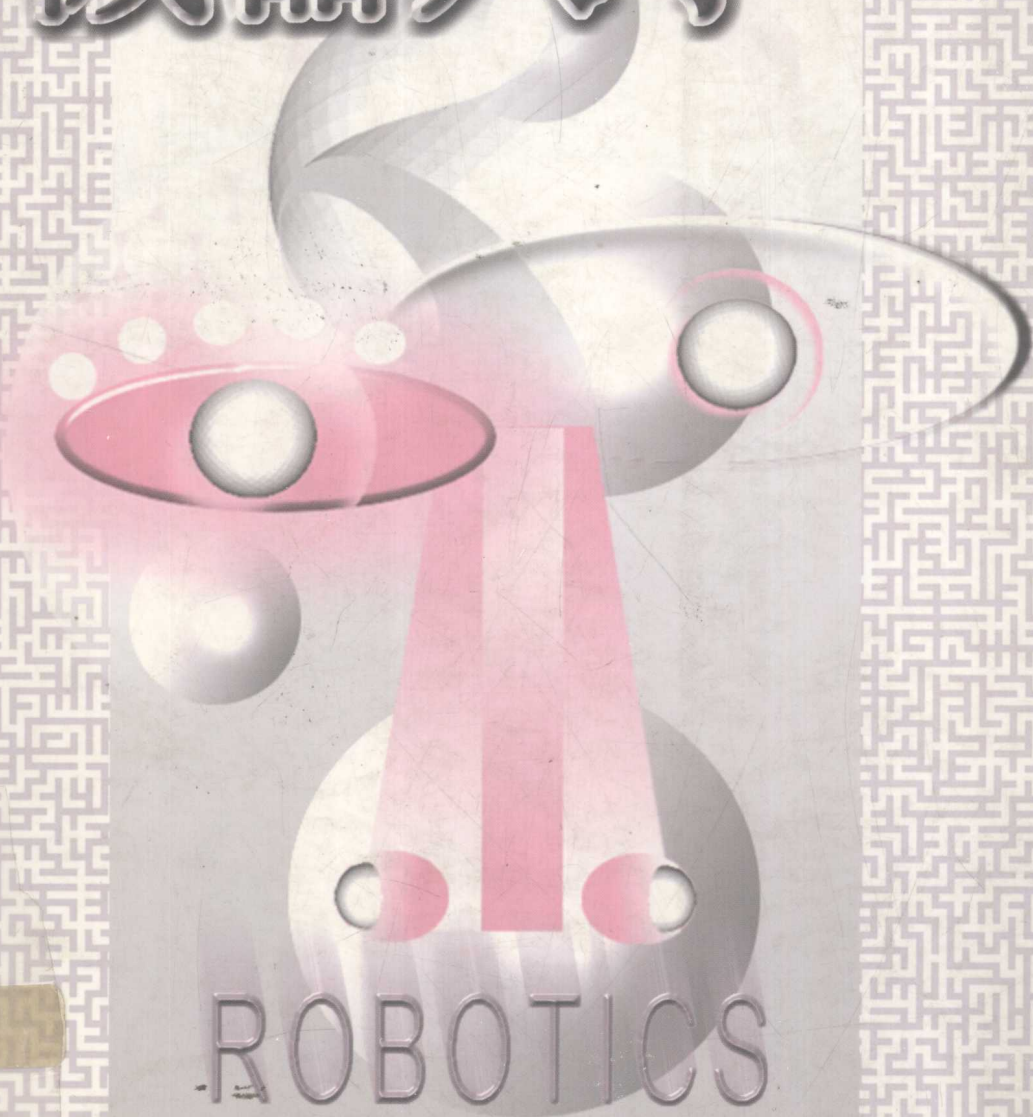


機器人學



晉茂林 著
國立編譯館 主編



ROBOTICS

WUNAN BOOKS

機 器 人 學

晉茂林 著

國 立 編 譯 館 主 編
五 南 圖 書 出 版 公 司 印 行

機器人學

作 者 / 晉茂林

責任編輯 / 陳佩芬

主 編 者 / 國立編譯館

著 作 / 國立編譯館

財產權人

出 版 者 / 五南圖書出版有限公司

登 記 號 : 局版台業字第 0598 號

地 址 : 台北市大安區 106

和平東路二段 339 號 4 樓

電 話 : (02) 27055066 (代表號)

傳 真 : (02) 27066100

劃 撥 : 0106895-3

網 址 : <http://www.wunan.com.tw>

電子郵件 : wunan@wunan.com.tw

發 行 人 / 楊 榮 川

門 市 / 五南文化廣場

總 店 : 台中市區 400 中山路 2 號

電 話 : (04)2260330

沙 鹿 店 : 台中縣沙鹿鎮 433 中正街 77 號

電 話 : (04)6631635

逢 甲 店 : 台中市西屯區 407 逢甲路 218 號

電 話 : (04)2555800

高 雄 店 : 高雄市新興區中山一路 290 號

電 話 : (07)2351960

製 版 / 欣緯製版有限公司

印 刷 / 容大印刷事業有限公司

裝 訂 / 一紘裝訂行

中華民國 89 年 2 月初版一刷

ISBN 957-11-1999-7

定價 360 元

(如有缺頁或倒裝, 本公司負責換新)



機器人學是一門綜合學科，它是由機械工程、電子工程、電腦科學及工業工程等學科組合而成，可予以整合做為控制機器人作動的基本理論。其中包括運動學、動力學、軌跡規劃、控制理論、程式語言及影像處理等知識領域，構築成為未來發展工業自動化所不可或缺的要件。

本書共分為十章，重點放在機器人座標系統介紹；機器人運動學分析；機器人指尖微量變動與賈可賓齊次變換矩陣的研究；機器人軌跡產生方式與規劃；經由動力學方法推導得系統運動方程式；及機器人控制與感測器等。於各章裡面學有許多例題及詳解，而每章後面所附之習題備有教師手冊詳解，可提供給將本書當做教材之教師使用。

本書內容編寫方式是由淺入深，各章獨立而其間又不失關聯性，若對特定章節有興趣者可直接切入研究，不致影響其閱讀前後的連貫性。作者曾經採用本書大部分內容做為大四及機械所「機器人學」這門課教材。書中目錄有標註*記號者為較艱澀部分，大學部學生可略去不讀。

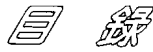
當前國內產業界面臨升級轉型期，急需引入自動化的觀念與技術，以降低生產成本。而本書正好提供了自動化必須具備的基本知識理論，希望藉由本書的介紹，促使讀者對於機器人有深一層的瞭解，進而引發深入研究的興趣，構成良性互動循環。

由於作者知識有限，書中內容難免有不足或錯誤之處，祈讀者給予批評指正。

晉茂林 編著

於海洋大學機械系

一九九八年二月



前言

第1章 機器人簡介 ·1·

- 1.1 源起、定義及組成要件 1
- 1.2 機器人型態 2
- 1.3 機器人應用實例 3
- 1.4 機器人學背景、工作範疇及目的 4
- 習題 5

第2章 機器人座標系統 ·7·

- 2.1 座標系簡介 7
- 2.2 座標變換 7
- 2.3 示例 23
- 習題 29

第3章 機器人運動學 ·33·

- 3.1 運動學簡介 33
- 3.2 齊次變換矩陣 T 44
- 3.3 手部姿態變換矩陣 T_{OH} 55
- 3.4 D-H 連桿座標系變換 64
- 3.5 示例 69

* 3.6 關節軸機器人之手臂解 (軸解) 88

習 題 94

第4章 機器人指尖微量變動與賈可賓齊次變換矩陣J ·97·

4.1 簡介 97

4.2 賈可賓矩陣 98

4.3 微量運動 117

4.4 相對座標系微量運動轉換 122

4.5 賈可賓矩陣演繹法 130

習 題 141

第5章 機器人軌跡產生與規劃 ·145·

5.1 機器人動作簡介 145

5.2 軌跡產生與控制法 145

習 題 185

第6章 機器人動力學 ·189·

6.1 動力學簡介 189

6.2 質量慣性矩陣 192

6.3 動力方程式推導 193

6.4 示例 201

習 題 232

第7章 機器人控制 ·235·

7.1 機器人控制系統簡介 225

7.2 手臂定位控制 241

- 7.3 單一質量系統位置控制 245
- 7.4 單一質量系統位置追蹤控制 246
- 7.5 計算力矩控制法則 248
- 7.6 力控制 249
- * 7.7 位置與力混合控制 253
- 習題 255

第8章 機器人感測器

•257•

- 8.1 感測器簡介 257
- 8.2 接觸式感測器 257
- 8.3 非接觸式感測器 261
- 8.4 位置感測器 263
- 8.5 速度感測器 266
- 8.6 信號轉換器 268
- 習題 283

第9章 手臂末端操作器

•285•

- 9.1 手臂末端操作器定義 285
- 9.2 手臂末端操作器分類 285
- 9.3 真空末端操作器 286
- 9.4 末端操作器的順應性 286
- 9.5 末端操作器設計準則 287
- 習題 288

第10章 機器人展望

•291•

- 10.1 前景展望 291

參考文獻

•295•

習題解答

•297•

第 1 章

機器人簡介

1.1 源起、定義及組成要件

機器人的發展起源於1970年，其延遲發展的兩個因素為：

1. 經濟原因：通貨膨脹、機械人及人工費用昂貴，及其相關工業發展的延遲。
2. 硬體原因：微處理機的發展不夠完備。

機器人定義：根據美國機器人學會「**機器人是指可以重複改變程式，具有多功能的機械手臂，經由程式的改變來執行移動物料、工件、工具，或其它特殊裝置的工作**」。

機器人的組成要件有手臂、致動器、回授感測器、動力供應器及控制器。

1. 操縱器（**機器人手臂**）包含基座、肩膀、手肘、手腕、夾具或工具。機器人手臂執行機器人實際的工作，其組成零件包括有軸承、驅動器、致動器、回饋設施，以及用來固定以上所有設施的支撐架構。
2. 致動器：有電壓、油壓或氣壓馬達等，可直接驅動或經由齒輪、鏈條，或滾珠螺桿來間接驅動各種不同座標系的運動。
3. 常用的回授感測器有位置回授的極限開關、數位式光學編碼器、旋轉編碼器、類比式電位計或速度回授的轉速器。
4. 動力供應器的型態可分為：(1)氣壓式如空氣壓縮機；(2)油壓式如泵浦、濾清器、儲存槽；及(3)電壓式如電動馬達。
5. 控制器相當於人類大腦，是用來控制機器人移動。

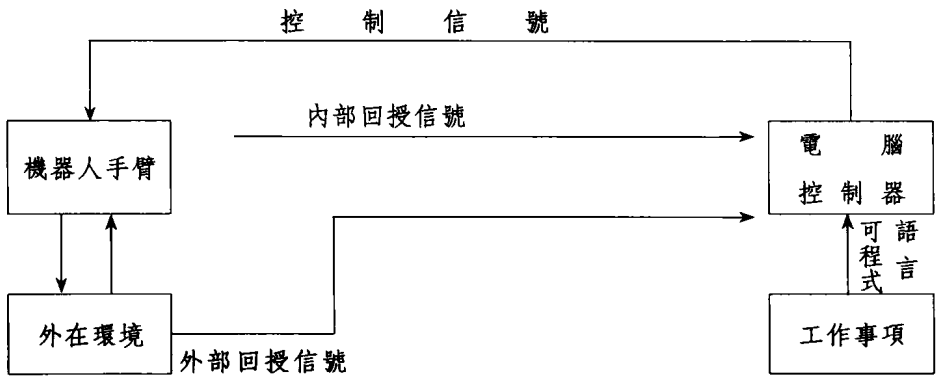


圖1.1 機器人控制示意圖

1.2 機器人型態

機器人型態可分為工業機器人及移動機器人兩種。

工業機器人是指在工業社會裡如研究、開發、生產、流通等產業活動中常使用的機器人。工業機器人可分為傳單散發機、固定順序機器人、可變順序機器人、記憶重現機器人、數值控制機器人及智能機器人六類。其中固定順序機器人採用凸輪或電磁繼電器 (Relay)，將情報按照順序設定好或依次裝上開關，使其重現出來，此種屬於使用硬體 (Hardware) 裝置做為設定控制情報的方法。而可變順序機器人採用紙帶或磁帶，在上面記錄程式並將之輸入至機器人內部記憶裝置，當起動命令下達後，機器人即會按照記憶體內資訊讀出的順序而作動，若機器人作業的內容需要改變時，僅需修改紙帶或磁帶上的內容即可。記憶重現機器人又稱為回放機器人，即當作業內容改變時，只要手執機器人操縱器或採遠距離操作的教導盤教它如何動作，同時將工作的順序記錄下來，以後只要呼叫該工作的檔名，即可自動進行該項工作。數值控制機器人是將工作數據以數值方式記錄下來，使控制數據電腦化，藉以控制機器人。人工

智慧機器人則具有感覺及辨識機能，可自行決定動作（即具有解決問題的演算法則）的機器人。實用機器人可籠統分為作業機器人、福祉機器人及娛樂機器人三類。針對機器人運動控制系統的發達程度可分為「操縱型」（因人操作而作動）、「自動型」（屬重放型）及「人工智慧型」（根據現行狀況自行判斷而採取因應動作）三種等級。

1.3 機器人應用實例

機器人的應用範疇：為裝貨和卸貨、分類、托板裝載、點或電弧熔接、噴著塗裝、鑄物壓造、鑄件表面或金屬模子清洗、塑物成形、鍛造、處理危險輻射性材料（例如在核能發電廠的應用）、自動裝配組合、抽取物件、檢視、整體製造系統、太空或海下探勘及軍事用途。

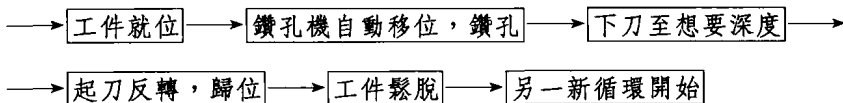


圖1.2 機器人控制示意圖

【範例：工件自動鑽孔操作步驟】

1. 機器人與電腦連線，由電腦下達命令引導機器人抓取工件至定點位置，並利用定點感測器的回授信號來判定工件是否正確就位。
2. 由電腦下達命令給鑽孔機，開始鑽孔。
3. 當鑽孔至想要深度時，鑽刀自動反向轉動，然後歸位。
4. 鬆脫工作，下一工件準備就位，繼續另一新循環。

【範例：工具架設計步驟】

1. 設計構想。
2. 整體配置，尺寸標示。

3. 零件尺寸數量統計。
4. 拋光，鑽孔。
5. 安裝測試。

1.4 機器人學背景、工作範疇及目的

機器人工程是研究基本理論、組織結構及運用電腦來控制機器人的應用科學，包括基本理論及應用方面的研究。基本上它必須具備的知識背景為：

1. 機器人手臂：包含機械結構、運動學及動力學。
2. 智慧型感測器：包含視覺感測器及非視覺感測器。
3. 計劃系統：包含路徑規劃及避撞設計。
4. 計算結構：包含控制方法及演算法則。
5. 程式語言：包含手臂控制語言、數據處理語言及新的程式語言。

機器人工程師的工作範疇為：

1. 設計能伸出抓取和攜帶物件的機器人手臂、手及腿等部位，及一些機械感測機構，如義眼、接觸感測器及方陣感測器。
2. 發展整體系統的硬體和軟體，如應用在機器人工程的影像重現、影像處理、機器人手臂的控制方法及電腦程式語言。
3. 規劃如何使用工業機器人，以提升經濟及生產效率。

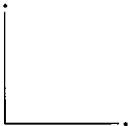
設計機器人的主要目的為：

1. 設計一個能執行對人類而言有困難或不適合工作的機器人系統，同時須防止意外發生，避免使人心理上產生抗拒或產生社會問題，此外也不能讓企業有太大的經濟負擔。
2. 降低生產成本、提高生產效率及改進工件品質。



習 題

- 1.1 根據美國機器人學會機器人定義為何？
- 1.2 依動力型態來區分，機器人有那三種常見的動力來源？
- 1.3 機器人應用範疇有那些，試舉例之。



第 2 章

機器人座標系統

2.1 座標系簡介

在深入研究機器人座標系統之前，讓我們先瞭解座標軸系及相對座標軸系間變換關係。

座標軸系：軸系即代表座標系統，一個座標系可以經由平移及旋轉表示為另一個座標系，即物件相對於一個座標系可以改為相對於另一個座標系的描述。

座標系的映射通常包含有平移及旋轉變換，而映射是指空間中某一點相對於不同座標系間的關係。

由於在操作機器人手臂末端操作器時，希望它能以任意方位抵達工作區間內某一點，所以機器人座標系統需要一空間位置向量 $\vec{p}(X, Y, Z)$ 來定義手爪在空間的位置，及三個方位向量 $(\vec{n}, \vec{o}, \vec{a})$ 來定義手爪在空間的姿態。

2.2 座標變換

通常我們論及一物件在空間的位置或方位為何是針對其相對於空間某一座標軸系而言，若談到座標變換必須明瞭如何表達座標系間的數學關係式。

機器人座標系間關係示意圖如下表示：

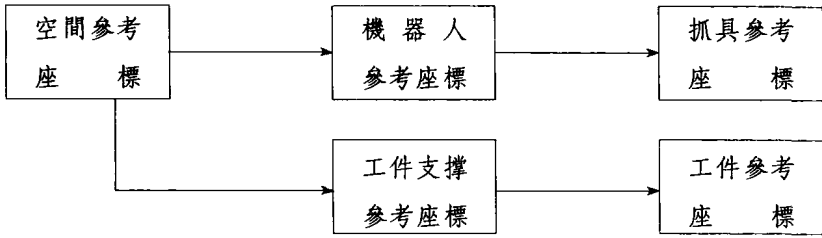


圖2.1 機器人座標系間關係圖

2.2.1 平移變換

在空間中座標系 { A } (其原點為 O) 平移至座標系 { B } (其原點為 Q)，則空間中某一點 P 相對於固定座標系 { A } 的位置向量可表為：

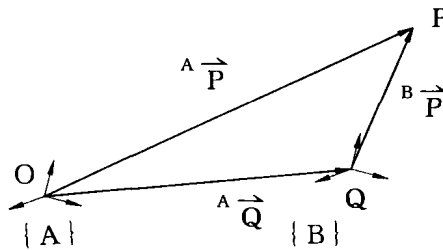


圖2.2 平移變換

$${}^A \vec{P} = {}^A \vec{Q} + {}^B \vec{P}$$

其中

${}^A \vec{P}$: 點 P 相對於座標系 $\{A\}$ 的位置向量。

${}^A \vec{Q}$: 座標系 B 原點 Q 相對於 $\{A\}$ 系的位置向量，通常 $\{A\}$ 系視為固定座標系。

${}^B \vec{P}$: 點 P 相對於座標系 $\{B\}$ 的位置向量。

2.2.2 旋轉變換

在空間中座標系 $\{A\}$ 經多次旋轉至座標系 $\{B\}$ ，則某一點 P 相對於 $\{A\}$ 系的位置向量可表為：

$${}^A \vec{P} = {}^A R {}^B \vec{P} = {}^A R {}^B R {}^B \vec{P} = \underbrace{{}^A R {}^B R {}^B R}_{\text{旋轉矩陣}} {}^B \vec{P} = \underbrace{{}^A R}_{\text{旋轉矩陣}} {}^B \vec{P}$$

其中 ${}^A R$: $\{B\}$ 系相對於 $\{A\}$ 系之旋轉矩陣。

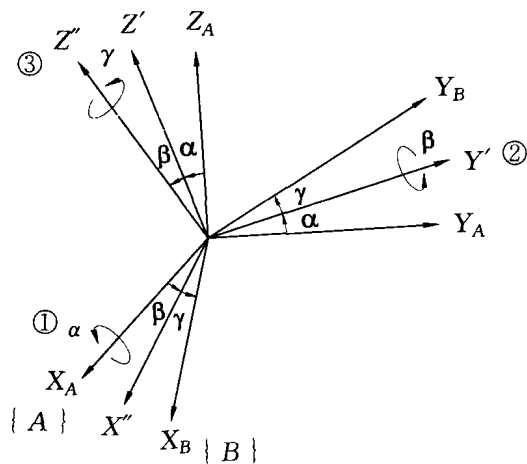


圖2.3 旋轉變換