手臂手勢骨架疊加，將其組合解析為動態手勢，並分析其關係，以解讀手勢代表意義(如圖十四)；其中(a)為(c)圖骨架之集合，(b)為(d)圖骨架之集合。其辨識方法較不利於運用在即時系統上；該方法的優點在於這種完整手勢動作的分析概念，可以克服動態手勢辨識起始與結束的問題。

(3)動態手掌手勢辨識

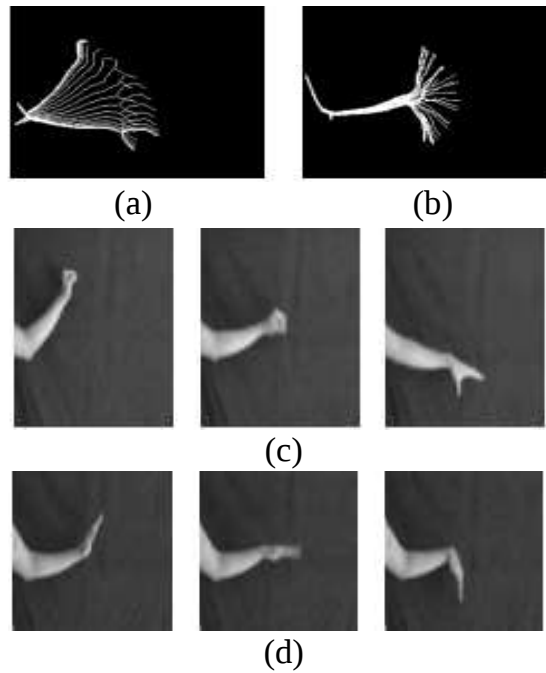
Kurakin 及 Mestetskiy²²提出以視覺技術的方式結合連續骨架(Continuous Skeletons)的動態手勢識別方法，並用於控制 2D 虛擬物件之移動、縮放和旋轉，如圖十五(a)。可是該方法當有手指交疊的情形下，將可能有嚴重的誤判情事，如圖十五(b)。

²⁰ Suk, Heung-Il, Sin, Bong-Kee and Lee, Seong-Whan, “Hand gesture recognition based on dynamic Bayesian network framework, Pattern Recognition,” Vol.43, 2010, pp.3059-3072.

²¹ Ionescu, B., Coquin D., Lambert, P. and Buzuloiu V., “Dynamic Hand Gesture Recognition Using the Skeleton of the Hand, EURASIP Journal on Applied Signal Processing,” Vol.13, 2005, pp.2101-2109.

²² Alexey, K. and Leonid, M., “Hand Gesture Recognition through On-Line Skeletonization,” VISAPP 2011-International Conference on Computer Vision Theory and Applications, 2010, pp.555-559.

圖十四 骨架手勢圖



資料來源：Ionescu, B., Coquin D., Lambert, P. and Buzuloiu V., “Dynamic Hand Gesture Recognition Using the Skeleton of the Hand,” EURASIP Journal on Applied Signal Processing, Vol.13, 2005, pp.2101-2109.

圖十五 骨架擷取圖



資料來源：Alexey, K. and Leonid, M., “Hand Gesture Recognition through On-Line Skeletonization,” VISAPP 2011-International Conference on Computer Vision Theory and Applications, 2010, pp.555-559; Alex's Tech Blog, <http://www.avk.name/>, 2017/10/20.

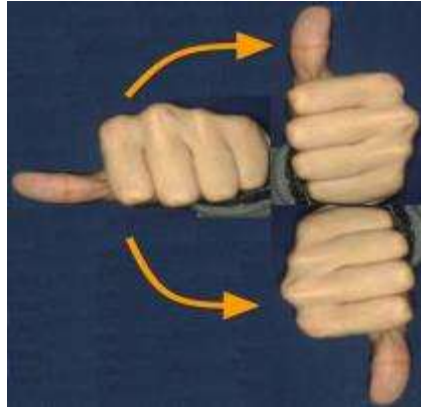
手部區域取得的方法有許多種類，不論是使用特殊裝置或單純使用式視覺的技術，其目的都在於完善取得手部區域(手背或手掌)。手部區域取得完善與否將會影響手勢資訊截取之正確性，甚至影響整體手勢辨識率。

3. 手勢資訊分析

Kelly 等人¹提出手勢資訊由四項要素所構成，分別是手的(1)形狀、(2)位置、(3)方向和(4)運動。將手勢的這四個組件資訊，融合交互比對判斷動態手勢以避免手勢意義判讀錯誤，這也點出了動態手勢辨識遠比靜態手勢辨識來得困難且相對複雜。舉出

一個因運動方向不同而構成完全不同意義的動態手勢例子，由「比拇指」手勢，因順時鐘旋轉 90 度與逆時鐘旋轉 90 度這兩者間的不同，所構成的動態手勢可代表不同之意義。(如圖十六)

圖十六 手勢圖



資料來源：作者拍攝。

三、語音辨識相關應用²³

語音辨識技術已發展許久，現在已是十分成熟的一門技術，主要是為了讓機器能夠了解人類的語言，透過語音的操控，使得機器或系統能夠執行相對應的任務，現今已有許多相關應用，如 SIRI, Window Speech Recognition 等相關互動應用。

語音為人類作為溝通方式的自然語音之一，Google、Apple 及微軟分別推出 IRIS、SIRI、Microsoft Speech 智慧型語音識別技術，並能對答如流。語音識別技術已臻至成熟，微軟亦釋出 Speech SDK 以供開發者應用。(如圖十七)

圖十七 IRIS 及 SIRI 對答圖

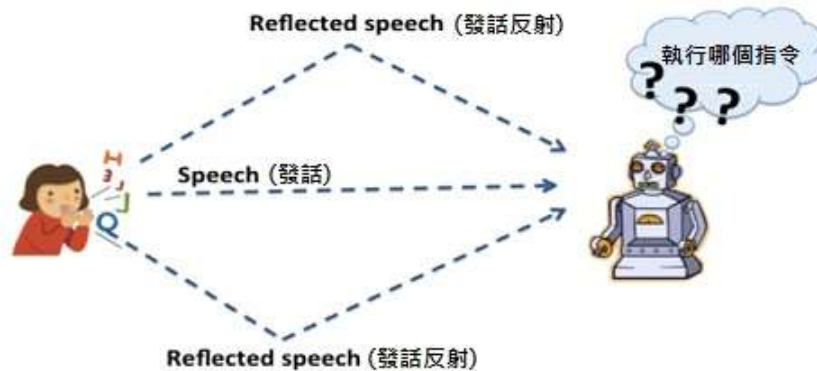


資料來源：<http://www.clubic.com/smartphone/android/actualite-453372-iris-clone-siri-android-programme-8-heures.html>, 2017/10/20.

²³ 王順吉，〈以語音輔助動態手勢作為擴增實境互動設計〉(國防大學理工學院碩士論文，民國 103 年 6 月)，頁 5-6。

語音常用來控制機器人，但當機器人距離使用者較遠，語音辨識技術將受影響。Gomez 及 Kawahara²⁴提出演算法增強音源訊號，改善了語音辨識技術，使機器人能辨識人類語言。(如圖十八)

圖十八 語音辨識互動應用架構圖



資料來源：Gomez, R., Kawahara, T., Nakamura, K. and Nakadai, K., “Multi-Party Human-Robot Interaction with Distant-Talking Speech Recognition,” Human-Robot Interaction, ACM/IEEE international conference In Proceedings of the seventh annual, 2012, pp.439-446.

四、相關基礎概念關鍵技術

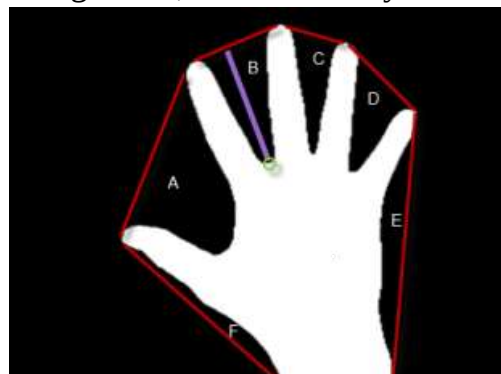
(一)手勢辨識關鍵技術

要做動態手勢辨識，首先須取得手勢資訊四項要素，而相關的手部資訊如指尖位置、手部區域質心、手指支數、雙手手臂變動等特徵，可藉由凸包結合視覺技術擷取或分析得知，並在某些手部特定情動作(形狀)之資訊擷取，因為其技術的不同而有互補的作用。簡單介紹凸包原理如后：

1. 凸包(Convex Hull)

凸包可以找出多維空間中一群散布各處之點的外殼。(如圖十九)

圖十九 EmguCV 中 GetConvexityDefacts 方法圖



資料來源：作者繪製。

²⁴ Gomez, R., Kawahara, T., Nakamura, K. and Nakadai, K., “Multi-Party Human-Robot Interaction with Distant-Talking Speech Recognition,” Human-Robot Interaction, ACM/IEEE international conference In Proceedings of the seventh annual, 2012, pp.439-446.

2. 聲學模型(Acoustic Model)

聲學模型可視為一個單音節所構成的符號，如注音符號，英文字母、單字等，一般聲學模型皆採用隱藏式馬可夫模型技術建模。

語言模型一般分為規則模型及統計模型，以統計模型最廣泛應用。統計語言模型是利用機率統計的方式，統計出音源訊號的規則性，其中以 N-Gram 最為效益最高。

3. 語音辨識與檢索

透過先前所述，由語音訊號取得一個音框，利用聲學特徵取得合適的特徵點後，接著利用聲學模型，將符號或音節建立相對應的聲學模型，再透過語言模型統計出正確的取用詞彙長度，最後再透過檢索的技術，如 Viterbi 演算法進行訊號比對，以達成語音辨識的成效。

(二)小結

由先前敘述可以得知，進行人機互動操控，一般皆採用可得知深度之攝影機來辨識動態手勢，但由於深度攝影機使用空間受限，且相較於單一簡易攝影機成本較高。因此選擇單一簡易攝影機進行手勢辨識，使用空間較不受限制，且現今行動裝置上，皆採用簡易攝影機。然而簡易攝影機偵測膚色時易受光影及手勢變動所影響，不易得知深度資訊。因此需要額外的輸入訊號，以補足簡易攝影機視覺辨識技術之缺憾。由於語音辨識發展十分成熟，且辨識率已相當高，可以語音來輔助單一簡易攝影機無法取得深度資訊之不足。

系統架構及說明

本章首先介紹選用之研究平台套件，接著說明所採用的靜態手勢及動態手勢，最後介紹本文所採用方法之流程與步驟：

一、研究平台套件簡介

為了驗證本文所提方法之實驗結果，本文擴增實境平台採用 NyARToolkitCS 函式庫，計算機視覺函式庫採用 EmguCV，並使用微軟 C# 語言編寫程式，以獲得多元且完整的 .NET 物件及類別支援。也為了實作語音辨識技術，利用微軟語音辨識 SDK 5.1 開發套件進行語音辨識。

若需訓練使用者聲調，需先至控制台之語音辨識，在進階語音選項中先選定語言，訓練使用者的聲調並調整麥克風音量，如圖二十語音辨識設定示意圖。

二、環境描述及手勢定義

將說明整體系統架構，並定義所使用到的靜態、動態手勢，以及手勢轉換之狀態說明。

(一)系統架構

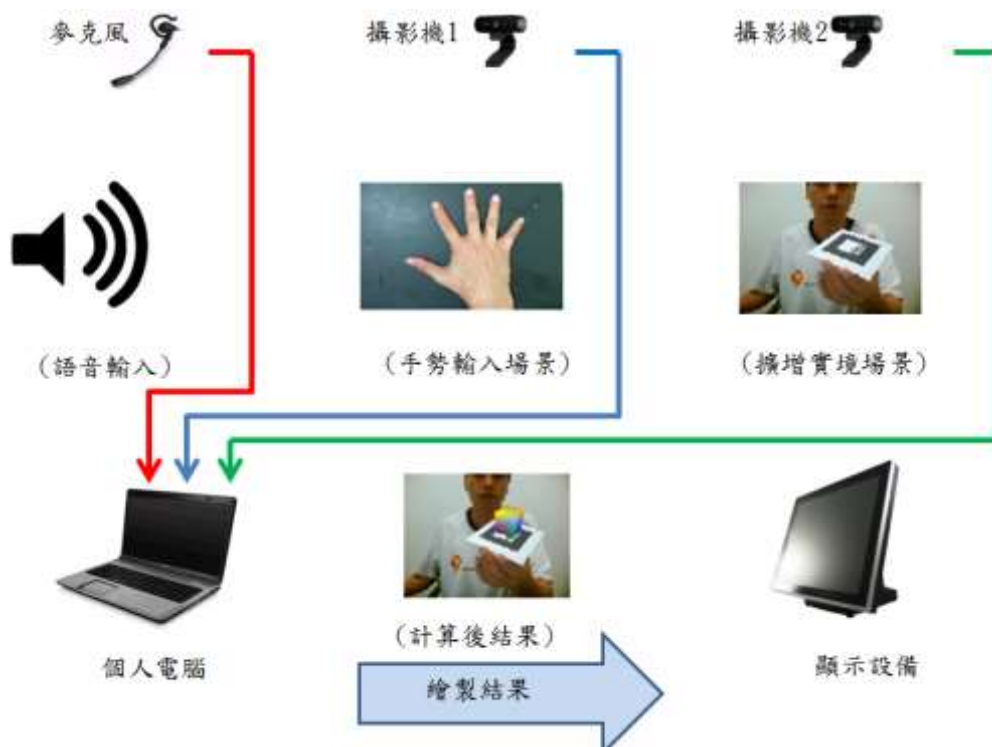
圖二十 語音辨識設定示意圖



資料來源：擷取自 Windows 作業系統畫面。

本文所提「動態手勢控制擴增實境虛擬物件」之整體系統架構(如圖二十一)，共使用兩台攝影機及 1 具麥克風，其中攝影機 1 擷取手勢影像，並將動態手勢影像經過個人電腦運算分析、將分析出的特徵資訊轉換為控制訊息，用於控制擴增實境的虛擬物件；麥克風擷取語音控制訊息；另外攝影機 2 擷取擴增實境環境影像，透過個人電腦追蹤與分析場景中的標記位置，結合動態手勢之控制訊息(虛擬物件位置、比例、旋轉角度等資訊)及語音辨識結果，繪製變動後的三維虛擬物件，並混合擴增實境場景將結果繪製於螢幕視窗。

圖二十一 系統架構圖



資料來源：作者繪製。

(二)手勢定義

靜態手勢的轉換與變化，可構建出動態手勢。為了讓使用者輕易操控三維虛擬物件，本文設定不同之狀態，以區別相同之手勢。換言之，相同的手勢在不同的狀態代表著不同的意義。如此，可以定義較少的手勢，來取代較為繁複的控制手勢；對使用者而言，可以輕易且直覺的使用該系統。

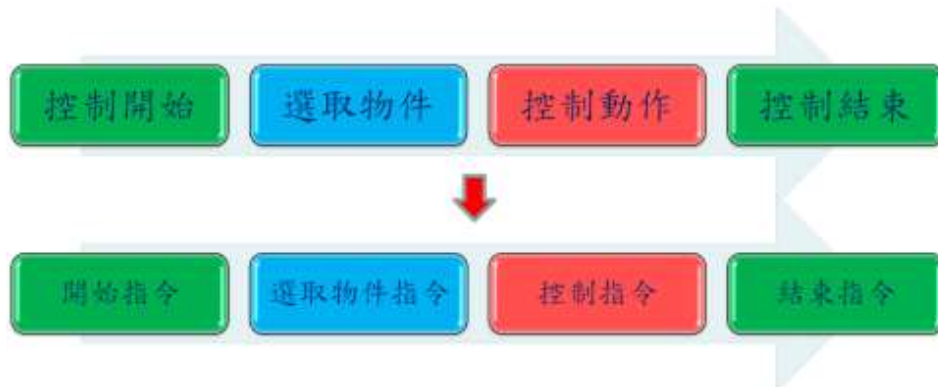
1.狀態設定

要以手勢正確控制三維虛擬物件，必須要知道控制「何時開始?」、「何時結束?」、「控制那個物件?」以及「做何動作?」。因此，本文歸納出三種指令群，分別為「物件選取指令」、「功能指令」、「開始/結束指令」。(如圖二十二)

依據前述三種指令群的特性，我們可以劃分出三個狀態：(如圖二十三)

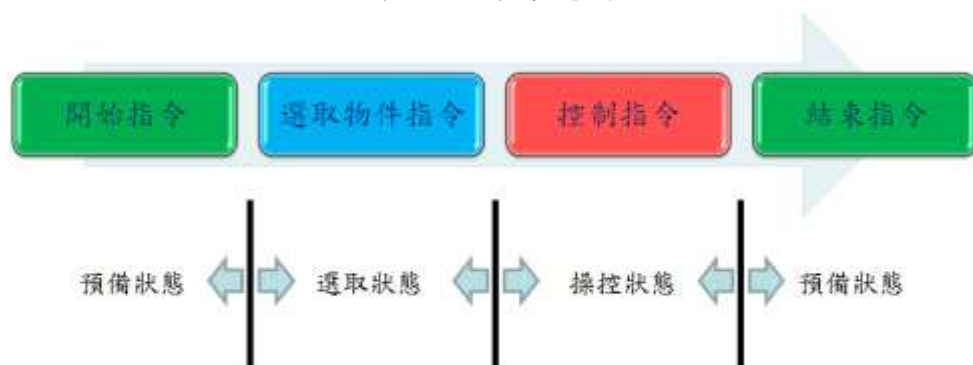
- (1)預備狀態：未出現「開始指令」前與出現「結束指令」之後，除「開始指令」有效外，餘指令無效。
 - (2)選取狀態：在未完成選取物件前，僅選取物件指令有效。
 - (3)操控狀態：依各項「操控指令」，控制虛擬物件。
- 有了狀態的區別，可以對不同狀態下的相同手勢賦予不同的意義。

圖二十二 指令群構思示意圖



資料來源：作者繪製。

圖二十三 控制狀態示意圖

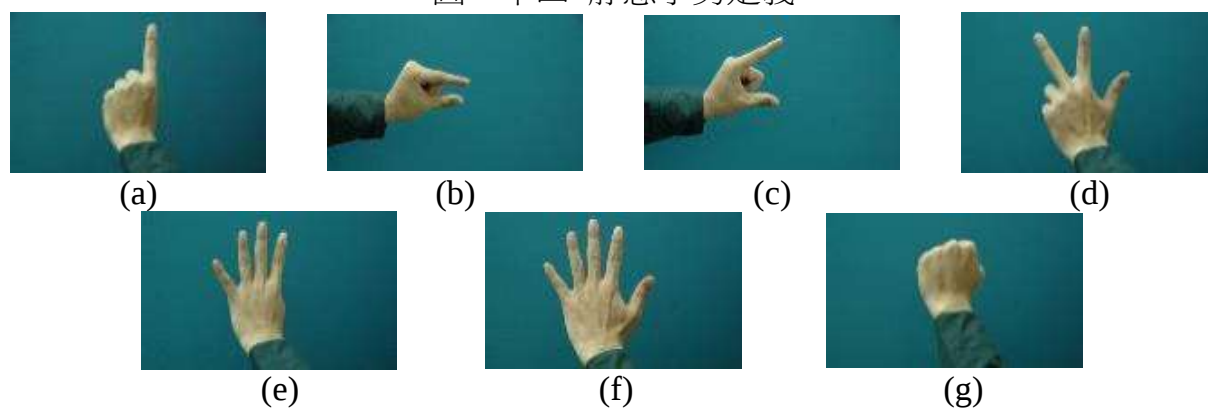


資料來源：作者繪製。

2. 靜態手勢

靜態手勢定義須明確及不易混淆，能讓使用者直覺及方便的運用，本文定義的靜態手勢如圖二十四。(a)手勢「1」代表「物件選取」及「物件移動」；(b)、(c)手勢「2」代表「物件縮放」；(d)手勢「3」代表「物件旋轉」；(e)手勢「4」代表「物件選取」及「確認操控」；(f)手勢「5」代表「開始辨識」及「物件高度」；(g)手勢「0」代表「結束操控」。

圖二十四 靜態手勢定義



資料來源：作者拍攝。

3. 動態手勢

本文結合靜態手勢與狀態改變之設計理念，以及實際操控之方便性，定義出動態手勢。(如表一)

表一 動態手勢

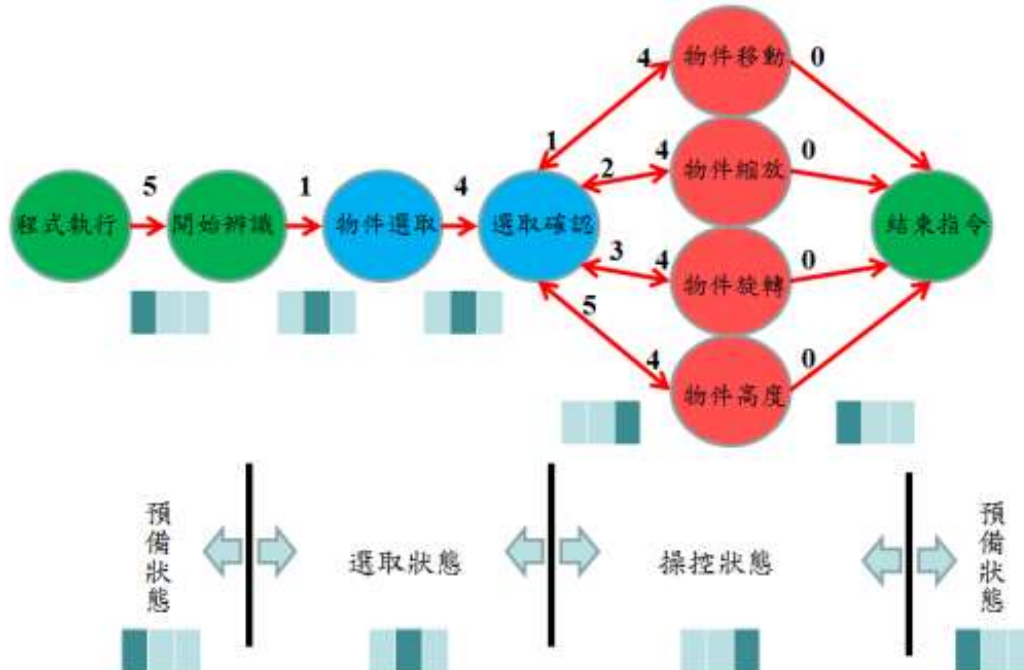
手勢類別	指令名稱	圖例
開始	(a)開始辨識	
選取物件	(b)物件選取	
控制物件	(c)物件移動	
	(d)物件旋轉	
	(e)物件縮放	
	(f)物件高度	
	(g)確認操控	
結束	(h)操控結束	

資料來源：作者繪製。

(三)設定狀態機

整體手勢運作方式可以狀態機來描述，如圖二十五。狀態機圖中各單元狀態可對應動態手勢定義之手勢指令或語音指令併用的方式，且與設定的「控制狀態」相結合。

圖二十五 控制狀態機簡圖系統流程



資料來源：作者繪製。

三、系統流程

圖二十六為「動態手勢控制擴增實境虛擬物件」之系統流程，主要分為手勢辨識、語音辨識、擴增實境及控制匹配(繪製)等四大部分。其中手勢辨識區塊主要擷取手部之主要特徵，並辨識出各種不同手勢，轉換成操控訊息、語音辨識區塊接收語音訊息，並將辨識結果轉成操控訊息、擴增實境擷取標記物件位置等資訊；最後由控制匹配結合手勢、語音操控訊息及標記資訊，透過物件變動計算功能，計算出受控後的虛擬物件資訊，並繪製至顯示器，後續針對幾項重要流程說明。

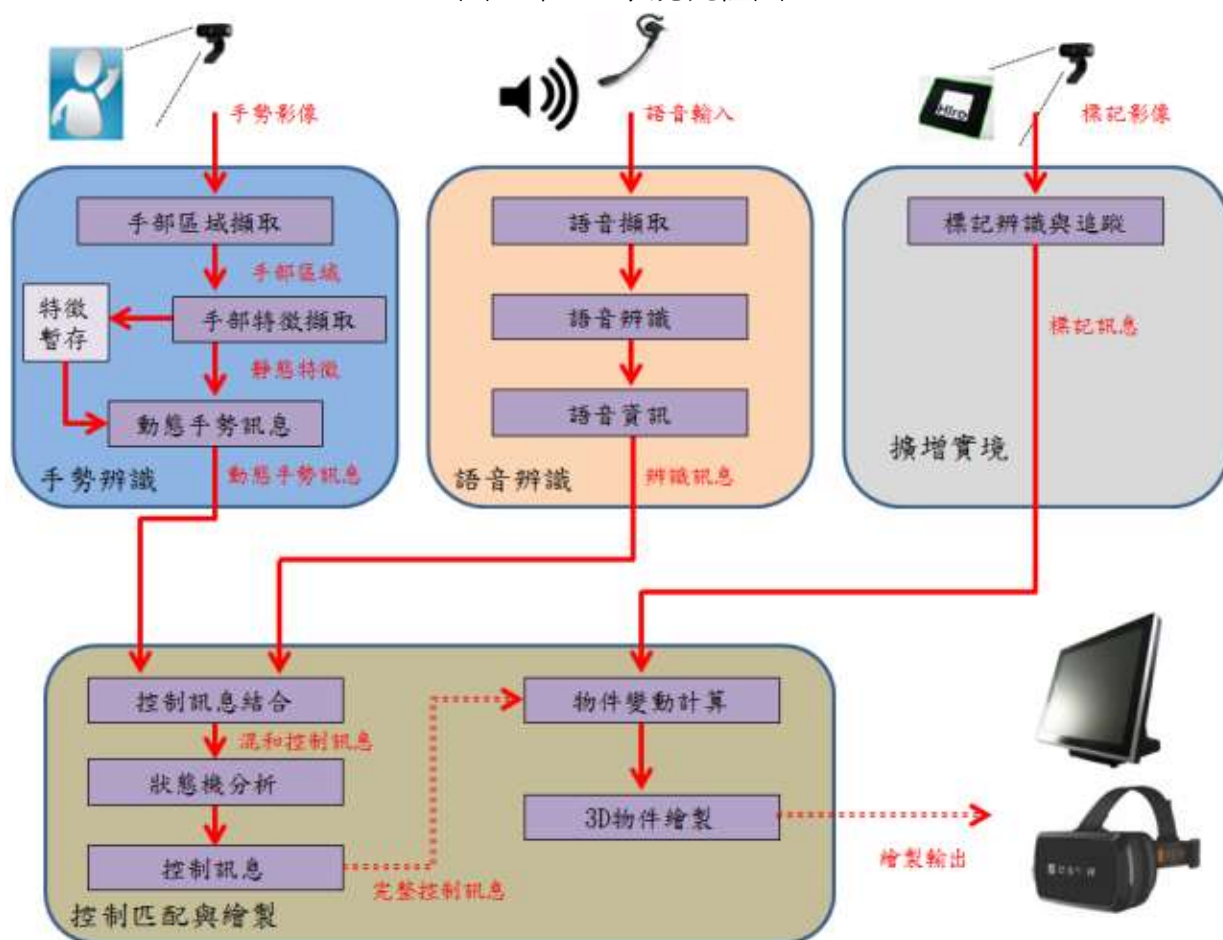
(一)手勢辨識流程

為了能快速且正確的取出手部區域，本文採用 Hsu 等人^{25, 26}所提之橢圓形膚色模型偵測方式，並將偵測出的膚色區域經預處理(高斯模糊 5*5、閉合運算 2 次)後轉換為二值影像，為了過濾環境(或膚色偵測)的雜訊，僅取最大連通的部分進行運算(使用連通區域的面積來做判斷，只保留最大連通面積的連通區域)，結果如圖二十七(b)。

²⁵ Hsu, Rein-Lien, Mohamed, Abdel-Mottaleb and Anil, K. Jain, "Face detection in color images, on Pattern Analysis and Machine Intelligence," Vol.24, No.5, 2002, pp.696-706.

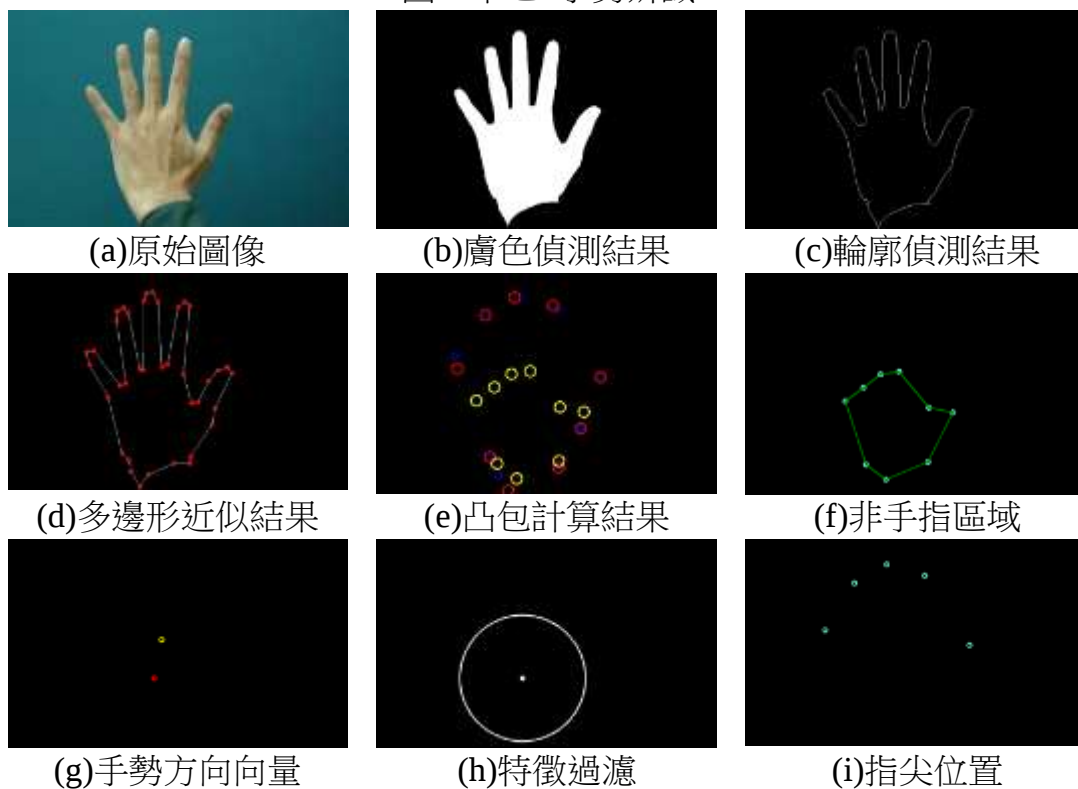
²⁶ 徐明亮，盧紅星，王琬，《OpenGL 遊戲編程》(中國：械工業出版社，2008 年)，頁 7-22。

圖二十六 系統流程圖



資料來源：作者繪製。

圖二十七 手勢辨識



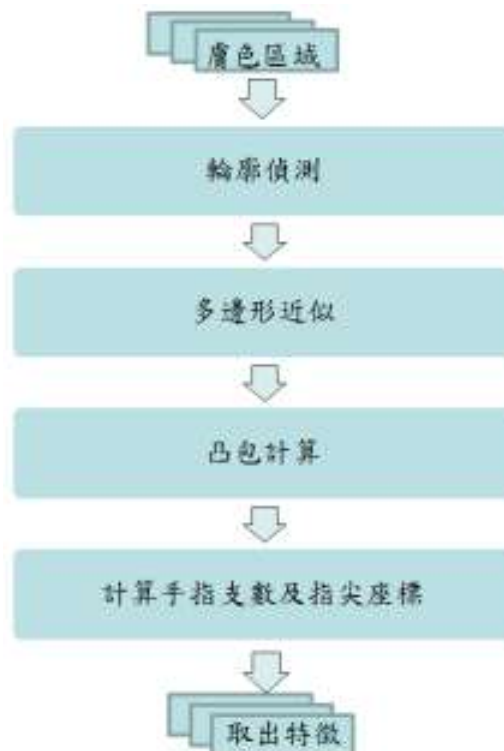
資料來源：作者繪製。

為了要辨識動態手勢，首先必須從靜態手勢中擷取特徵資訊，接著再分析及比較靜態手勢特徵的對應關係。將欲擷取之靜態手部特徵資訊說明如後：

1. 指尖位址序列($F_{center,n}$;其中 $0 \leq n \leq F_c - 1$)：各指尖座標位置，可藉由指尖之對應關係，用來分析手指之移動方向。
2. 手指支數(F_c)：可用來辨識靜態手勢。
3. 整體膚色區域面積(S_{Area})：手部(膚色)區域面積，用來計算整體手勢縮放時的補償參考量。
4. 非手指區域面積(P_{Area})：手掌(含手臂)的區域，用來計算整體手勢縮放時的補償參考量。
5. 非手指區域中心(P_c)：可用來判斷手指的整體方向。
6. 非手指區域中心與非手指區域輪廓最短距離($Distance(P_c, NF_{Area})$)：可供指尖判斷的條件。
7. 旋轉角度(R_a)：計算整體手指的方向性，供指尖判斷的條件。

手部特徵擷取詳細流程如圖二十八，首先將「手部區域擷取」所得的膚色區域，過濾出特徵較為明顯的輪廓後，接著利用凸包(Convex Hull)演算法取出凸凹點，並分析出手指部分與非手指部分(含手掌、手臂)，進而判斷手指指尖位置與支數。

圖二十八 手部特徵擷取細部流程圖



資料來源：作者繪製。

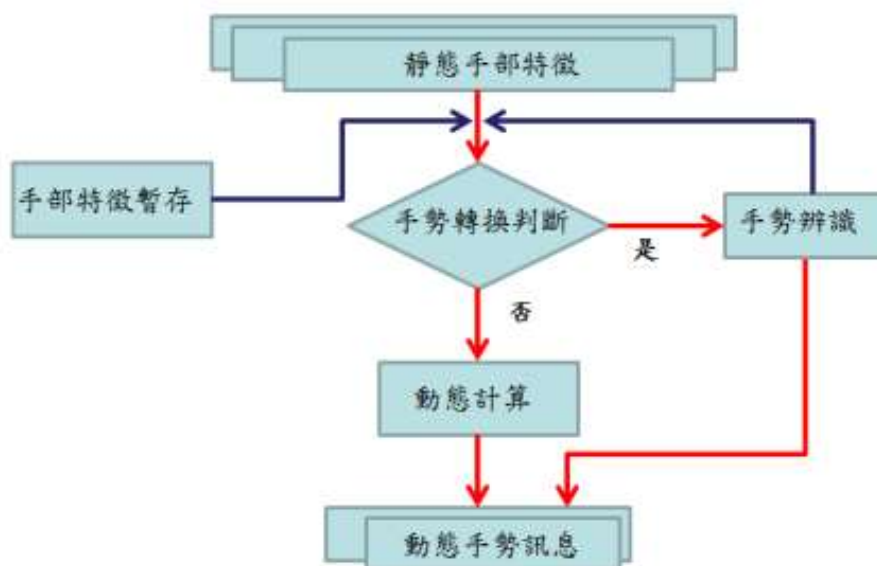
(二)動態手勢狀態分析

圖二十九為狀態分析流程圖，經由分析連續的手部特徵資訊，可判斷手勢是否處於轉換之過渡期。詳細步驟說明如后：

1. 手勢轉換判斷

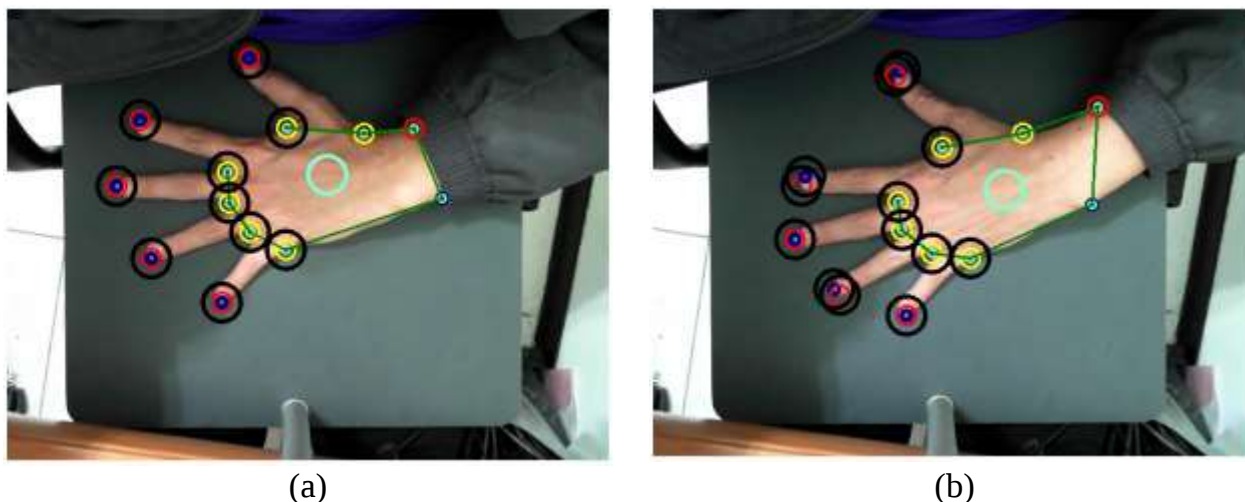
辨識動態手勢時，各手勢間轉換時手指的收放過程及手部與攝影機間距離的改變易造成誤判，要正確分析手指區域的改變，尚須先考慮下列兩個問題：(1)非手指區域的誤判，正常情形下，手部與衣服接觸部分應為外殼的一部分，而手腕骨頭突起處應不致造成連續外殼(如圖三十)。而圖三十(b)中，手腕骨頭突起處被視為外殼的一部分，依凸包演算法的特性，將會視其為連續外殼(凸段)，如此並非是預期的結果，且會影響手指區域與非手指區域面積，導致手勢轉換判斷準確度低落；(2)牽涉攝影機與手部之間距離不固定(整體手勢面積不固定)，造成偵測誤差。

圖二十九 狀態分析流程圖



資料來源：作者繪製。

圖三十 非手指區域誤判示意圖



資料來源：作者繪製。

本文考慮前述的兩個問題，研擬「手勢轉換之偵測方式」並融入「面積補償」的概念來正確判別手勢是否於轉換過程中。在手勢特徵擷取模組中，可計算出每個手勢特徵中整體膚色區域面積(S_{Area})、非手指區域面積(P_{Area})以及手指區域面積($F_{Area} = S_{Area} - P_{Area}$)。

首先單獨考慮第一個問題，即攝影機與手部距離固定的狀況下且手掌區域偵測有誤時，手掌區域前後將有偵測錯誤的狀況，如圖三十(a)(b)，且其面積差值可輕易算出($P_{Area_{n+1}} - P_{Area_n} = P_{Area_D}$)，該誤判的面積將會被歸類到手指區域面積中，故將其面積差值補償回去，即可由 F'_R 其值是否為 1 來檢測手指的轉換，詳細推導並歸納其關係如表二。

表二 動態手勢補償關係(手部與攝影機距離固定)

手指動作	手部與攝影機距離固定		
	手掌區域偵測無誤	手掌區域偵測錯誤	
	P_{Area} 不變	P_{Area} 減少	P_{Area} 增加
不變	$P_{Area_{n+1}} \cong P_{Area_n}$ 即 $P_{Area_R} \cong 1$ $F_{Area_{n+1}} \cong F_{Area_n}$ 即 $F_R \cong 1$	$P_{Area_{n+1}} - P_{Area_n} = P_{Area_D}$ $(F_{Area_{n+1}} - P_{Area_D}) \cong (F_{Area_n})$, $F'_R \cong 1$	$P_{Area_{n+1}} - P_{Area_n} = P_{Area_D}$ $(F_{Area_{n+1}} - P_{Area_D}) \cong (F_{Area_n})$, $F'_R \cong 1$
縮手指	$P_{Area_{n+1}} \cong P_{Area_n}$ 即 $P_{Area_R} \cong 1$ $F_{Area_{n+1}} < F_{Area_n}$ 即 $F_R < 1$	$P_{Area_{n+1}} - P_{Area_n} = P_{Area_D}$ $(F_{Area_{n+1}} - P_{Area_D}) < (F_{Area_n})$, $F'_R < 1$	$P_{Area_{n+1}} - P_{Area_n} = P_{Area_D}$ $(F_{Area_{n+1}} - P_{Area_D}) < (F_{Area_n})$, $F'_R < 1$
伸手指	$P_{Area_{n+1}} \cong P_{Area_n}$ 即 $P_{Area_R} \cong 1$ $F_{Area_{n+1}} > F_{Area_n}$ 即 $F_R > 1$	$P_{Area_{n+1}} - P_{Area_n} = P_{Area_D}$ $(F_{Area_{n+1}} - P_{Area_D}) > (F_{Area_n})$, $F'_R > 1$	$P_{Area_{n+1}} - P_{Area_n} = P_{Area_D}$ $(F_{Area_{n+1}} - P_{Area_D}) > (F_{Area_n})$, $F'_R > 1$
其中 $F_R = F_{Area_{n+1}} / F_{Area_n}$ 、 $F'_R = (F_{Area_{n+1}} - P_{Area_D}) / (F_{Area_n})$			

資料來源：作者整理。

為了解決第二個問題，將攝影機與手部區域距離不固定(整體面積改變)的條件導入，即將表一歸納之結果導入面積比的補償，即可得到手指是否正在變換(轉換)的判斷式，推導過程詳列於表三。

前述表列中，我們將在手部與攝影機距離不固定及非手指區域偵測偏差時，仍可使用 F''_R 做為手勢是否正在改變的判斷因子，即「手勢轉換之判斷條件」。

$$F''_R \cong 1, \quad \text{其中 } F''_R = (F_{Area_{n+1}} - P_{Area_D}') / (F_{Area_n} * A_R) \quad (\text{式 } 1)$$

2. 動態計算

本文欲控制的對象為虛擬三維物件之移動、旋轉及放大縮小，而一般的三維物件可簡化利用三組參數進而達到此控制的目的，分別為三維空間中的中心位置、縮放

比例及旋轉角度。當判定手勢為穩定狀態(非轉換中)，動態計算即將手部特徵轉化為該三組參數，並將結果混合手勢關鍵特徵輸出至動態手勢訊息，動態手勢訊息如表四。如控制物件的移動時，利用圖二十四(a)中手勢「1」計算出指尖位移量，搭配圖二十四(f)手勢「5」調整物件的高度，可決定虛擬物件的三維空間中的中心位置。

表三 動態手勢補償關係(手部與攝影機距離不固定)

手指動作	手部與攝影機距離不固定	
	P_{Area} 減少	P_{Area} 增加
不變	$P_{Area_{n+1}} - P_{Area_n} * A_R = P_{Area'_D}$ $(F_{Area_{n+1}} - P_{Area'_D}) \cong (F_{Area_n} * A_R),$ $F_R'' \cong 1$	$P_{Area_{n+1}} - P_{Area_n} * A_R = P_{Area'_D}$ $(F_{Area_{n+1}} - P_{Area'_D}) \cong (F_{Area_n} * A_R),$ $F_R'' \cong 1$
縮手指	$P_{Area_{n+1}} - P_{Area_n} * A_R = P_{Area'_D}$ $(F_{Area_{n+1}} - P_{Area'_D}) < (F_{Area_n} * A_R),$ $F_R'' < 1$	$P_{Area_{n+1}} - P_{Area_n} * A_R = P_{Area'_D}$ $(F_{Area_{n+1}} - P_{Area'_D}) < (F_{Area_n} * A_R),$ $F_R'' < 1$
伸手指	$P_{Area_{n+1}} - P_{Area_n} * A_R = P_{Area'_D}$ $(F_{Area_{n+1}} - P_{Area'_D}) > (F_{Area_n} * A_R),$ $F_R'' > 1$	$P_{Area_{n+1}} - P_{Area_n} * A_R = P_{Area'_D}$ $(F_{Area_{n+1}} - P_{Area'_D}) > (F_{Area_n} * A_R),$ $F_R'' > 1$
其中 $A_R = S_{Area_{n+1}}/S_{Area_n}$ 、 $F_R'' = (F_{Area_{n+1}} - P_{Area'_D})/(F_{Area_n} * A_R)$		

資料來源：作者整理。

表四 動態手勢訊息

動態手勢訊息	說 明
手指支數及指尖座標	紀錄手指支數及指尖座標，供後續控制匹配運用。
手勢轉換	紀錄手勢是否轉換，以布林值儲存。
中心位置	三維空間的點
縮放比例	各維度的縮放比例
旋轉角度	相對應各維度的旋轉角度

資料來源：作者整理。

3. 手勢辨識

當手勢被判斷為非穩定狀態(轉換中)，手勢辨識流程將持續分析手部特徵資訊，並輸出手勢關鍵特徵。此時，動態手勢訊息中中心位置、縮放比例及旋轉角度等 3 個參數設定為 NULL。

(三)控制匹配與繪製

此模組實作提到控制狀態及控制流程，其中接收標記資訊及動態手勢(韓語音辨

識)訊息並轉為操控訊息。為達控制目的，我們可以彈性的方式調整此模組。控制匹配細部流程。(如圖三十一)

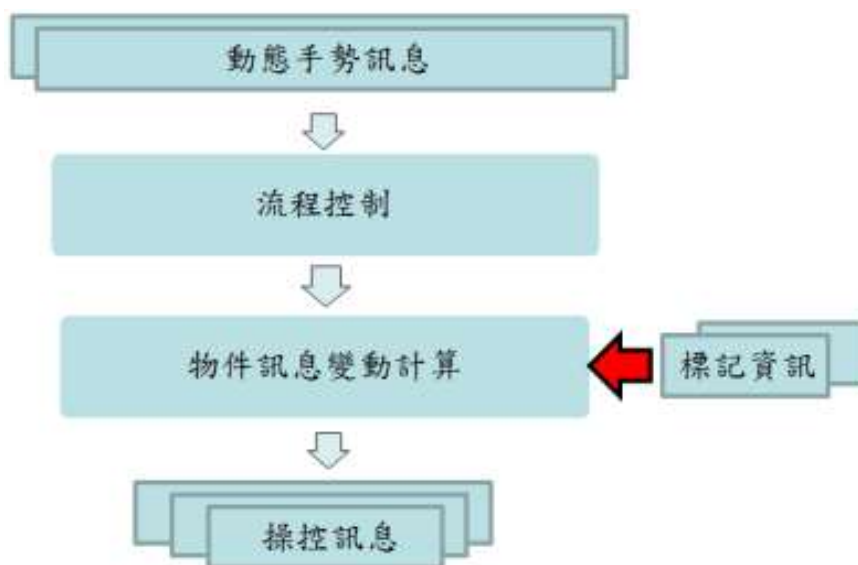
1. 流程控制

實作控制流程狀態機(如圖二十五)提供流程控制用，即模擬實作狀態機的運作。

2. 物件訊息變動計算

配合流程控制對應的動作，結合標記資訊計算，如本文所提空間轉換矩陣(虛擬物件轉換矩陣)，並輸出至擴增實境流程。

圖三十一 控制匹配細部流程圖



資料來源：作者繪製。

(四)手勢辨識其他應用與功能模組更換

若要應用在不同的控制標的(目的)，可以應地制宜定義適合的手勢，藉由調整控制匹配模組，產生出不同的控制訊息，以達控制之目的。

(五)在軍事用途運用

1. 班排戰鬥教練等訓練

在軍事用途中，手勢是單兵(班、排)之間的通訊方式之一，具有靜默及視距通訊的特點。但在實際單兵戰鬥的環境上，大多時候因保持隱蔽與掩蔽的狀態，無法確保傳達手勢訊息；另外，在練習上皆由領導幹部認定手勢是否正確，並於訓練時機予以糾正或指導，無統一的手勢正確與否的判別標準。為了克服這兩項問題，可藉由手勢辨識系統來輔助。在實戰場景下，可將學員手勢藉由手勢辨識系統將手勢轉為訊息傳達；在教育訓練時，則可做為手勢是否正確的客觀判斷媒介。(如圖三十二)

圖三十二 實戰常用手勢示意圖

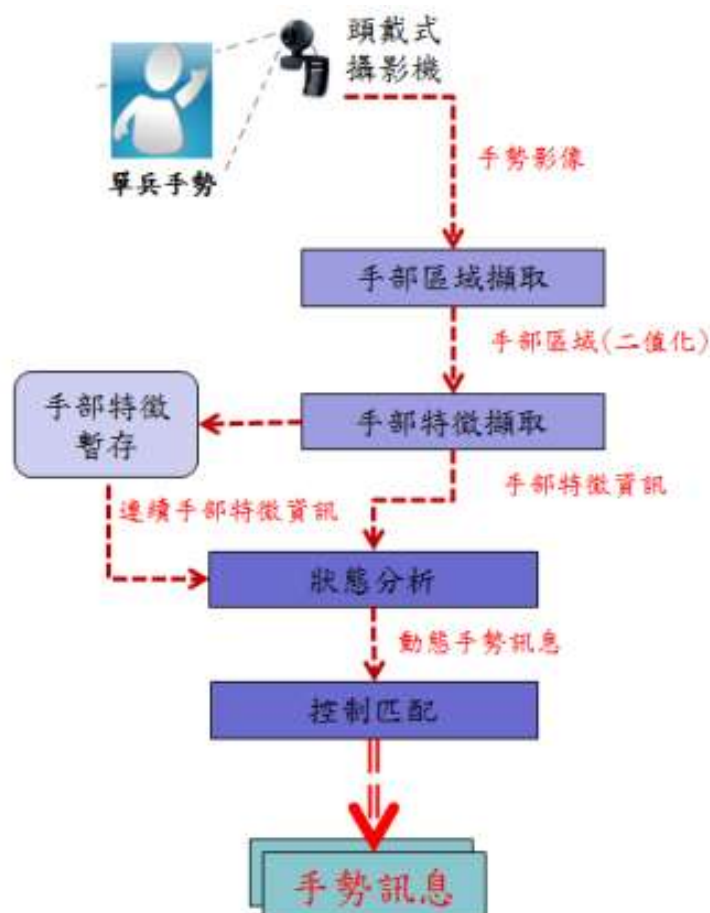


資料來源：取自《360Doc 個人圖書館》，http://www.360doc.com/content/10/1120/21/542436_71013672.shtml, 2017/10/20 下載。

接著簡述如何將本文手勢辨識方法應用單兵手勢判斷，並進一步將手勢轉換為訊息的簡要流程(如圖三十三)。可對應修改本文所提之狀態分析模組及控制匹配模組，將單兵之手勢藉由本文所提之手勢辨識方法轉換為訊息。若用於實戰及教育訓練，則能有更客觀的手勢判斷標準，以及另一種靜默且方便的通信(訊息傳遞)手段。

可透過模組修訂，廣泛運用於單兵訓練(如：通資電兵的旗號訓練、單兵手榴彈投擲等)；若修訂語音辨識的模組，亦可辨識口令下達的正確性判別等運用，皆可依實際需求輔助。

圖三十三 單兵手勢辨識流程圖



資料來源：作者繪製。

2. 模擬戰場體驗

運用生動的擴增實境平台，並輔以直覺的手勢及聲音控制，除可增加學員生學習興趣外，並提供身歷其境的體驗。鑑於此原因，國軍亦設置「戰場抗壓模擬訓練館」，若以擴增實境平台，可即時切換場景，提供不同情境的戰場抗壓訓練，並收經濟及效益之利。

實際的例子如 HTC VIVE 的 VR 遊戲平台，遊戲畫面仿真且寫實，且僅以一套設備即可轉換不同場景，提供不同的戰場體驗，值得國軍後續在戰場模擬上的研究及運用。

3. 危險設備操作

本文提出之「手勢辨識技術」及「語音辨識運用」適合室內環境的控制系統，可透過修改辨識區塊的控制匹配模組，而應地制宜地運用；於軍事相關應用，例如即時操控兵棋，或國軍高危險性作業之機械手臂遠端操作等。

實驗結果

本實驗將實際展示以手勢對擴增實境虛擬物件位移、旋轉、縮放及高度(相對於標記高度)變化之結果。首先說明系統功能畫面，如圖三十四，可分為手勢辨識介面，以及擴增實境展示介面。

一、手勢辨識介面

手勢辨識介面如圖三十四(a)，除可顯示手勢資訊及膚色二值化影像外，另提供選擇圖像來源、預處理微調、選用膚色方法等功能，功能簡述如后：

(一)影像來源

可選擇影像來源，提供選取單一影像或影片，以及由攝影機擷取影像。

(二)預處理微調

為了適應不同環境背景所帶來的雜訊，預處理部分提供參數微調功能，可調整高斯模糊及閉合運算次數等參數。

(三)選用膚色

為了適應不同使用者及不同光照(或攝影機)條件下的膚色差異，可選取欲使用的膚色方法，以利膚色區域取得。本平台提供 Hsu 等人²⁷所提之橢圓形膚色模型偵測(Hsu)、HSV、YCrCb、EmguCV 內建的膚色偵測(Adaptive Skin Detector)等四種方法供選用。

二、語音辨識介面(略，於背景執行)。

三、擴增實境展示畫面

²⁷ Hsu, 5Rein-Lien, Mohamed, Abdel-Mottaleb and Anil, K. Jain, "Face detection in color images, on Pattern Analysis and Machine Intelligence," Vol.24, No.5,2002, pp.696-706.

擴增實境展示畫面如圖三十四(b)，除擴增實境功能外，另顯示受控後的虛擬物件。整體系統在實際使用時，使用者僅需觀看此畫面，搭配使用者手勢即可控制虛擬物件或與虛擬場景互動。

四、效能測試

系統測試運用 800 至 900 幀(Frames) 之視訊，且採雙攝影機各擷取 640x480 之影像，測試結果處理單幀整體時間約 25 毫秒(40fps)，可用於即時辨識。其中平均單幀處理雙攝影機截圖及預處理約 10.6 毫秒，手勢辨識流程處理約 1.7 毫秒、擴增實境功能及三維物件繪製處理約 12.4 毫秒，以及顯示介面處理 0.6 毫秒。

實驗結果顯示雙攝影機影像擷取部分約占平均整體運算三分之一強，乃受限於攝影機擷取影像同步的等待時間及傳輸頻寬所產生的硬體限制；實際手勢辨識處理非常快速(約 1.7 毫秒)，可輕易運用於即時控制等方面之運用。

語音辨識部分採事件觸發，顧未列入系統測試部分。

五、實際操作展示

將擴增實境中的標記固定(為展示與閱讀方便，擴增實境場景部分使用單一影像)，利用手勢控制虛擬三維物件之位移、旋轉、縮放及物件高度改變，結果分別如圖三十五(a)至(d)。

圖三十四 系統功能畫面



資料來源：作者拍攝。

圖三十五 物件位移、旋轉、縮放及高度改變功能展示





(a)物件位移功能展示



(b)物件旋轉功能展示



(c)物件縮放功能展示



(d)物件高度功能展示
資料來源：作者繪製。

結論與未來研究方向

一、結論

本文提出運用基於視覺技術之動態手勢辨識技術，不用侷限於以標記或特殊硬體的擴增實境的互動方式。

本文提出之手勢辨識技術，可透過修改而應地制宜地運用。於軍事相關應用，例

如即時操控兵棋、教育訓練或國軍高危險性作業之機械手臂遠端操作等。

由於現有行動裝置配置之攝影機，易以語音輔助動態手勢擴增實境互動設計，可輕易應用於現今行動裝置上。

二、未來研究方向

基於本文提出之方法，未來可朝以下幾個方向研究：

(一)運用場景

本文所提手勢辨識為核心解決方案，提供環境可控狀況下運用(如：精密控制及教育訓練使用)，較不適宜運用於複雜環境，如「雙手遮蔽」、「多人(手)碰撞」等問題。未來可結合紅外線、雙鏡頭取得手勢，以及景深等資訊、動態偵測攝影機針對局部加強影像擷取、遮蔽預測等相關技術，可獲得較佳手勢辨識環境適應力；但須考慮使用遮蔽預測等技術，可能降低手勢辨識的可靠度。

(二)雙手動態辨識

本文已針對單手動態手勢之研究，筆者已研究結合兩手間距離、景深、交互手勢之間關係，拓展為雙手動態辨識。

(三)智慧裝置應用

現今智慧裝置大多附有語音輸入及影像擷取功能，本文方法可輕易與現今智慧型裝置結合，達到直覺且便捷的控制，亦是未來可應用的可行方式之一。

參考文獻

- 一、Milgram, P., Haruo, T., Utsumi, A. and Kishino, F., “Augmented reality: A class of display on the reality-virtuality continuum,” *Telemanipulator and Telepresence Technologies*, SPIE Vol.2351, 1994.
- 二、McDonald, C., Malik S. and Roth, G., “Hand-Based Interaction in Augmented Reality, Haptic Virtual Environments and Their Applications,” *IEEE International Workshop 2002 HAVE*, 2002.
- 三、Malassiotis, S. and Srinivas, M.G., “Real-time hand posture recognition using range data,” *Image and Vision Computing*, Vol.26, 2008.
- 四、Just, A., and Marcel, S., “A comparative study of two state-of-the-art sequence processing techniques for hand gesture recognition,” *Computer Vision and Image Understanding*, Vol.113, 2009.
- 五、Huang, Deng-Yuan, Hu, Wu-Chih, and Chang, Sung-Hsiang, “Gabor filter-based hand-pose angle estimation for hand gesture recognition under varying illumination,” *Expert Systems with Applications*, Vol.38, 2011.
- 六、Kato, H., and Billinghurst, M., *Marker Tracking and HMD Calibration for a*

video-based Augmented Reality Conferencing System, in IWAR '99: Proceedings of the 2nd, IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality, 1999.

七、Sony EyePet, <http://www.eyepet.com>, 2017/10/20.

八、U.S.ARMV, <http://www.goarmv.com/home/augmented-reality-game-race-for-strength.html>, 2017/10/20.

九、Emgu CV Hand Gestures Recognition Advanced Tutorial, <http://db.tt/GkT6J9k>, <http://blogs.ugidotnet.org/wetblog/Default.aspx>, 2017/10/20.

十、D'Fusion, <http://www.t-immersion.com>, 2017/10/20.

十一、Alex's Tech Blog, <http://www.avk.name/>, 2017/10/20.

十二、<http://www.clubic.com/smartphone/android/actualite-453372-iris-clone-siri-android-programme-8-heures.html>, 2017/10/20.

十三、Windows Mobile SDK, <http://www.microsoft.com/download/en/details.aspx>, 2017/10/20.

十四、EmguCV, http://www.emgu.com/wiki/index.php/Main_Page, 2017/10/20.

作者簡介

李蒼昱少校，國防大學理工學院資訊工程所碩士 101 年班、陸軍通信電子資訊訓練中心通資電正規班 97 年 2 期，曾任資網官、通補官、隊長、排長、分庫長，現任陸軍汽車基地勤務廠儲備庫副庫長。