

計畫名稱

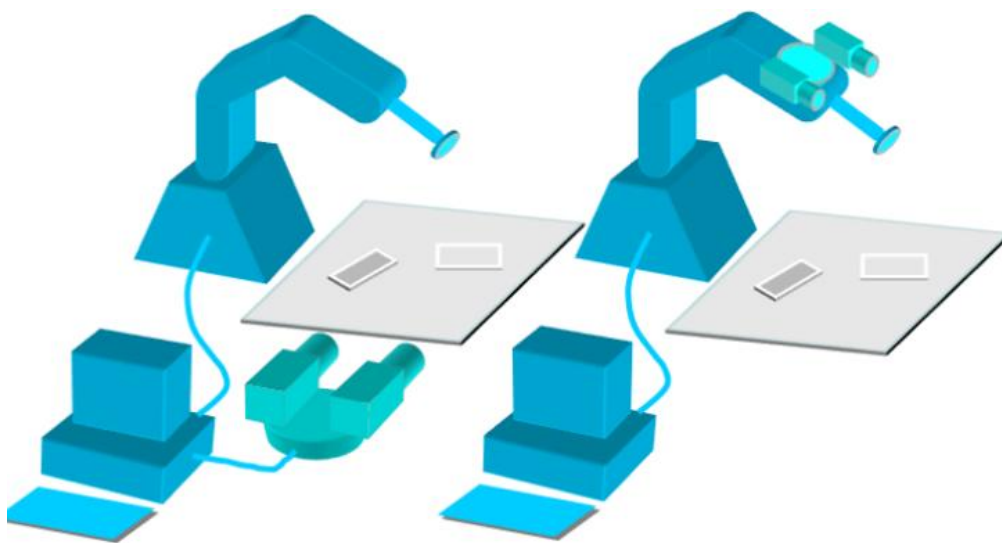
工件追蹤及抓取之視覺整合影像處理系統

摘要：

本技術為一工件追蹤與辨識的影像處理系統，可應用在高速並聯式四軸機械手臂、多軸機械手臂，等工業組裝流程上。針對機械手臂，本視覺整合影像演算法能夠有效率的利用視覺系統辨識工件的位置、旋轉方向與角度，並且能夠持續追蹤工件運動，進一步與機械手臂進行整合，幫助機械手臂在與物件保持一定運動以後，準確將其抓取並進行整列。傳送帶上的物件，允許其隨意位置及方向姿態，透過視覺伺服系統，機械手臂能夠準確判斷其抓取點及旋轉角度，將所有物件按照要求的姿態重新擺放。利用機械手臂，對物件做高速追蹤，是本視覺整合影像處理系統一大特色，不但結合了視覺算法提供即時修正，更體現了高速並聯式四軸機械手臂本身的速度優勢。以上場景設計，皆以實際工廠情境為考量，兼具學術與產業創新應用的雙重價值。

研究的問題所在及研究動機：

Delta Robot 在生產線上具有十分廣泛的用途，在工業轉型自動化走向高產能高精度降低人事成本扮演十分重要的角色，目前國外已經有許多工廠廣泛應用 Delta Robot 在食物封裝，零件整列等用途。Delta Robot 具有高速移動與高精度的優點，為了使其高速移動的優勢有效地應用在產線中，相匹配的視覺伺服系統也是十分重要的一環。為了達到即時追蹤工件並使 Delta Robot 能夠與工件同步，本系統必須具備高速的物體辨識與追蹤系統，同時能夠精確的控制 Delta Robot 的運動。

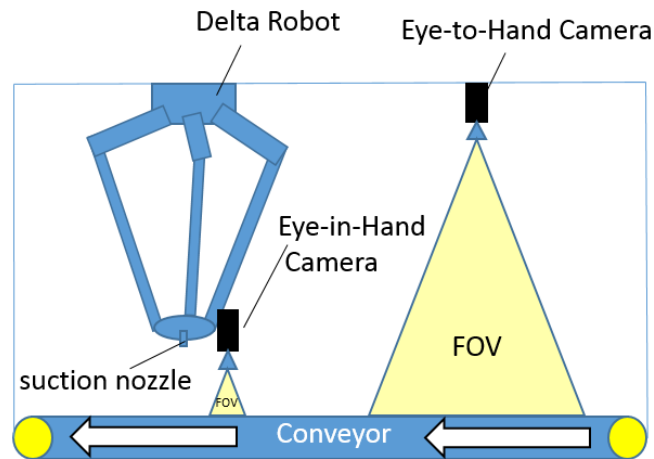


Eye-to-hand Robot

Eye-in-hand Robot

技術研究方法及創新性：

因此我們設計了一“動”一“靜”兩套相結合的視覺伺服系統，希望最大程度的擴展 Delta Robot 的“視覺”行程。在更早的位置、更大的 FOV 的情況下，利用 Eye-to-hand 系統對工件做粗略辨識，確定 end effector 需要等在什麼位置等待工件，才能使工件能通過其夾爪上 Eye-in-hand Camera 的 FOV。而後 end effector 通過高解析度的 Camera 完成即時及精確的追蹤。



對於整體的規劃，我們希望能夠在現有平台上同時驗證影像追蹤與辨識的演算法，並且盡量符合實際業界的標準與需求。工件連續送料透過影像伺服系統選定 Delta Robot 準備抓取的目標工件，並且對工件進行追蹤，追蹤工件到一定的行程後，影像系統對工件進行姿態辨識，最後透過吸嘴抓取工件，並將工件根據不同形狀進行整列。

整個視覺伺服系統規畫使用兩台攝影機，一台為固定式的低解析度攝影機，另外一部則裝備在 Delta Robot 的末端點上，具有較高的解析度，用於追蹤與姿態辨識。為了達到高精準的工件追蹤與姿態辨識，將攝影機裝備在末端點上是最佳的選擇，不但能及時觀察到工件的位置與速度，即使工件的狀態在傳送途中有所改變，也能夠隨時進行修正。但是將攝影機裝在末端點會造成可視範圍變小，而且會隨著 Delta Robot 的運動改變，這項特性會造成攝影機通常只能觀測到一個工件，因此 end effector 在何處等待工件，保證工件能完整經過其 FOV 是一個必須解決的問題，同時，當多個工件進入傳送帶時，單一 Eye-in-hand 模式也無法進行任務規劃，導致整體系統工作效率降低。

因此，必須使用另一台固定式的攝影機彌補這個缺點，固定式的攝影機，具有較大的可視範圍，較低的解析度能夠節省整體運算資源。固定視攝影機的主要功能是用以觀測工件進料的狀況，進行任務排程，比如說同時有三個工件進入傳送帶，以 Delta Robot 的能力最多可以抓取其中兩片工件，若只使用安裝在末端點的攝影機，受限於可視範圍，可能造成抓完第一片工件後，找不到其他工件；

但是透過固定式的攝影機，能夠推測工件大致的位置，告知末端點的攝影機工件可能的位置，讓 Delta Robot 能夠直接到機率較高位置進行搜索，再進行辨識與抓取。

座標轉換

由於相機座與機器人座標並不相同，我們需要事先得知不同座標系統之間的轉換才能順利將所有系統的訊息整合起來。我假設要抓取的點為 P ，其在相機座標系下的座標為 $[x,y,z]$ ，且該點投影到影像座標系中的座標為 $[u,v]$ ，我們希望能得到目標點在這兩個座標系下的轉換關係式。我們令 $\dot{r} = [T_x, T_y, T_z, \omega_x, \omega_y, \omega_z]^T$ ，該式表示了移動速度與角速度，這其中我們只使用移動速度的部分，將角速度忽略的原因在於工件只在 $x-y$ 平面上流動，並不包含轉動的情形。另外我們令 $\dot{f} = [\dot{u}, \dot{v}]^T$ 來表示工件在影像座標下的速度。被廣泛使用在視覺伺服系統中的影像亞可比矩陣 J ，可以用來表示我們所需的轉換，也就是 $\dot{f} = J\dot{r}$ ，可以表示如下

$$\begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\lambda}{z} & 0 & \frac{u}{z} & \frac{uv}{\lambda} & -\frac{\lambda^2 + u^2}{\lambda} & v \\ 0 & -\frac{\lambda}{z} & \frac{v}{z} & \frac{\lambda^2 + v^2}{\lambda} & -\frac{uv}{\lambda} & -u \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \\ \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix}$$

為了減化我們的問題到 2D 的維度下，我們假設工件在工作空間中的高度是固定不變的。也就是說影像中的每個點在機器人的空間座標中都有相同的深度值，也就是說 z 是一個固定的常數。而且工件只在 $x-y$ 方向流動並不會繞著機器人旋轉，我們也可以省略掉角速度項 ω 。在以上幾個條件下，是用於我們系統的影像亞可比矩陣 J 可以修改程如下，

$$\begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\lambda}{z} & 0 \\ 0 & -\frac{\lambda}{z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \end{bmatrix}$$

優先度規劃

實驗中工件是被連續且位置隨機地放到傳送帶上。該任務示意圖展示如圖 3。

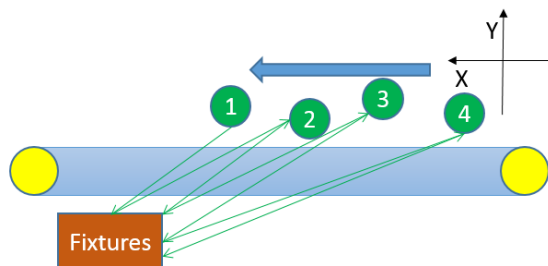


Fig. 3

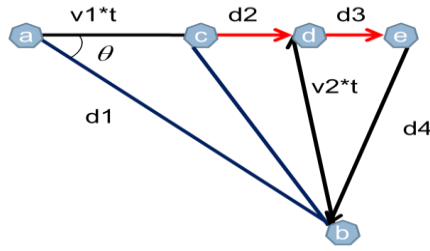


Fig. 4

我們定義吸嘴從治具盒出發吸取一片工件再回到治具盒的時間為 t 。細節部分可見圖示 4。當吸嘴從治具盒位置 (b) 出發之時，有一工件在位置 (a)。我們令傳送帶速度為定值 v_1 ，機器人的速度為 v_2 ，且 t 為工件從 a 點流動到 c 點的時間。在理想情況下，經過 t 時間後工件與吸嘴同時到達點 c 並可實行抓取，但實際上由於各種的影響因素我們設定一緩衝區 d_2 ，令吸嘴在 d_2 點開始跟著工件移動 d_3 距離，由以上資訊我們可以計算出總共消耗時間 T 為

$$T = t + \frac{d_3 + d_2}{v_1} + \frac{d_4}{v_2}$$

為了實現一個智慧型的抓取順序規劃系統，我們引入了有向圖並將每個節點設定為工件，抓取的耗時 t 設定為邊的權重。在此情形下，最小的總耗時相等於有向圖的最短路徑，且每個節都有明確的編號對應到已編號的工件上。我們在此加入三個條件到有向圖中以優化計算效能。首先是編號低的工件的抓取順序必定在編號高的工件之前，若不如此則會造成更多來回走的浪費。第二條限制為，某些路徑的消耗明顯大於機器人的速度限制我們將之去除。最後則是在我們完成前兩項限制後，所留下的路徑中我們只保留節點最多的路性，節點越多代表相同時間內抓取的工件數越多。在採用這三條限制之後，我們可以得到簡明的有向圖，運用該圖做最短路徑算法可以有更高的效率。三個條件間的變化我們可以在圖 4 的有向圖上清楚看到。

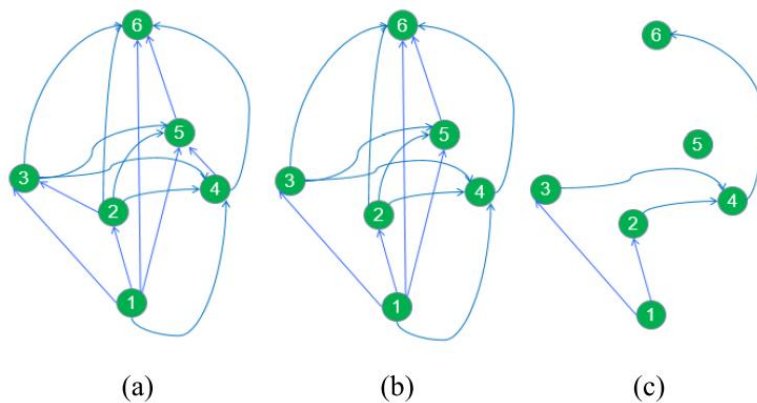


Fig. 5

預期研究成果：

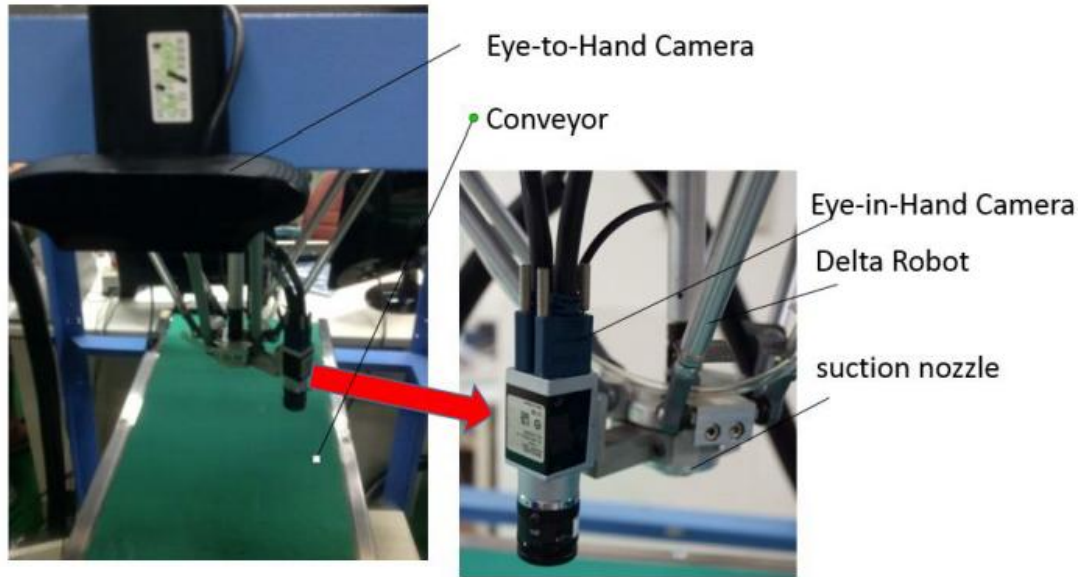
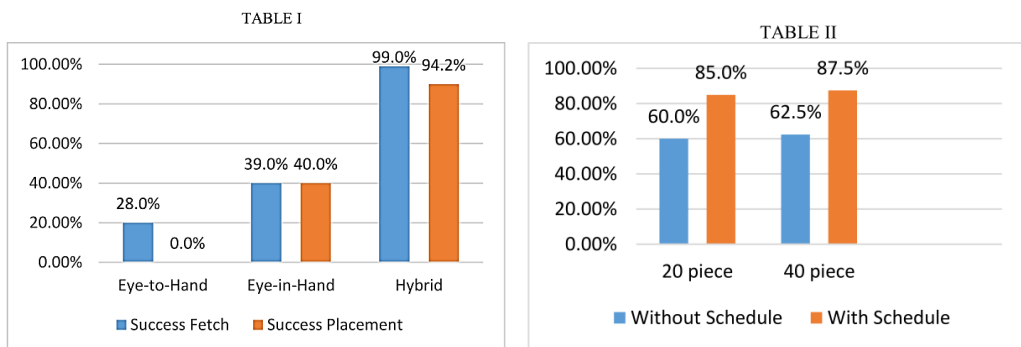


Fig. 6

在這個實驗中，我們將展現兩套實驗來分別表示混合系統與抓取順序規劃的成果。首先是對於混合系統結果的抓取與放置成功率的提高，第二是加入了抓取順序規劃系統後的改進情況。在第一部分中，工件被隨機地放置在傳送帶上，包含了隨機的擺放位置與擺放角度，並且在這部分實驗中我們不希望有工件因為機器速度上的限制來不及抓取而失誤，所以每片工件間都有適當的間隔。該實驗(如表 1)可以清楚展示混合系統的高抓取成功率以及高放置成功率。

第二部分實驗我們將比較有無抓取順序規劃間的差異，實驗中我們將工件排列成固定的模式送到傳送帶上，來驗證抓取順序規劃系統的效能。其中所謂固定模式指的是固定擺放位置及固定擺放角度。在此實驗中我們故意將一些工件擺放的較為緊密，使機器人無法有足夠的時間抓取所有的工件，因此，若機器人總是優先抓取最接近的工件，必定會有工件無法被抓取到。本實驗的結果如表二所示，從 20 片中抓取 12 片曾盡為抓取 17 片，約增加 40%的抓取率；若將實驗片數加倍也得到相同的比率。



產業應用及其重要性：

該混合系統可以利用固定是相機的廣大視野來做多工件的抓取順序規劃，且針對

固定式相機的死角之處利用安裝在末端執行器上的相機來擴大工業用並聯式機

器人的工作空間。同時安裝在末端執行器上的相機為高精度高速相機，可以實現實時高精度的追蹤與姿態估測。

在如此的工作條件下，系統將可以實現複雜的組裝工程，而非現在主流的定點式排放物件的簡單工作，也不需要事先以人工的方式將欲組裝的工件擺放在固定位置，完成後的系統將擁有辨認特定工件並將其放置到移動中的相對位置的能力。

此種動態組裝的系統將可以大幅度減少生產線上的勞力成本與時間成本，同時以其極為精準的系統效能提升組裝品的品質，相信可以為在地的相關產業創造新一波的產值高峰。