



# 手眼協調之校準分析

Hand-Eye Calibration Analysis

張文中

國立臺北科技大學  
電機工程系

翁逸寰

國立臺北科技大學  
電機工程系

---

---

## 關鍵詞

---

---

- 眼在手 Eye-in-hand
- 眼看手 Eye-to-hand
- 手眼校準 Hand-eye Calibration
- 手眼協調 Hand-eye Coordination
- 立體視覺 Stereo Vision

---

---

## 摘要

---

---

配備立體視覺之機械手臂系統若欲展現手眼協調之任務操作能力，必須執行離線或線上手眼校準，以確立機械手臂末端致動器與攝影機間之座標轉換關係。本研究針對手眼協調提出一種可於離線施行之校準方法並應用於以雙眼視覺為基

礎之機械手臂控制系統。本文分別針對眼在手及眼看手之架構分析機械手臂與雙攝影機之手眼協調關係，並由實驗驗證其正確性。

In order to accomplish hand-eye coordination tasks using a robotic manipulator with stereo vision, an offline or online hand-eye calibration procedure should be performed to determine the coordinate transformation between the robotic manipulator and the vision system. In this paper, offline hand-eye calibration approaches are employed for both eye-in-hand and eye-to-hand configurations. The proposed calibration procedures have been successfully validated by experimenting with an industrial robotic manipulator equipped with a two-camera vision system.



## 1. 前言

由於現今製造業對於工廠自動化之需求殷切，機械手臂已經成為工廠中不可或缺的設備，但它們通常只是重複處理固定的任務，且這些任務通常必須事先規劃，再經由一位有經驗的操作員操作教導，使機器人沿著固定的軌跡運行以完成工作，因此在功能上受到很大的限制。為了使機械手臂能有更好的工作效能，攝影機已廣泛地運用於機器人系統中，藉攝影機所感測的訊號可讓機械手臂能夠精準地完成自主式任務，亦可使機械手臂的控制更有強健性。

人類是經過漫長時間所演化出的成功物種，故模仿其行為模式不啻為打造具備高智能機器人的捷徑。使用立體視覺架構來完成任務的模式，正如同人類的行為模式，藉由雙眼(兩支攝影機)獲得影像資訊，然後交給大腦(電腦)做判斷，最後命令雙手(機械手臂)做出動作。然而不論是哪一種任務，在對任務進行控制器設計時，都一定需要使用到雙攝影機座標相對於機械手臂基底座標的旋轉矩陣(rotation matrix)和平移向量(translation vector)等參數，這些參數即可確立手眼協調關係。就攝影機放置方式而言，可分為兩種：一、攝影機架設在機械手臂末端致動器(end-effector)上，如圖 1.1，攝影機將跟隨機械手臂移動，稱為眼在手(eye-in-hand)。二、攝影機架設在工作環境中(workspace)，如圖 1.2，該攝影機固定於環境中，與機械手臂基底(base frame)之關係是固定的，稱為眼看手(eye-to-hand)。

在圖 1.1 及圖 1.2 的架構中，基底(base frame)和末端致動器(end-effector)之間存在著一相對的

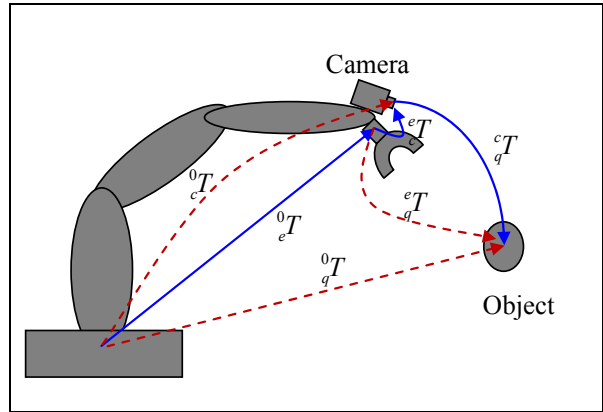


圖 1.1 眼在手之架構

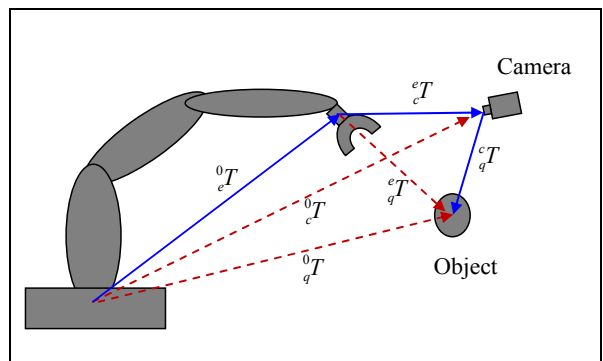


圖 1.2 眼看手之架構

座標轉換關係 ${}^0T_e$ ，而末端致動器和攝影機之間也存在著一個相對的座標轉換關係 ${}^eT_c$ ，另攝影機與物體之間也存在著另一個座標轉換關係 ${}^cT_q$ 。其中末端致動器相對於基底之座標轉換關係 ${}^0T_e$ 可由機械手臂 D-H 參數由順向運動學座標轉換矩陣求得[1]，而其他座標轉換關係，如 ${}^0T_c$ 、 ${}^0T_q$ 及 ${}^eT_c$ 可由上述轉換關係直接推得。

## 2. 眼在手架構之手眼校準

### 2.1 校準步驟

眼在手架構即攝影機架設於機械手臂末端，

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】340期・100年7月號

每期220元・一年12期2200元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

訂書專線：03-591-9342

傳真訂購：03-582-2011

機械工業雜誌官方網站：[www.automan.tw](http://www.automan.tw)