

# 雙手臂機器人研究報告

## 擬人形雙手臂機器人之應用：人類動作模仿

### 動機與摘要

要使人形機器人和人類有相似的行為，動作的規劃非常重要。但同時對於多自由度規劃擬人運動非常複雜。透過演示學習使擬人機器人學會多樣化的類人動作，是一個有效率並且直覺的方式。透過動作擷取系統擷取人類的動作，直接產生類人動作，可以簡化撰寫程式和學習複雜動作的過程。

為了避免突然且不平順的運動，我們加入加速度和速度限制使軌跡更加平滑。此外，當雙手彼此的距離太接近時，利用虛擬彈簧的概念，自動產生排斥力使雙臂間保持適當距離。最後，我們加上了馬達輸出力量的限制，這將在機器人實際運動時，消除人類的不安全感。

綜合以上訴求，我們做出可透過實時演示教學模仿人類動作的機器人，如圖一。本系統使人們可以藉由演示教學教導機器人如何運動，而不再需要複雜的程式撰寫和規劃。在未來，這套系統可以被用在教導機器人進行清潔、生產線組裝的工作上。甚至也可應用在物理治療師協助病人進行上肢復健。



圖一 機器人透過人類的演示模仿人類動作

## 相關技術簡介

近幾年，有需多研究學者，針對人類與機器人互動的發展多有研究，為了人類能輕易的規劃機器人的動作，透過演示教學使機器人模仿，是許多研究人員採用的方法，也在許多不同的平台上驗證了他們的成果。包括小型人型機器人 NAO、DARwIn-OP、IRT、DLR 的人型機器人 Justin 也有被使用於驗證演示教學中。其中，避免自我碰撞也是重要的問題，這在 (Zlajpah, 2011) 中有提到。

此外，使用何感測器偵測人體骨架也是一個課題，一般攝影機、具深度資訊的攝影機皆是可行的選擇。

## 主要技術

### 1. 人體骨架擷取

我們提出的人類動作模仿系統的流程列在**錯誤! 找不到參照來源**。中。我們應用的動作擷取系統為微軟公司的 Kinect。在此使用 Kinect 追蹤人類手腕、手肘、和肩膀的位置，接著將這三個部位的位置當作指令送給機器人，我們藉此可得到上肢及下肢的方向。這是因為若將人的手臂的空間位置而非向量當作命令傳送給機器手臂，會因為機器手臂和人的手臂長度並不相同，造成解逆向運動學時，可能產生多組解。因此我們將手肘位置及手腕位置視為在以肩膀、手肘為圓心，上肢及下肢長度為半徑的球面上。如此可使用第一及第二軸馬達的角度來到達手肘的位置，第三及第四軸馬達的角度到達手腕的位置。

### 2. 線上軌跡產生器

關於軌跡規劃器，我們使用線上軌跡產生器產生機器人的運動軌跡。使用該產生器，我們可以設定最大速度及最大加速度，因此可以避免所欲追蹤的目標位置突然改變，並使運動軌跡更加平滑，如**錯誤! 找不到參照來源**。首先，我們計算每個取樣時間欲到達的位置：

$$X_{target}(t) = X_{Kinect}(t_{i-1}) + \frac{X_{Kinect}(t_i) - X_{Kinect}(t_{i-1})}{\Delta t_{Kinect}}(t - t_{i-1}) \quad (1)$$

$\Delta t_{Kinect}$  為 Kinect 的取樣時間， $X_{Kinect}(t_{i-1})$  為上一個 Kinect 取樣點， $X_{Kinect}(t_i)$  為最新的 Kinect 取樣點。如果所有的  $X_{target}(t)$  皆可在現在的速度和加速度限制下達成，

就會使用該經由點(via-point)；反之，則根據既有限制產生新的經由點。這些經由點會作為命令位置給機器手臂，直到手臂到達目標位置 $X_{target}(t_i)$ 。由下式可以算出命令速度：

$$S = X_i^{target} - X_i^{cmd} \quad (2)$$

$$V_{i+1}^{cmd} = \frac{S}{\Delta t} \quad (3)$$

S代表命令點和最後目標點剩餘的距離， $\Delta t$ 是兩個命令之間相差的時間。接著命令速度 $V_{i+1}^{cmd}$ 會受以下式子的限制：

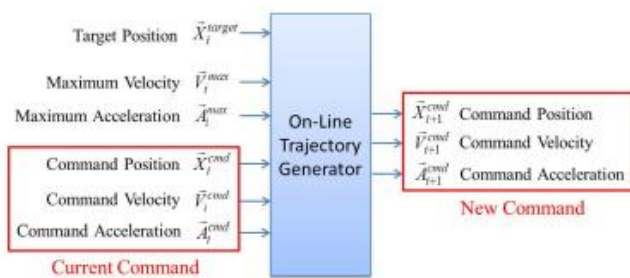
$$|V_{i+1}^{cmd}| \leq V^{max} \quad (\text{錯誤! 尚未定義書籤。})$$

$$|V_{i+1}^{cmd} - V_i^{cmd}| \leq A^{max} \cdot \Delta t \quad (\text{錯誤! 尚未定義書籤。})$$

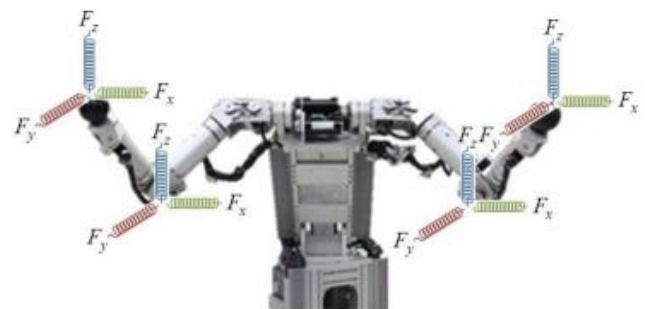
$$|V_{i+1}^{cmd}| \leq \sqrt{2A^{max} S} \quad (\text{錯誤! 尚未定義書籤。})$$

在本機器手臂使用的軌跡規劃器中，捨棄以複雜的高次曲線產生軌跡，而以簡單的等加速度公式，線上產生機器手臂的軌跡：

$$X_{i+1}^{cmd} = X_i^{cmd} + \frac{1}{2}(V_{i+1}^{cmd} + V_i^{cmd}) \cdot \Delta t \quad (\text{錯誤! 尚未定義書籤。})$$



圖二 線上軌跡規劃器的介面



圖三 應用虛擬彈簧的概念防撞

### 3. 安全機制

上述提到的乃是關於建立這套人類動作模仿系統的技術，接著說明安全機制。首先，我們應用了虛擬彈簧的概念於預防擬人機器人雙手互相碰撞。當兩隻手臂彼此靠近到

一定距離後，即啟動該彈簧，產生一個排斥力防止雙手碰撞，如**錯誤！找不到參照來源**。這個方法的優點是，因為我們不以改變機器人軌跡的方式處理碰撞，所以可以不用考慮在避障時複雜的軌跡規劃。另一個是針對馬達輸出的力限制，因為當手臂現在位置和命令位置間的誤差越來越大時，經過控制器後可能會產生過大的力量。因此我們根據下面三式作出限制：

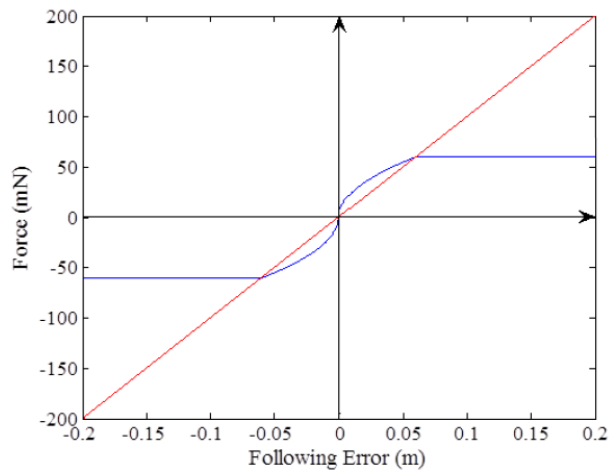
$$|F_i| \leq F_{saturation} \quad (\text{錯誤！尚未定義書籤。})$$

$$|F_i| \leq \sqrt{c(X_i^{cmd} - X_i)} \quad (\text{錯誤！尚未定義書籤。})$$

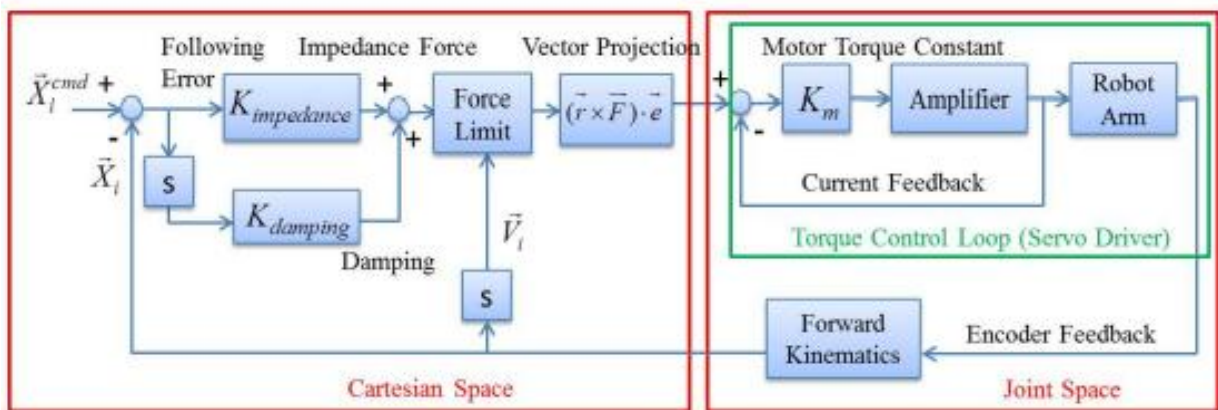
$$|F_i| - |F_{i-1}| \leq \Delta F \quad (\text{錯誤！尚未定義書籤。})$$

其中， $X_i^{cmd} - X_i$ 代表手臂現在位置和命令位置間的誤差， $F_{saturation}$ 是一個如圖四的曲線， $c$ 為一個可調整的常數係數。

最後，機器人整體的控制架構如圖五。



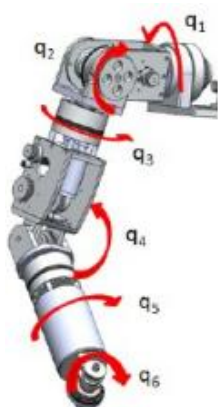
圖四 對輸出力的限制



圖五 機械手臂的整體控制架構

## 實驗結果

在我們實驗當中，使用的手臂如圖六及表一。我們預期在加上速度和加速度的限制後，機器手臂在跟隨人類所演示的動作會有些許延遲。另外，輸出力量的限制，也會在使用者以超過既定速度限制運動時，使機器手臂不會以太快的速度追上人類手臂的姿態。



圖六 機器手臂的動力學結構

Degrees of Freedom (DOFs)	Shoulder: 3 DOF (Roll, Pitch, Yaw rotation) Elbow: 1 DOF (Curving elbow) Wrist: 2 DOF Total: 6 DOF
Dimension	Shoulder length: 175 (mm) Upper arm length: 300 (mm) forearm length: 300 (mm) fist length: 7 (mm)
Weight (include mechanism)	Shoulder: 2.3 (kg) Upper arm: 3.3 (kg) forearm: 2.2 (kg) fist: 0.5 (kg) Total: 8.3 (kg)

表一 機器手臂規格

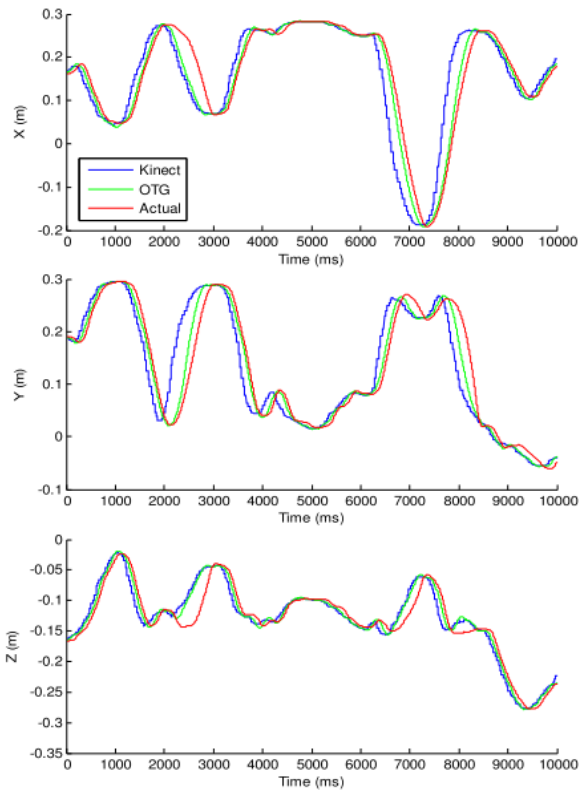
如同所預測的，在圖七中可以發現，經過線上軌跡規劃器後，原本 Kinect 擷取人類骨架時，因雜訊及較低的取樣頻率所造成的跳動皆被濾掉了。而在圖七中斜率變化太大的部分，也可看出加速度限制及速度限制所造成的延遲。

在圖八中，我們故意設計了一以超過既定的速度限制運動的軌跡，當作命令輸入給機器手臂。此時可以更明顯的看出，輸出力量限制造成的位置追蹤延遲。而由 Kinect 所擷取到的速度、加速度的大幅度變化，也被適當的限制住，使運動更加平滑。

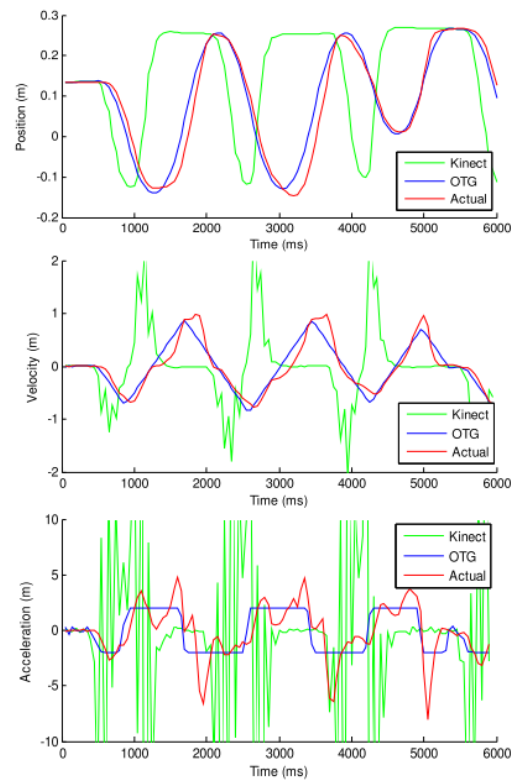
## 未來應用

我們提出的人類動作模仿系統，使人們可以藉由演示教學教導機器人如何運動，也可當作直覺式地遠端遙控機器人的方式。因為已不再需要複雜的程式撰寫和規劃，也使更多的人可以輕易的操縱機器人，達成他們希望藉助機器人完成的工作。在未來，

這套系統可以被用在教導機器人進行重複性的工作，如復健師透過演示教學，設定穿戴在病人手上的復健手臂的軌跡，協助病人完成上肢復健。在清潔、生產線組裝的工作上，也可有效運用我們提出的演示教學方式，輕易完成動作規劃。



圖七 左手手肘 XYZ 軸位置對時間圖



圖八 左手手肘位置、速度、及加速度對時間圖