

文章编号: 2095-2163(2020)05-0244-04

中图分类号: TP274

文献标志码: A

# 基于 IAP15W 的六轴机械手驱动模块研究与设计

徐操喜, 冯建, 董斯特, 李成章

(广东交通职业技术学院 信息学院, 广州 510800)

**摘要:** 本文设计了一款以 IAP15W4K58S4 为控制基础的六轴机械手驱动模块。首先, 对各机械手以及其相关舵机参数进行测量计算, 建立起舵机控制数据模型; 其次, 设计机械手电路控制方案, 利用 I2C 总线对多路舵机实现控制; 最后, 通过位置跟踪测试, 证实了驱动模块控制的有效性。

**关键词:** IAP15W4K58S4; I2C 总线; 舵机控制; 位置跟踪测试

## Research and design of a six axis manipulator drive module based on iap15w

XU Caoxi, FENG Jian, DONG Site, LI Chengzhang

(School of Guangdong Communication Polytechnic, Guangzhou 510800, China)

**[Abstract]** This paper designs a six axis manipulator drive module based on iap15w4k58s4. First of all, measure and calculate the relevant parameters of each manipulator and its related steering gear, and establish the steering gear control data model. Secondly, the circuit control design of manipulator is designed. The I2C bus is used to control the multi-channel steering gear. The effectiveness of the drive module control is verified by the position tracking test.

**[Key words]** IAP15W4K58S4; I2C bus; Steering gear control; Position tracking test

## 0 引言

在机械手控制系统中, 工业计算机采用摄像头对目标物体进行识别并三维定位, 根据三维坐标及每个机械臂长度, 逆运算出各控制舵机与水平面夹角<sup>[1]</sup>。由于各机械手臂互相连接, 上层只考虑每个机械臂相对于水平线的角度, 而对于底层驱动, 由于机械臂水平夹角互相影响, 改变其中任何一个夹角, 其余机械臂水平夹角也随之牵连变化, 从而要求底层驱动要在控制上进行调整, 定位到设定的三维空间位置。

系统包括了软件控制系统以及电路控制系统两部分。

## 1 硬件设计

硬件系统包括 MCU 核心控制系统、电源降压模块、多路舵机控制模块。

### 1.1 MCU 核心控制模块选择

MCU 采用宏晶公司的 IAP15W4K58S4, 此芯片采用 8051 内核, 兼容传统 8051 指令系统, 一个时钟周期可以执行一条单字节指令, 相比传统 12T, 效率提高了 12 倍, 能满足大部分小型系统控制要求, 也完全能满足本设计控制要求。

### 1.2 多路舵机控制模块设计

一个机械手有多个机械臂, 每个机械臂由 1 个舵机控制。本控制机械手模型如图 1 所示。由于每个舵机需要采用 1 路 PWM 控制, 而 MCU 本身资源有限, 通过软件产生多路 PWM 难度比较大, 因此本方案采用舵机控制专用芯片 PCA9685, PCA9685 可以输出 16 路舵机控制信号, 采用 I2C 总线与 MCU 通信交换数据, 每路输出频率可编程配置, 从 40 Hz 到 1 KHz, 占空比从 0% 到 100%。



图 1 机械手模型

Fig. 1 Manipulator model

### 1.3 电源模块

为了隔离舵机电磁噪声对 MCU 的干扰, 系统对

**基金项目:** 广东高校省级重点平台和重大科研项目(2018GkQNCX022); 2018 广东大学生科技创新培育专项资金项目(攀登计划专项(pdjhb0751)); 智能物联省级技能大师工作室资助项目。

**作者简介:** 徐操喜(1983-), 男, 硕士, 讲师, 主要研究方向: 物联网、嵌入式技术。

**收稿日期:** 2020-03-20

舵机及 MCU 独立供电, 舵机电源转换芯片采用 DC-DC 转换芯片 LM2575-5.0, MCU 供电采用 LM2576-5.0 降压到 5 V, 再采用线性降压芯片 AS1117-3.3 V 降到 3.3 V 后提供给 MCU。LM2576 采用 PWM 控制方式输出电压, 转换效率根据输入电压可达 75%~88%, 输出电流 3 A, 满足系统电源功率要求。为了兼顾电源转换效率以及电源纹波干扰对 MCU 的影响, LM2576-5.0 稳压到 5 V 之后, 采用线性稳压芯片 AS1117-3.3 V 将 5 V 降低到 3.3 V, 一方面提高电源转换效率, 另一方面纹波也得到控制, 电源供电方案如图 2 所示。

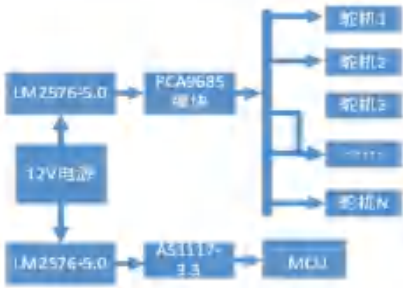


图 2 电源供电方案

Fig. 2 Power supply scheme

## 2 软件设计

软件控制系统包括了串行通信程序设计、双机通信协议设计、控制命令合理性检测、各舵机夹角关系分析、舵机控制程序设计。

### 2.1 串行通信程序设计

上位机与机械手模块采用串行异步方式通信, 上位机按双方约定协议把控制参数传到 MCU, MCU 收到数据后对数据进行校验, 无误后按控制参数对舵机进行控制。

IAP15W4K58S4 串行通信配置步骤:

- (1) 通过寄存器 P\_SW1 配置使用 IO 引脚;
- (2) 通过定时器配置串行通信口的波特率;
- (3) 开中断;

初始配置代码如下:

```
ACC = P_SW1;
```

```
ACC &= ~(S1_S0 | S1_S1); //配置发送接收
```

```
对应 IO 引脚 P_SW1 = ACC; //通过 ACC 把配置参数写入 P_SW1
```

```
SCON = 0x50; //数据位为 8 位, 可变波特率
```

```
AUXR = 0x40; //定时器 1 为 1T 模式
```

```
TMOD = 0x20; //定时器 1 为模式 2(8 位自动重载)
```

```
TL1 = (256 - (FOSC/32/BAUD)); //设置波特率重装值
TH1 = (256 - (FOSC/32/BAUD));
TR1 = 1; //定时器 1 开始工作
ES = 1; //使能串口中断
EA = 1; //开总中断
```

### 2.2 双机通信协议设计

通信协议是两个系统正确通信的基础, 通信协议字长设置为 10 个字节, 包括起始字节以及结束字节。中间包括有效数据位 12, 一个 CRC 校验位, 其结构如图 3 所示。



图 3 通信协议

Fig. 3 Communication protocol

其中, start 位为起始位 0x55, end 为结束位 0xAA, CRC 为 data1~data12 的 CRC 校验位, data1、data2 为舵机 1 的 16 位水平夹角(高 8 位为 data1, 低 8 位为 data2), 其余类推为 data3、data4 为舵机 2 的 16 位水平夹角, ……data11、data12 为舵机 6 的 16 位水平夹角。

### 2.3 控制命令合理性检测

机械手运动由 6 个舵机控制<sup>[3]</sup>, 实物如图 4 所示。标注 1 为机械臂 1, 2 为机械臂 2, 3 为机械臂 3, 4 为机械臂 4。舵机 1 控制机械手在 Y 轴方向转动, 舵机 2 控制机械臂 2 绕机械臂 1 转动, 舵机 3 控制机械臂 3 绕机械臂 2 转动, 舵机 4 控制机械臂 4 原位置转动, 改变机械手姿态, 不改变空间坐标。舵机 5 控制机械臂 4 绕机械臂 3 转动。舵机 6 改变机械手姿态, 不改变空间位置。

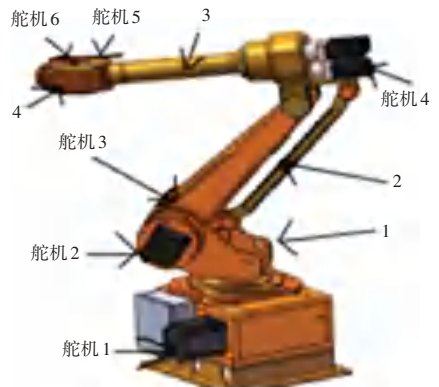


图 4 机械手实物

Fig. 4 Manipulator material object

对转动角度进行测量标定, 得到数据如表 1 所

示。

表1 每个机械手测量标定结果

Tab. 1 Measurement and calibration results

名称	夹角范围	备注
舵机 2	10~180	机械臂 1 与机械臂 2 夹角
舵机 3	-30~70	机械臂 2 与机械臂 3 夹角
舵机 4	5~200	原位置转动
舵机 5	-30~150	机械臂 3 与机械臂 4 夹角
舵机 6	-60~120	原位置转动

## 2.4 各舵机夹角关系分析

机械手各机械臂是一个串连控制结构,由机械结构分析可得知,它们水平夹角会传递影响,夹角 $\alpha$ 改变会引起夹角 $\beta$ 、 $\gamma$ 改变,夹角 $\beta$ 改变会引起 $\gamma$ 改变。MCU 在接收到上位机发送过来的角度时,一方面需要考虑到夹角之间大小关系导致计算方法,另一方面需要考虑到水平夹角的传递影响。

设 4 个夹角机械臂与水平面初始角度值为  $x$ ,  $y, z, w$ , 预定目标角度为  $x_1, y_1, z_1, w_1$ , 舵机 2, 舵机 3, 舵机 5 实际所需要转的角度为  $x_2, y_2, z_2$ 。具体运算方法如下:

$$x_2 = x_1 - x,$$

$$y_2 = y_1 - x_1 - y,$$

$$z_2 = z_1 - y_1 - z,$$

$$w_2 = w_1 - z_1 - w.$$

## 2.5 舵机控制程序设计

MG996 舵机是一种位置伺服的驱动器,需要周期为 20ms PWM 信号控制,适用于那些需要角度不断变化并可以保持的控制系统,1.5ms 为基准信号<sup>[2]</sup>。其信号控制要求如图 5 所示。MG996 将获得的直流偏置电压与电位器的电压比较,获得电压差输出。最后,电压差的正负输出到电机驱动芯片,决定电机的正反转。当电机转速一定时,通过级联减速齿轮带动电位器旋转,使得电压差为 0,电机停止转动。

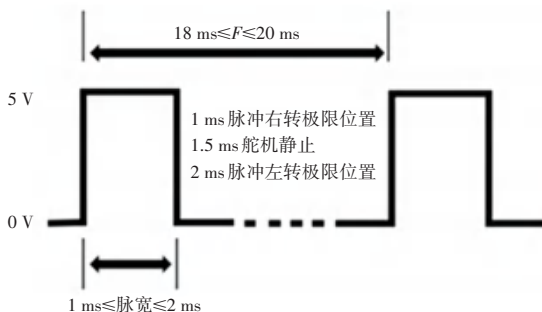


图5 舵机的控制要求

Fig. 5 Steering gear control

舵机控制芯片 PCA9685 对 6 个舵机进行控制, PCA9685 可以控制 16 路舵机,与 MCU 通信采用 I2C 总线。每路输出频率可编程配置,从 40 Hz 到 1 KHz,占空比从 0%到 100%。其最小核心板如图 6 所示。其中板上 A0~A5 为 PCA9685 I2C 地址设置,默认设置(右上角 A0~A5 都不焊)地址为 0X80,OE 引脚为使能脚,低电平有效,VCC 为芯片电源,3.3 V~5 V。



图6 PCA9686 舵机控制电路板

Fig. 6 Steering gear control circuit board

V+ 为舵机供电电源引脚,5 V~5.5 V。PCA9685 每个输出通道拥有 4 个控制寄存器 LEDx\_ON\_L、LEDx\_ON\_H、LEDx\_OFF\_L、LEDx\_OFF\_H。控制寄存器为 8 位,储存输出通道高电平时间和低电平时间。

PCA9685 程序设计包括两个关键步骤:

**步骤 1** 配置 PCA9685 的 PWM 输出为 50 Hz,此频率刚好对应 MG996 的控制信号要求。其关键代码如下<sup>[3]</sup>:

```
f * = 0.92; //频率设置中的过冲校正
prescal = 25000000;
prescal /= 4096;
prescal /= ;
prescal -= 1;
pres = floor(prescal + 0.5);
begin();
mode1 = I2C_read(PCA9685_MODE1);
mode2 = (mode1 & 0x7F) | 0x10;
I2C_write(PCA9685_MODE1, mode2);
I2C_write(PCA9685_PRESCALE, pres);
I2C_write(PCA9685_MODE1, mode1);
delays(2);
I2C_write(PCA9685_MODE1, mode1 | 0xa1);
```

**步骤 2** 编写函数 PCA9685\_SET\_PWM (unsigned int n, unsigned int on, unsigned int off)用于设定不同通道的占空比,方便主函数对其调用控制,其中 n 为所要控制通道,on 为信号高电平时间,off 为信号低电平时间,其关键代码如下所示:

```

I2C_write(LED0_ON_L+4 * n,on&0xff);
I2C_write(LED0_ON_H+4 * n,on>>8);
I2C_write(LED0_OFF_L+4 * n,off&0xff);
I2C_write(LED0_OFF_H+4 * n,off>>8);

```

### 2.6 程序流程图

程序运行过程如下:开始运行,控制机械臂转到初始位置,记录机械臂之间夹角。等待上位发送控制命令,收到控制命令之后,计算得到实际转动角度,把实际转动角度与机械臂夹角进行转换运算,判断是否在机械臂夹角范围内,如果在夹角允许范围内,则输出实际控制命令,如果不在允许范围内,则返回错误信息至上位机。程序流程如图 7 所示。

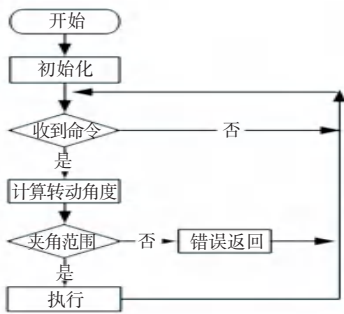


图 7 程序流程图

Fig. 7 Programme flow diagram

### 3 测试结果及分析

测试前设置机械手初始位置,设机械臂初始水平角度为  $x=90, y=0, z=0$ 。机械臂 1&2 夹角为  $o$ , 机械臂 2&3 夹角为  $p$ , 机械臂 3&4 夹角为  $q$ 。在初始位置数据如表 2 所示。

表 2 机械手初始化各参数

Tab. 2 Initial value of manipulator parameters

水平角度名称	角度	机相邻械臂	夹角名称	夹角值
$x$	90	1&2	$o$	90
$y$	0	2&3	$P$	90
$z$	0	3&4	$q$	0

测试 4 组数据,如表 3 所示。前两组数据是普通常规值测试,后两组接近连界测试,测试结果机械

手都达到了预定角度,验证了系统设计可行性。

表 3 测试数据

Tab. 3 Test result

第 1 组测试数据						
水平角度名称	测试角度	实际转角度	对应夹角名称	对应夹角值	夹角范围	合理否
$X_1$	60	- 30	$O_1$	60	10 ~ 180	是
$Y_1$	10	40	$P_1$	130	70 ~ 170	是
$Z_1$	10	0	$Q_1$	0	- 45 ~ 135	是
第 2 组测试数据						
$X_2$	120	30	$O_2$	120	10 ~ 180	是
$Y_2$	100	70	$P_2$	160	70 ~ 170	是
$Z_2$	60	- 10	$Q_2$	- 50	- 55 ~ 135	是
第 3 组测试数据						
$X_3$	170	80	$O_3$	170	10 ~ 180	是
$Y_3$	80	0	$P_3$	90	70 ~ 170	是
$Z_3$	120	40	$Q_3$	40	- 45 ~ 135	是
第 4 组测试数据						
$X_4$	90	0	$O_4$	90	10 ~ 180	是
$Y_4$	- 15	- 15	$P_4$	75	70 ~ 170	是
$Z_4$	- 50	- 35	$Q_4$	- 35	- 45 ~ 135	是

### 4 结束语

本文讨论了使用舵机的驱动模块设计,舵机在应用上具有低成本,控制简单,在一些低端的 AGV 搬运机器人、教学仪器、果园采摘上也有广泛应用,但由于设计局限,其精度低,难以适应精度要求高的场合,在这些高精度要求场合一般要求步进电机加上减速箱。

### 参考文献

[1] 张霁. 六轴工业机械手控制问题研究[D]. 哈尔滨理工大学, 2018.

[2] 宣慧,孙佳昊,程实,等. 基于 I-2C 总线实验设计[J]. 实验技术与管理,2020,37(1):52-55.

[3] 黄益民. 舵机、步进电机综合控制器设计[J]. 价值工程,2020,39(4):225-226.

[5] 贾俊平,何晓群,金勇进. 统计学(第四版)[M]. 中国人民大学出版社,2009,364

[6] 王雪. 基于时间序列分析的网络安全态势预测模型研究[D]. 北京邮电大学,2014.

[7] 翟静,曹俊. 基于时间序列 ARIMA 与 BP 神经网络的组合预测模型[J]. 统计与决策,2016(4):29-32,共 4 页.

[8] 郑琰,黄兴,肖玉杰. 基于时间序列的商品需求预测模型研究[J]. 重庆理工大学学报(自然科学),2019,33(9):217-222.

[9] 王淑花. 基于时间序列模型的组合预测模型研究[D]. 燕山大学.

(上接第 243 页)

### 参考文献

[1] 郑侠,崔玉杰,赵桂梅. 基于 GM(1,1)模型的上海市职工工资水平的预测[J]. 中国科技信息,2018, No.583(11):74,76.

[2] 凌佳. 基于时间序列模型的职工平均工资预测[J]. 沈阳师范大学学报(自然科学版),2012(04):34-39.

[3] 李媛. ARIMA 模型在平均工资预测中的应用[J]. 电子技术与软件工程,2018, No.131(09):188-190.

[4] 杨海民,潘志松,白玮. 时间序列预测方法综述[J]. 计算机科学,2019,46(01):28-35.