

手勢操作六軸機械手臂即時運動系統

Hand Motion System for Real-Time Manipulating 6-Axis Robot Arm

林其禹、張書菡、梁中彝

Chyi-Yeu Lin, Shu-Han Chung, Chung-Yi Liang

本文透過 Kinect 擷取手套特徵物件的 3D 位移資訊，以及使用 LPMS-B 六軸加速度感測器即時感測手腕當前三軸角度姿態，整合成終端效果器六軸資訊，對機器手臂執行遠端操作。其中手套的設計結合 Arduino 的開關控制，遠端控制機器手臂終端效果器上裝設的機器夾爪開闔 (抓取或放置物件)，發展出一套不必事先教導，可供人類藉著移動自己的手掌來直接指揮六軸機器手臂執行六軸同動運動，完成對隨意物件所需的操作。此技術適合應用在隨機使用機械手臂執行物件操作的場合，以直覺手勢直接引導的操作方式，免除示教過程，創造時間節約、使用效率和競爭力，提高智慧自動化水平。相同技術也可用在創造難以教導或需長時間才能完成的機器手臂困難運動軌跡，再重複實施在機器手臂後續的物件操作上。這對需要複雜軌跡才能完成的物件組裝而言具高度應用價值。

In this paper, 3D displacement information of the featured glove is captured by Kinect and the Euler's angles of the operator's wrist are postured by LPMS-B 6-axis acceleration sensor (from L-P Research) immediately. After that, the 3D displacement information is integrated with Euler's angles into the integral 6-axis information for defining the real-time end-effector position and posture in the robot arm tele-operation. Furthermore, the featured glove was equipped with an Arduino circuit for controlling the on-off operation (grasping or releasing object) of the gripper on the end-effector. This innovative system can be used to control the 6-axis robot arm to operate a randomly-positioned object without pre-teaching. This technique is particularly suitable for operating randomly-positioned objects by using multi-axis robot arm. The operation is intuitive, without the time-consuming teaching process, save time, and increase efficiency. The new system can also be used in generating trajectories for some hard-to-teach or high time-consuming object operations. The trajectory produced by the hand posture operation can be subsequently used on repeated object operations. This is a valuable tool for some hard-to-teach assembly tasks.

一、前言

工業機器手臂，最初採用於 1970 年後期的汽車工業，如焊接，塗裝，裝配等，由技術人員透過

示教板 (teach pendant) 教導機器手臂運行軌跡以及動作。由於示教需要花費許多時間，如果示教後工業機器手臂將長期執行相同動作，該示教時間成本將被大量重複動作稀釋而變成可接受。但如果需要

機器手臂執行相同動作重複次數有限，甚至示教後將僅執行一次，則教導時間的昂貴成本將變成關鍵障礙。發展智慧型軌跡規劃技術，達到自行規劃軌跡，可免去示教程序和時間成本，但是開發智慧型軌跡規劃技術的難度和成本甚至更高，除非該高成本發展出之智慧型軌跡規劃技術可廣泛應用在許多場景，否則並不實用。因應需要快速建立一個工業機器手臂進行物件操作所需的任意軌跡和執行，本研究結合 Kinect、LPMS-B 六軸加速度感測器，以及特殊設計的手套，發展出一套不必事先教導，可供人類藉著移動自己的手掌來直接指揮六軸機器手臂的六軸同動運動，完成對隨意物件所需的操作。此創新技術可在許多適合應用機器手臂執行物件操作的場合創造突破性的時間節約、使用效率和競爭力，提高智慧自動化水平。

此種直觀式的操作方式，無需過多的教學時數，大幅降低使用上的技術門檻，簡易操作相對的也就縮短了示教的時間。另外，在應用上不單局限於工業上，任何危險的環境，如：高溫、高污染或是救災用途，皆可以排除技術門檻透過此方式結合視覺回饋的畫面來遠端控制機器手臂的運動。

二、文獻回顧

隨著工業水準不斷的提升，許多生產模式上有了巨大的改變，不再如傳統生產線上進行少款式多數量的作業模式，而是採用多款式少數量的產線作業。故當今工業機器手臂上最大的問題和挑戰為，更換生產線產品時，會浪費大量時間在重新教導機器手臂軌跡，且執行這項教導工作需要的技術門檻很高，所以創造一降低技術門檻與減少示教時間的想法即因應而生⁽¹⁻⁹⁾，讓工業機器手臂得以因應目前許多產業多款式少數量的新生產模式，而非傳統的使用示教器單點教點產生軌跡或者高技術門檻的 CAD 模型模擬計算軌跡規劃⁽¹⁰⁾。

如 Adam Rogowski 等人⁽¹⁾ 透過特殊的裝置收音並且分析，建立語音命令分析的最佳方法，控制機器人的方向。也開始有透過立體視覺來進行影像的追蹤，其中又可以分為透過手勢追蹤⁽²⁻⁷⁾ 或者是透過骨架的分析來控制機械手臂⁽⁸⁻⁹⁾，Jagdish Lal

表 1. 手勢辨識操作系統-動作指令。

	Gesture	Operation
1	Right hand grip	Send velocity mappings to robot
2	Right hand grip release	Stop sending mappings to robot
3	Left hand grip	Close gripper
4	Left hand grip release	Open gripper
5	Left hand hidden	Save gripper status and switch to Orientation mode
6	Left hand visible	Switch to Translation mode

Raheja 等人⁽⁴⁾、Sagar Shirwalkar 等人⁽⁵⁾ 和 Landa-Hurtado 等人⁽⁷⁾ 則是單純透過如表 1 所示的手勢辨識來操控六軸機械手臂，但過多的手勢反而造成操作上不太直觀，不熟悉者易造成混淆。而 Signe Moe⁽²⁾ 等人除了 Kinect 即時的追蹤手部位置資訊以外，還使用了手機的加速度感測器來取得尤拉角資訊，加以控制五軸機械手臂的位置以及姿態，簡易又直觀的操作降低了使用時的技術門檻。

有鑑於以上回顧，本研究發展出一特徵手套，結合影像技術以及感測器資訊，跳脫現階段對於手勢追蹤的複雜指令，取得機械手臂所需的座標資訊，透過即時的軌跡優化運算與機械手臂奇異點偵測，減少手操作時顫抖的雜訊，增加系統運行軌跡的可靠性，另特徵手套也結合遠端夾爪的控制，以及警示，除降低操作門檻外，也提升操作者使用上的安全性，而後還可透過模擬來重現軌跡，選擇是否圓滑軌跡，減少現有文獻技術中創建軌跡的雜訊，讓創建的軌跡在模擬軟體中形象化，而不再是空間中一條抽象的曲線。

二、硬體介紹

本文硬體架構圖如圖 1，Kinect 追蹤手套特徵物件，LPMS-B 六軸加速度感測器運算手腕當前姿態，再結合 Arduino 遠端控制夾爪開關，資料則分別透過 USB 與 Bluetooth 傳送至電腦，經由 Visual Studio2010 結合 OpenCV、Eigen 與 Armadillo 函式庫的 C++ code 運算與整理，透過 RS232 輸出六軸角度資訊至機器手臂控制箱，最後運行機器手臂。

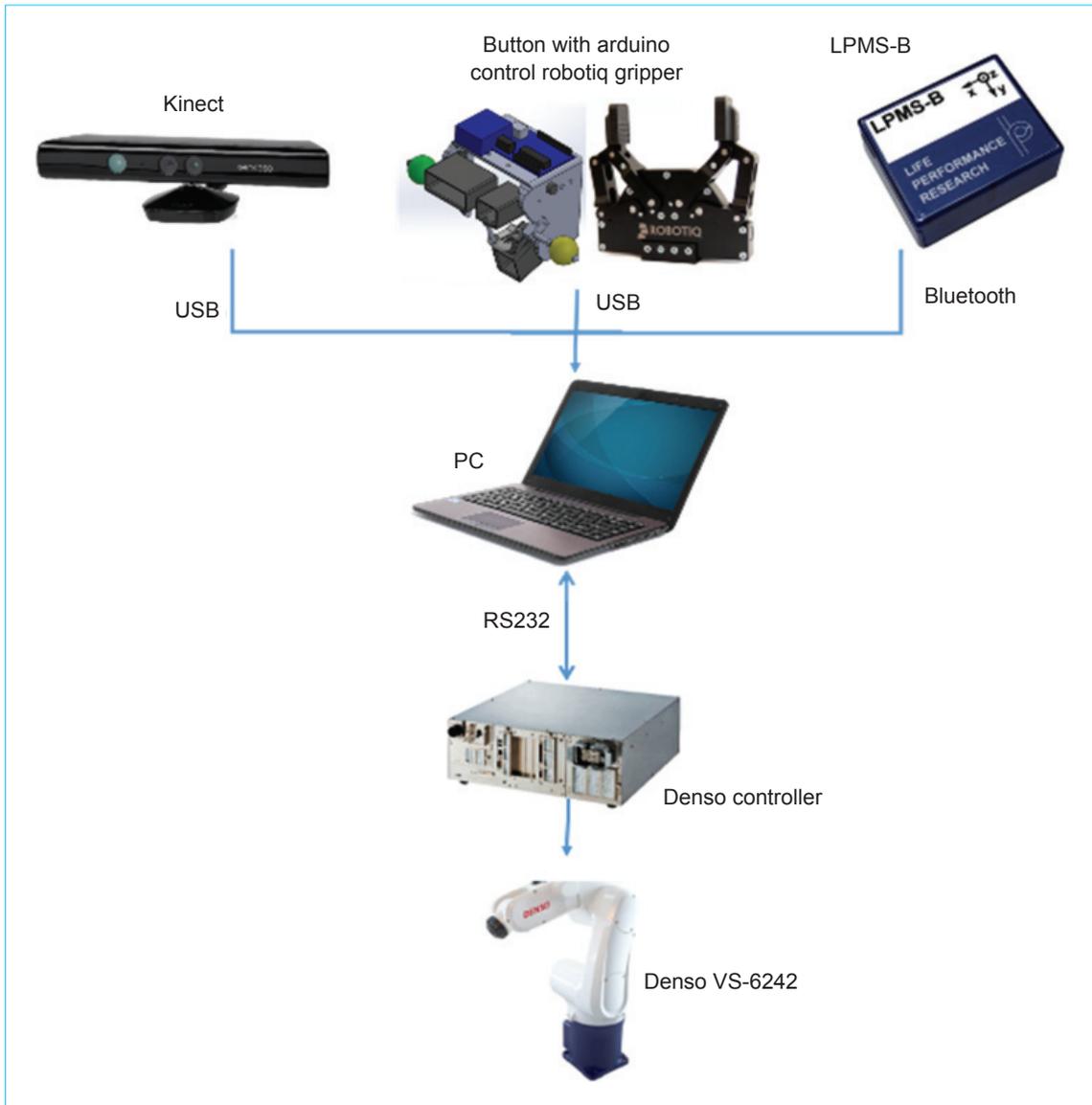


圖 1. 硬體架構。

操作完後路徑可再透過 MatLab 與 V-REP 編成的軟體進行模擬和平滑軌跡。

1. 物件位置感測器

本文所使用的物件位置感測器為 for Xbox 360 版本的 Kinect 感測器，透過中間 RGB 攝影機擷取彩色影像進行影像處理，左右兩側的紅外線發射器與 CMOS 攝影機來進行 3D 深度資訊的量測。使用範圍在水平視野 57 度，垂直視野 43 度，深度範圍在 550 mm 至 1100 mm 之間，判斷精度為 4 mm，其中 Kinect 感測器與使用範圍分別如圖 2 和圖 3 所示。

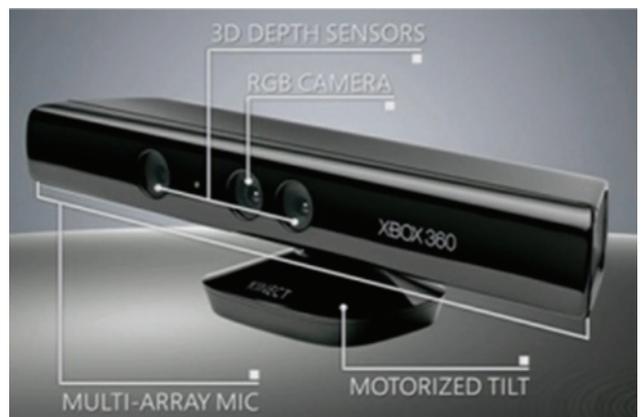


圖 2. Kinect 感測器。

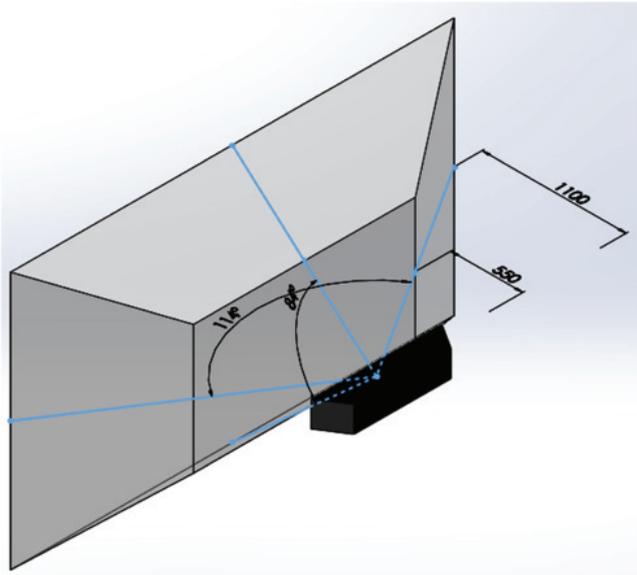


圖 3. Kinect偵測範圍。



圖 4. LPMS-B 六軸加速度感測器。

2. 六軸加速度感測器

六軸加速度感測器使用 LPMS-B，如圖 4 所示，使用三種不同的 MEMS 感測器 (3 軸陀螺儀、3 軸加速度感測器與 3 軸磁力儀)，可透過藍芽傳送資訊，獲得無漂移高精度的數據。其資料傳送最遠距離為 18 m，靜態精度小於 0.5 度，動態精度小於 2 度，解析度小於 0.05 度，輸出頻率為 500 Hz。

3. 機器手臂夾爪

機器手臂使用的夾爪，使用 RobotiQ 雙指夾



圖 5. RobotiQ 夾爪。



圖 6. 夾取圓柱形物件。

爪，如圖 5 所示，可控制其行程，開闔力道與速度。最大行程為 85 mm，力量 60 至 200 N，速度 20–150 mm/s，最大負載 5 kg，重現精度 0.05 mm，重量 850 g，除了可以夾取一般方形元件外，夾爪特殊的設計，還可夾取圓柱形物件，如圖 6 所示。

4. 特徵手套

用來裝設六軸加速度感測器、供辨識特徵物、控制用裝置等的特徵手套，如圖 7 所示。設計上為能給操作者更直觀的操作，故手套外觀類

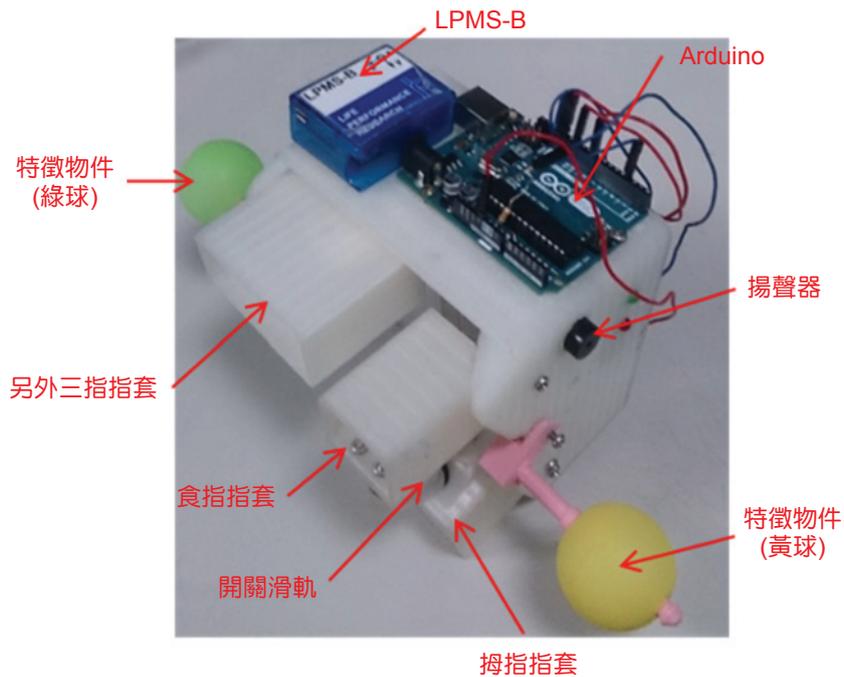


圖 7. 特徵手套。

似 RobotiQ 雙指夾爪。未來也可將指套部分依照夾爪的變更而更改設計，提升手套控制的自由度；夾爪開闔的動作透過手指闔上觸動 Arduino 控制的 button 來控制，如圖 8 所示；LPMS-B 與 Arduino 固定在手背上，特徵物以黃色為主，使用顏色過濾之目的是為了減少特徵物的辨識時間，再經過影像處理後，計算圓心位置後再透過位置相對關係來獲得手套中心位置。

5. 機械手臂

因本系統內有設計運動位移量的放大與縮小，故本系統可應用在不同廠牌與不同規格的六軸機器手臂，進行大動作的軌跡，亦或是小而精巧的動作，都可以透過本系統的操作方法來創建軌跡。本文目前使用 Denso 六軸機器手臂來進行，其型號為 DENSO VP-6242G，其規格與工作空間如表 2 與圖 9 所示。

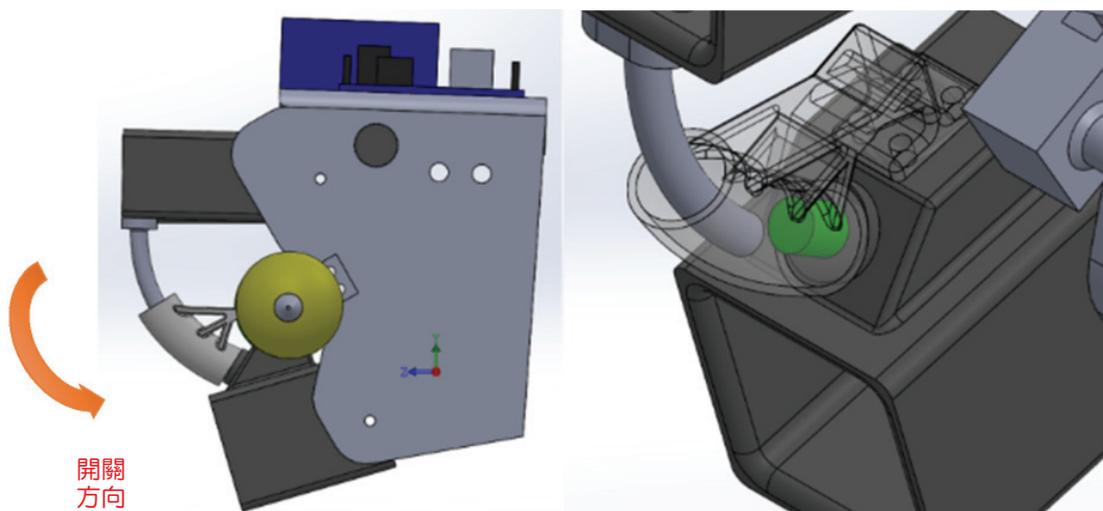


圖 8. 手套開關。

三、系統架構

藉由影像處理對特徵物的座標位置擷取，六軸加速度感測器擷取手套上手腕姿態，將數個參考點利用最小二乘法運算，以獲得最佳直線軌跡參考點。再將最佳參考點透過反運動學計算，同時判斷是否接近或者到達奇異點。是，則發出警示音響與震動，若無，則輸出六軸關節角度，透過按下開關來控制夾爪的開闔，重覆執行直到結束系統，並輸出軌跡。

表 2. Denso VP-6242G 規格。

型號名稱	VP-6242G
最大運動空間	R = 502 mm (以末端效應器為基準) R = 432 mm (以圖 9 中 P 點為準)
運動角度	J1 : $\pm 160^\circ$
	J2 : $\pm 120^\circ$
	J3 : $+160^\circ$ 、 $+19^\circ$
	J4 : $\pm 160^\circ$
	J5 : $\pm 120^\circ$
J6 : $\pm 360^\circ$	
最大荷重	2 kg (手腕姿態朝下時可到 2.5 kg)

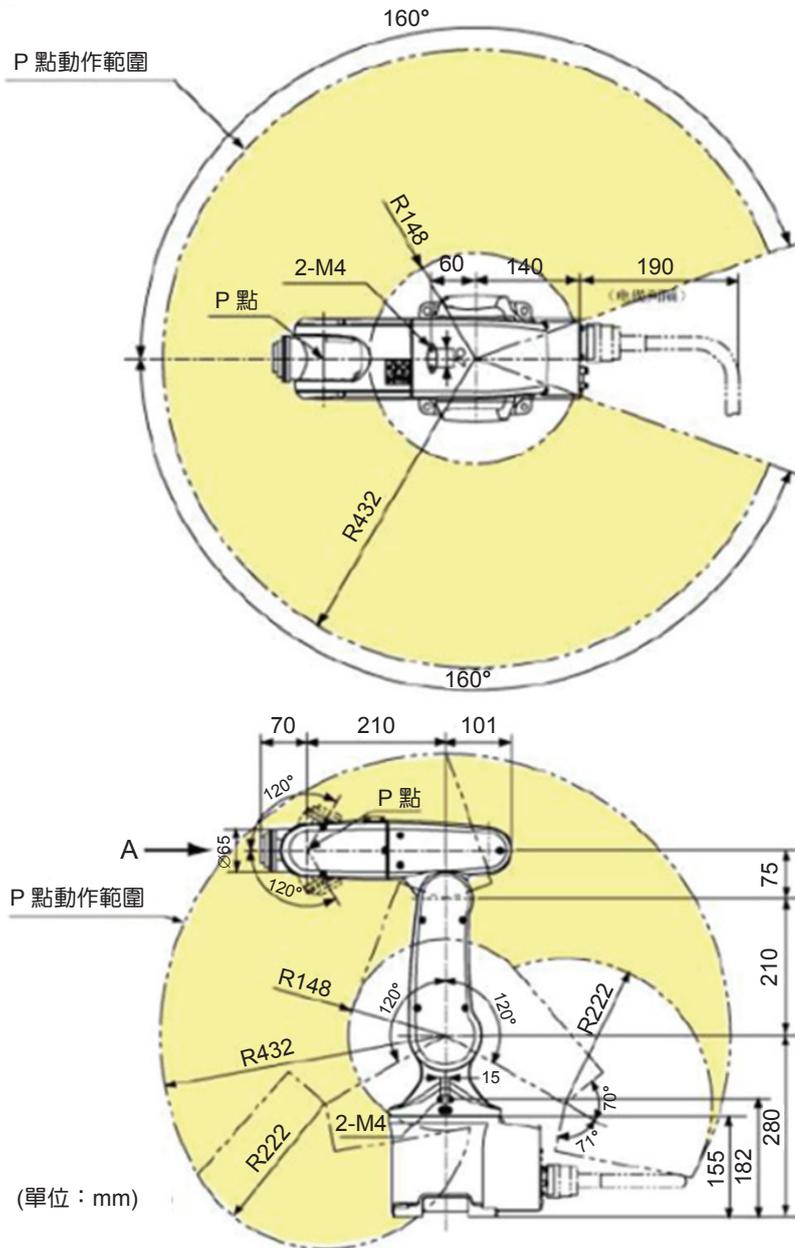


圖 9. 手臂運動範圍。

結束系統後，可藉由 MatLab 與模擬軟體 V-Rep 混編的模擬軟體進行軌跡模擬，判斷軌跡是否正確。若無誤，則可以直接輸入至機械手臂讓其軌跡重複執行；又或者進行曲線擬合，圓滑系統創建的軌跡，並且模擬出來看其變化，最後輸出軌跡參考點供機械手臂往後的運作，其詳細流程圖如圖 10。

實際上，由於機械手臂移動到定位需要的時間比影像處理與六軸加速度感測器運算出參考點資訊的時間還要長，且機械手臂須等到前一次的命令完成後才能再接收下一次的命令，故機械手臂在運動上並不順暢。

為了改善機械手臂運動不平順的問題，估算機械手臂運行至點位的時間，並利用這時間以多執行緒去擷取 5 個參考點進行最小二乘法的計算，計算出過濾手抖造成誤差的參考點，進而讓機械手臂繼續接收到下一次的命令，減少機械手臂等待時間而改善運動不順暢的問題。

1. 操作說明

操作者位於 Kinect 下方，在 Kinect 的擷取範圍內穿戴特徵手套，並執行電腦 C++ 程式。程式開始執行後，機械手臂會先移動到初始位置，到達位置後程式會開始偵測電腦是否有連接 Kinect、六軸

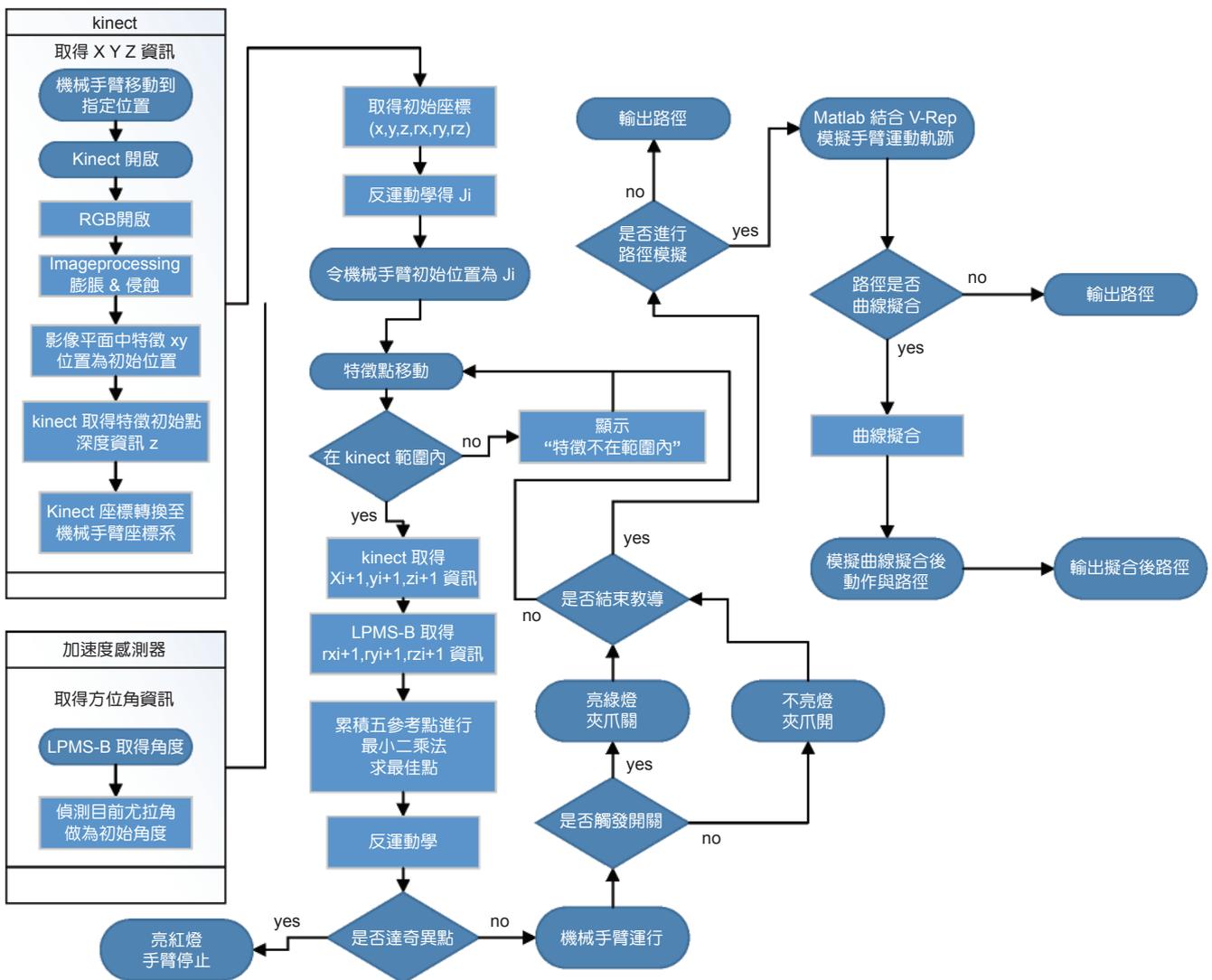


圖 10. 系統架構流程圖。

感測器、特徵手套與夾爪。當確認都連接之後，程式會開始讀取 Kinect、六軸感測器的數據，並確立 Kinect 所偵測的特徵手套的初始座標。確認無誤後透過鍵盤操作程式開始進行傳值、操控機械手臂運動的程序。操作環境如圖 11 所示。

當開始操控機械手臂運動時，Kinect 會開始偵測特徵手套在 Kinect 的 RGB 攝影機畫面內的位置與深度攝影機所偵測的深度，換算成機械手臂的座標系座標，六軸感測器偵測手部姿態，得出手套的尤拉角，將點座標與角度值透過反運動學計算出機械手臂的六軸馬達的旋轉角度，與是否該位置會到達奇異點。如果到達奇異點，程式會停止傳值給機械手臂，並使手套發出聲響、震動與亮紅燈，來發出警告；如果不會到達奇異點，程式將透過 RS232 將旋轉角度值傳給手臂控制箱，來操作機械手臂的



圖 11. 操作環境。

運動，並利用手套開關來控制夾爪的開闔。操作夾取過程如圖 12 所示。

在進行一連串動作的教導並結束程式時，程式會將每一個參考點的點座標、姿態與六軸旋轉角度分別輸出檔案，產生軌跡檔。軌跡檔可透過由 Matlab 與 V-Rep 所組成的模擬程式進行軌跡模擬與曲線圓滑的動作。

執行 Matlab 程式，按下「Simulate」鍵並選擇剛輸出的六軸角度軌跡檔，V-Rep 程式會讀取資料並模擬機械手臂的動作並顯示軌跡曲線，如圖 13 所示。按下「Curve Fitting」鍵時，Matlab 程式會進行曲線平順化並將曲線顯示於程式介面中，可再按第二個「Simulate」鍵進行平滑化軌跡的運動模擬，如圖 14 所示。按「Save」鍵可將平滑化軌跡輸出成檔案。

最後再將 Matlab 輸出之軌跡檔放入自動執行動作程式中，運行程式後便可使機械手臂重複執行先前教導的動作，以完成整個示教的程序。

四、結論

本文所發展的技術為手操作六軸機械手臂運動系統，此系統的目的是利用視覺追蹤與軌跡優化的技術，透過一個簡易又直觀的方式來遠端操作機械手臂運動，進而即時創造軌跡，供機械手臂依循運作。

軌跡優化部分加入最小二乘法，以空間中最佳參考點作直線軌跡行進。除了提升手操作機械手臂的控制慣性，也減低機械手臂因影像擷取的參考點有過多雜訊如操作者手部振動，而 Kinect 擷取後即輸出未處理過的影像資訊等產生的振動現象。另外手臂的參考點從輸入座標點 (X, Y, Z, R_x, R_y, R_z) 改由輸入六軸關節角度 $(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6)$ ，以避免機械手臂在行進間為了躲避奇異點，而造成第四軸、第五軸或第六軸的不規則與不同步動作。

當生產線上的產品時常更換，或是手臂運行的空間有障礙必須閃避的情況下，在軌跡產生的方法中，編寫程式的技術門檻高，且使用示教板教導出機器手臂運動軌跡，需花費大量時間，以及操作人員需要豐富經驗來應付。相較之下，本文提出的方法，只需啟動程式，開啟攝影機與感測器，就可以

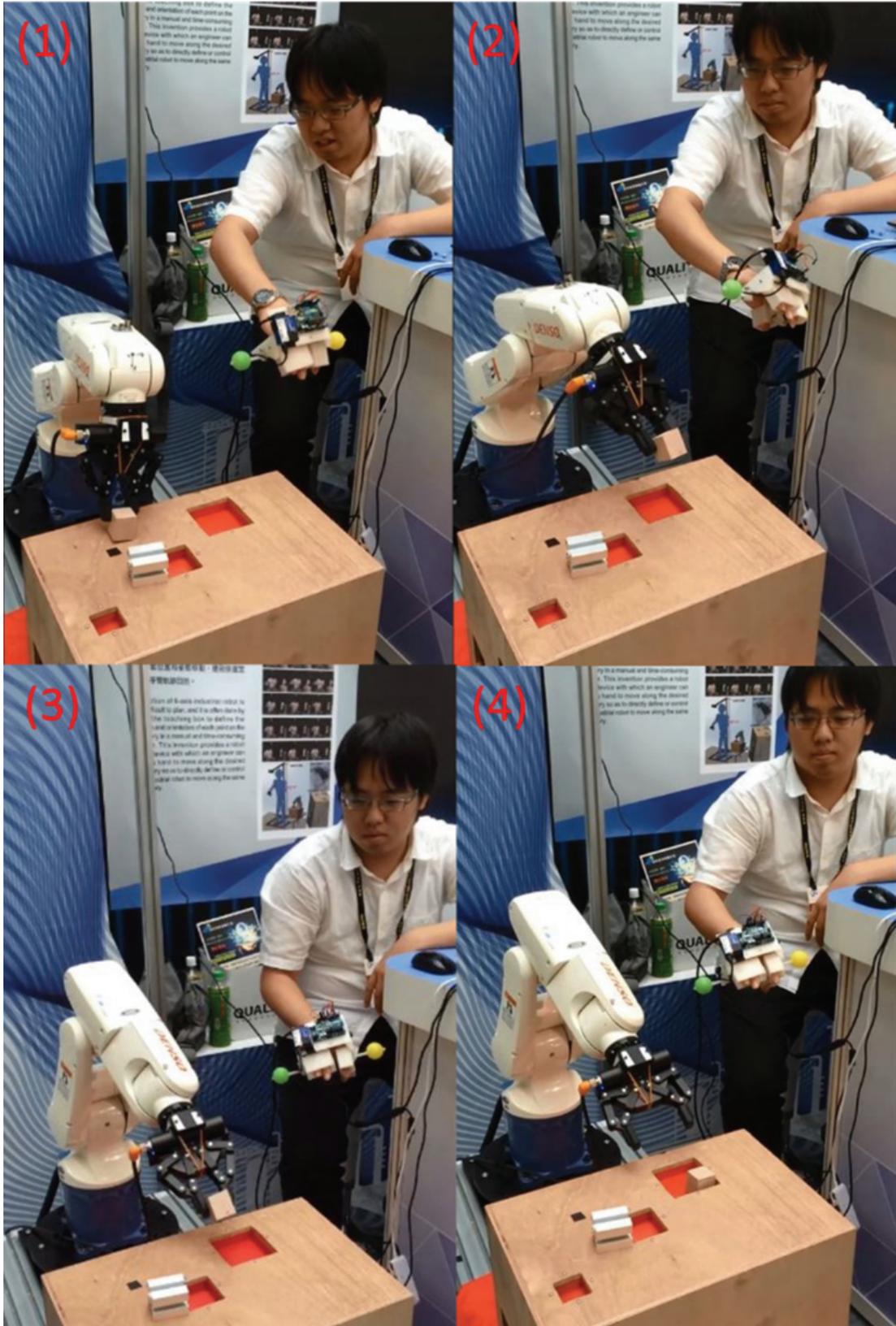


圖 12. 夾取過程。

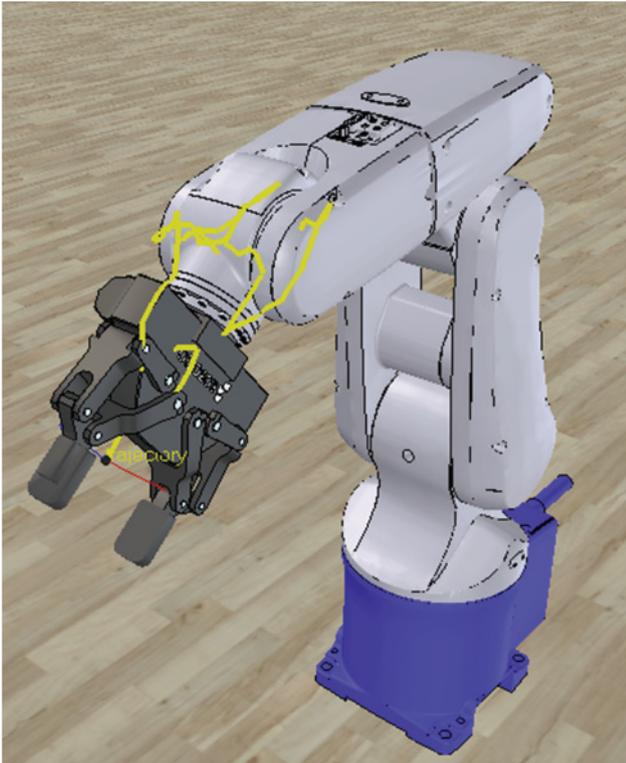


圖 13. V-Rep 模擬。

很直觀操作，記錄其運動軌跡，產生軌跡並且模擬，相對簡單、省時許多。

由於本系統中使用 Kinect 做為立體視覺的設備，其誤差即使是在目前限制深度的 550 mm – 1100 mm 之間也有著接近 4 mm 的誤差量，礙於此，而無法進行更為精密的組裝實驗，若未來改以雙相機視覺系統，同時可以在影像上利用別種演算法來加強追蹤的強健度，除能減少硬體上的誤差外也，也可以減少影像受到光源影響導致特徵物件中心與實際上有偏差的情況。

另外在操作上，機械手臂運行到參考點的時間遠大於影像與優化軌跡的時間，就算以多執行續去改善其運作流暢度的問題，還是會有些許延遲的現象產生，未來若能縮短電腦端資料傳送與機械手臂端資料接收並執行的時間，對於手操作六軸機械手臂運動的這項技術上也就能更趨近於與操作者同步，方能提升此項技術的競爭力，使這項技術更方便和直觀的應用在更多領域。

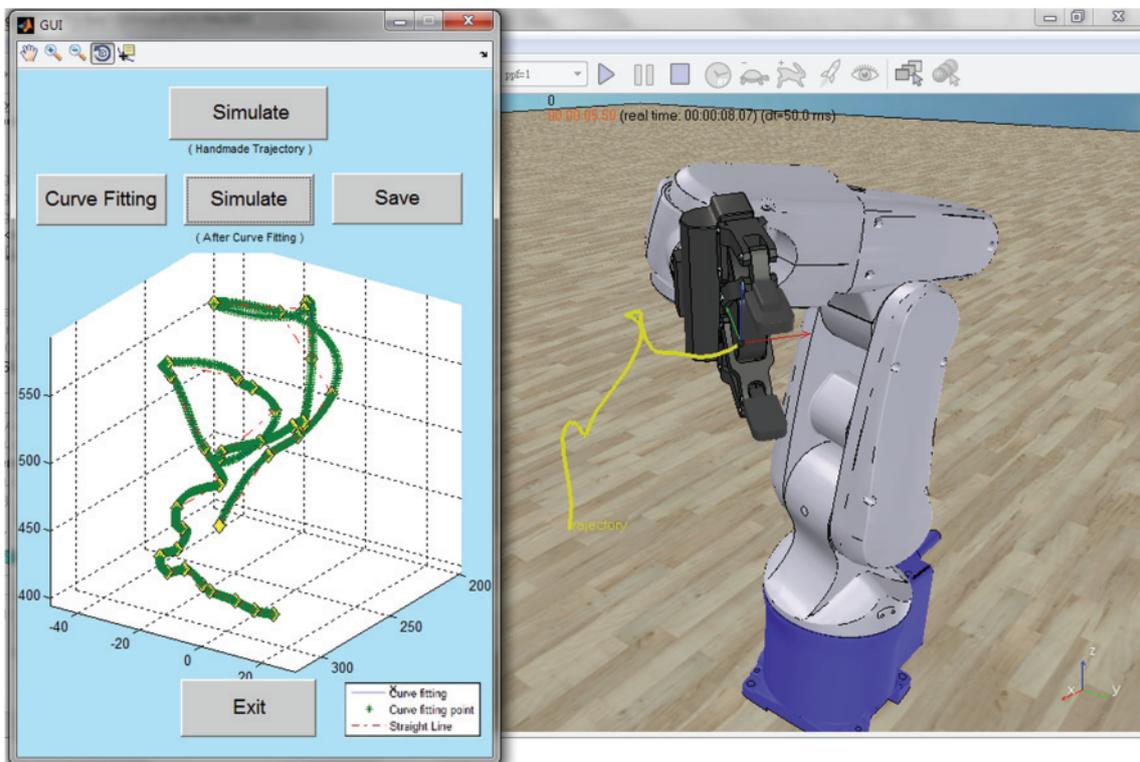


圖 14. Matlab 平滑化軌跡結果。

參考文獻

1. A. Rogowski, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, **28** (3), 303 (2012).
2. J. P. Wachs, M. Kölsch, H. Stern, Y. Edan, *Communications of the ACM*, **54** (2), 60 (2011).
3. S. Moe, I. Schjolberg, *IEEE RO-MAN Conference*, 644 (2013).
4. J. L. Raheja, R. Shyam, U. Kumar, P. B. Prasad, *2010 Second International Conference on Machine Learning and Computing (ICMLC)*, 12 (2010).
5. S. Shirwalkar, A. Singh, K. Sharma, N. Singh, *2013 IEEE International Conference on Control, Automation, Robotics and Embedded Systems (CARE)*, 1 (2013).
6. J. Pomares, P. Gil, and F. Torres, *Sensors*, **10** (8), 7303 (2010).
7. L. R. L.-Hurtado, F. A. M.-Macaya, H.R.M. V.-Coloma, M. F.-Maya, R.F. M.-Garcia, *14th Pan-American Congress of Applied Mechanics (PACAM XIV)*, (2014).
8. J. Amat, M. Frigola, A. Casals, *Experimental Robotics VII*, 21 (2001).
9. J. Amat, A. Casals, M. Frigola, E. Martin, *Experimental Robotics VIII*, 350 (2003).



林其禹為美國佛羅里達大學博士，現任國立台灣科技大學機械系特聘教授兼智慧型機器人研究中心主任。

Chyi-Yeu Lin received his Ph.D. from University of Florida. He is currently a distinguished professor in the Department of Mechanical Engineering and the Director of Center for Intelligent Robots at National Taiwan University of Science and Technology.



張書菡為國立台灣科技大學機械工程系碩士班畢業生。

Shu-Han Chung received his M.S. degree in mechanical engineering at National Taiwan University of Science and Technology.



梁中彞為國立台灣科技大學機械工程系碩士班學生。

Chung-Yi Liang is currently a M.S. student in mechanical engineering at National Taiwan University of Science and Technology.