

機器人關節模組設計

Design of Robot Joint Modules

周信宏¹、沈文哲^{2*}、林俊安²、林冠融²

¹ 工研院機械所 控制核心技術組 高階伺服技術部 經理

² 工研院機械所 控制核心技術組 高階伺服技術部

摘要：本文為發展機器人關節模組設計，主要以 DSP 作為基礎開發關節模組的驅動控制系統，搭配 EtherCAT(工業乙太網路)作為機械手臂各軸之間的通訊方式以及與上位控制器的連接，達到六軸之間的調控。DSP 為德州儀器公司所出產的微處理器，可處理大量的數位資料，能滿足各種工業自動化驅動器產品之間不同的需求。EtherCAT 的開發目的主要是讓乙太網路能夠靈活運用於工業自動化系統當中，並且能同時達到快速的資料更新速度與低成本的優點。本文一開始先介紹永磁馬達的控制架構，接著再介紹 EtherCAT 與功率級的特色，最後將其模組化，並且應用在六軸與四軸機械手臂上。

Abstract : This article is about the design and development of robot joint modules, in which DSP is used for joint module drive control system, and EtherCAT is adopted as the communication between each axis of the robot arm and the host controller to achieve regulation between the six-axis. DSP is microprocessor produced by Texas Instruments that can handle a large number of digital data to meet the different needs of various industrial automation drive products. The purpose of EtherCAT development is mainly to allow Ethernet to be used flexibly in industrial automation systems, as well as to achieve high data update speed without increasing the cost of hardware. In this paper, PM motor control architecture is first introduced, then the characteristics of EtherCAT and power stage are discussed. Finally, modularization and application to six-axis and four-axis robot arms are discussed.

關鍵詞：數位訊號處理器、乙太網控制自動化、自舉式電路、關節模組

Keywords : DSP, EtherCAT, Bootstrap, Joint module

前言

近年來由於各國紛紛在追求如何在同樣的工廠面積內如何有大量的產能，所以開始導入了工業自動化的系統，而機械手臂在工業自動化當中扮演著相當重要的角色，因為在員工不增加的情況下，又需要工廠有大量的產能時，就可以利用機械手臂來做快速又有效率的加工。而一般的機

械手臂，通常都是將馬達與驅動器分開，手臂上只會有機構與馬達的部分，而驅動器則是全部放在電控箱當中，並且拉線至手臂機構當中，雖然這樣的方式較為簡單，但是在工廠面積受限的情況下，若是能將電控箱的體積縮小，或是將其整合於手臂當中，即可使工廠的效能再往上提升。本文所提出的關節手臂模組化設計即是將馬達與

驅動器全部整合於同一機構當中，使手臂與電控箱之間的連接線複雜度可以大為降低，同時手臂在使用上若是有較大的問題出現時，可直接將整顆模組替換掉，使得機械手臂的保養與維修上可以更加便利。

現今多數以通訊指令控制的機器手臂，大多以 RS-485 或是 RS-422 來做為驅動器與控制器間的通訊，雖然驅動器端實施成本較低，但控制器端大多需要額外的硬體接收，資料傳輸速度也較為緩慢且較不容易實施高同步性的控制，因此本文以 EtherCAT 做為機器人的通訊介面，控制器僅需使用內建網卡，即可達到 100 Mbit/s 全雙工速度，也提供高同步控制的實施方法，達到高同步性、高通訊速度、低硬體實施成本的特色。

關節模組伺服驅動控制系統

本文所提出的馬達關節模組設計為使用永磁馬達作為主體，並且開發永磁馬達專用驅動器。一般直流馬達的等校電機方程式如式 1，即馬達端電壓為電阻、電感壓降以及反電動勢的總和，而圖 1 為直流馬達的位置控制方塊圖 [1]。其中：

θ_m^* 、 θ_m 為命令位置與實際位置； ω_m^* 、 ω_m 為命令速度與實際速度； $G_1(s)$ 為位置控制器； $G_2(s)$ 為速度控制器； R_a 、 L_a 為電阻、電感， B_L 、 J_L 為摩擦係數與轉動慣量； K_i 、 K_b 為轉矩常數及反電動勢常數； T_L 、 T_m 為外力負載與馬達產生電磁轉矩。

$$V = R_a i_a + L_a p i_a + e_a \quad (1)$$

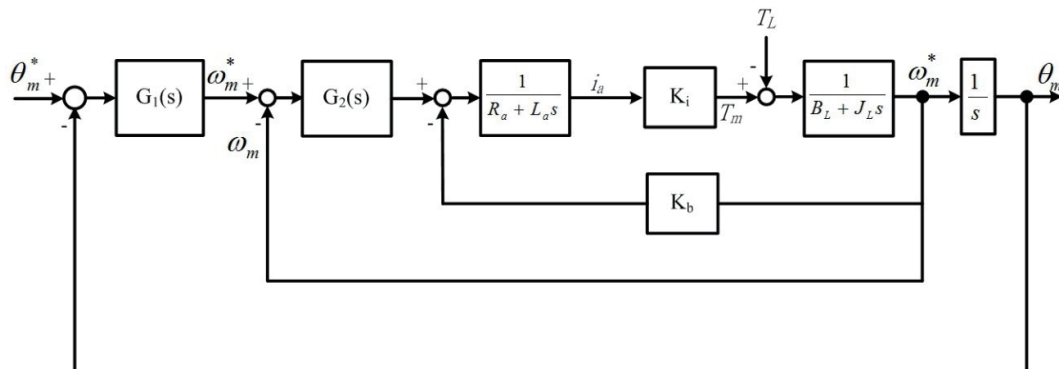


圖 1 直流馬達控制方塊圖

而在交流的馬達控制系統當中，則是會再複雜一些，一般常使用的控制方式為磁場向量控制，式 2、式 3 為永磁交流馬達中，利用磁場向量控制的理論 [2][3] 所推得之兩軸電壓方程式，

$$V_q = R_s i_q + L_q p i_q + \omega_r L_d i_d + \omega_r \lambda_m \quad (2)$$

$$V_d = R_s i_d + L_d p i_d - \omega_r L_q i_q \quad (3)$$

其中 R_s 為馬達電阻； i_q 、 i_d 為 q 軸與 d 軸等校電流； L_q 、 L_d 為 q 軸與 d 軸等校電感； ω_r 為馬達轉速； λ_m 為磁通鏈

圖 2 為目前驅動器的控制架構，在控制的方塊圖當中包含了位置迴路、速度迴路、電流迴路的控制，而在電流迴路中的控制架構則是一般的磁場向量控制。當上位的控制器給予驅動器位置命令時，驅動器會計算出當前的位置誤差，再透過速度與電流的控制器得出所需速度與電流大小，接著再經由向量控制架構來計算出三相所需的電壓大小，最後透過 PWM(脈波寬度調變) 計算出每相需要開閉的時間，並且透過功率級來將相對應的電壓輸出至馬達線圈上。

而在向量控制當中另一重要的部分則是馬達的角度，因為在永磁交流馬達控制當中，轉子磁極的位置會影響馬達驅動器的控制以及馬達輸出轉矩的大小，所以如何得到馬達的角度也是很重要的一个環節，

在本文所設計的關節模組，使用的編碼器為三種形式，包含了霍爾元件、光學式增量型編碼

更完整的內容

詳見【機械工業雜誌】422 期・107 年 5 月號

機械工業雜誌・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：03-591-9339

傳 真：03-582-2011

機械工業雜誌・官方網站：www.automat.tw

機械工業雜誌・信箱：jmi@itri.org.tw