

For citation: Dai Yuguang, Zhang Yulong. Design of electronic control system for electric robotic arm // Grand Altai Research & Education — Issue 1 (24)'2025 (DOI: 10.25712/ASTU.2410-485X.2025.01) — EDN: <https://elibrary.ru/TKTCWV>

UDK 004.896

DESIGN OF ELECTRONIC CONTROL SYSTEM FOR ELECTRIC ROBOTIC ARM

Dai Yuguang¹, Zhang Yulong²

1 Hubei key Laboratory of Digital Textile Equipment, School of Mechanical Engineering and Automation, Wuhan Textile University, Wuhan, 430073, China

2 School of Wuhan University of Engineering Science, Wuhan, 430205, China
E-mail: 14380952489@qq.com

Abstract. The electric manipulator relies on electric drive, which is the most widely used driving method of the manipulator at present. It is characterized by convenient power supply, fast response, large driving force, convenient signal detection, transmission and processing, and can adopt a variety of flexible control schemes. The drive motor is generally controlled by stepper motors, DC servo, and AC servo [1]. In the application of industrial robots, the most common is the six-degree-of-freedom robotic arm. It is an industrial robot composed of six self-powered rotating joints connected in series, each with its own self-supporting control system. In this paper, a control system for six-degree-of-freedom manipulator is designed according to the industrial manipulator, which is mainly controlled by a single-chip microcomputer in a dedicated motion controller. The software design and hardware design of the control system are to be completed. Among them, the software design mainly includes the host computer software and MATLAB simulation design, and the hardware includes the design of the 32-channel servo controller SSC32 and the corresponding PCB circuit design.

Keywords: electric robotic arm; drive motors; Six degrees of freedom; Control system

电动式机械臂的电控系统的设计

戴宇光¹, 张宇龙²

1 武汉纺织大学, 湖北省数字化纺织装备重点实验室, 机械工程与自动化学院, 武汉, 430073

2 武汉工程大学, 机电工程学院, 武汉, 430205

E-mail: 1438095248@qq.com

摘要: 电动式机械臂依靠电力驱动, 是目前机械臂使用得最多的一种驱动方式. 其特点是电源方便, 响应快, 驱动力较大, 信号检测, 传递, 处理方便, 并可以采用多种灵活的控制方案. 驱动电机一般采用步进电机, 直流伺服以及交流伺服控制 [1]. 在工业机器人的运用中, 最长见的是六自由度机械臂. 它是由六个自力的旋转关节串联成的一种工业机器人, 每个关节都有各自的自立的控制系统. 本文的主要根据工业机械臂设计一个用于六自由度机械臂的控制系统, 主要运用专用运动控制器中的到单片机控制. 要完成的有控制系统的软件设计和硬件设计. 其中软件设计主要有上位机软件和 MATLAB 仿真设计, 硬件包括设计 32 路舵机控制器 SSC32 和对应的 PCB 电路设计.

关键词: 电动式机械臂; 驱动电机; 六自由度; 控制系统

0 引言

目前, 六自由度关节型工业机械臂是装备制造业核心部件中应用最广泛的一种. 对工业机器人的研究领域涵盖了机械, 电气, 控制和计算机等多个专业领域. 未来, 与物联网, 云计算结合是工业机器人发展的必然趋势. 在此过程中, 控制系统也将成为开放式, 分布式, 网络化, 通信和计算能力更强的智能化系统 [2].

本文所研究的六自由度机械臂具备自重较轻, 运行效率快, 作业区域范围大等特性, 最高能支持 43cm 的行程范围. 而且在通过 USB 接通电脑后, 在连接 SSC32 芯片作为媒介控制舵机, 通过上位机软件的操作可以控制相应的舵机调整关节旋转不同的角度来完成作业, 进行各种教学演示操作. 而且基于 MATLAB 强大的 simulink 功能, 能实现自定义 GUI 功能, 可以进行逆运动学解, 通过其运动过程来算出其每个舵机的旋转角度, 直接输入到上位机软件即可完成作业.

1 机械臂结构设计

1.1 关节结构方案

为了提高机械手臂的可靠性和灵活性, 我们采用了一种新的方法: 将电机与减速器相连, 并将它们与臂体相连. 这种方法的优点在于可以简化结构, 并且更加方便操作, 如图1.

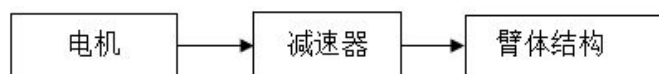


图1 关节结构动力传递方案

Fig.1. Power transmission scheme of joint structure

采取此类连接技术, 由于缺乏复杂的组成部分, 可以有效减少形变和回路之间的空隙, 从而提升整体的强度. 结构简洁, 更加稳定.

1.2 关节负载的估算

各个关节的动态参数是驱动元件的选择和关节传动零件选择的重要依据. 由机器人动力学相关知识可知完整的机器人动力学方程为:

$$Q = M(q)q'' + C(q, q') + F(q') + G(q) \quad (1)$$

其中 q - 关节位置向量; q' - 关节速度向量; q'' - 关节加速度向量;

M - 表示惯性张量;

C - 表示与哥矢加速度和向心加速度有关的量;

F - 表示与粘性摩擦和库仑摩擦有关的量 (它还与关节转角位置有关);

G - 表示惯性负载;

Q - 表示关节广义力向量.

估计关节力矩之前, 首先假设每个关节的重力作用集中在中心, 将连杆的重量均分于各关节, 使用静力学方法计算关节所受力矩的最大值. 下面使用 SolidWorks 建立的三维静态图 [3], 六自由度机械臂三维静态仿真图如图2 所示:

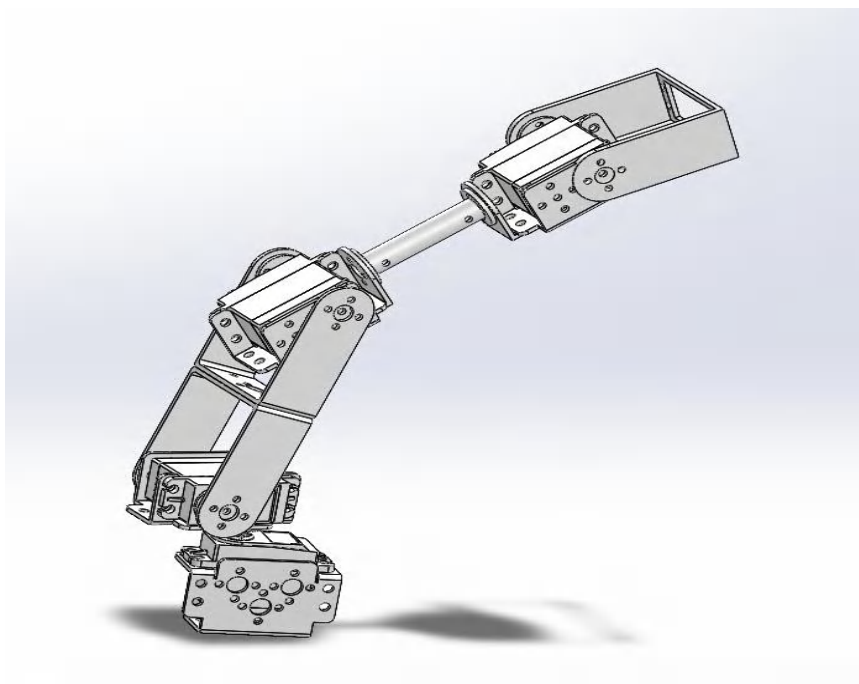


图2 三维静态仿真图
Fig.2. Three-dimensional static simulation diagram

1.3 运动学分析

机械臂逆运动学传统求解方法包括几何法, 解析法, 数值法等, 其原理都是通过复杂的数学公式推导出运动学的逆解 [4]. 通过解决机器人的运动问题, 可以获取关键的位姿信息. 这些位姿信息包括 初始位姿矩阵, 末态位姿矩阵以及关节位置. 例如, 我们可以利用几何法来确定 $\theta_1 \sim \theta_3$ 的运动, 也可以利用解析法来确定 $\theta_4 \sim \theta_6$ 的运动.

θ_1 是机械臂的主要旋转参数, 它可以通过 XOY 坐标系来计算, θ_2 而和 θ_3 则不受机械臂的旋转影响, 它们可以通过 XOZ 和 YOZ 坐标系来计算. 在完成 $\theta_1 \sim \theta_3$ 的角度计算之后, 我们可以将它们纳入机械臂的 DH 矩阵, 以便于进一步的计算. 随后, 我们将计算 A_5 和 A_6 的乘积, 并将 $\theta_1 \sim \theta_3$ 的值加入其中, 然后计算 A_1, A_2, A_3 和 T_5 的乘积, 最终的结果是相同的, 因此, 通过计算矩阵两侧的元素, 我们可以确定两个未知数的值, 从而使用单一未知数来求解 $\theta_4 \sim \theta_6$ 的角度.

$$T_5 = T_6 * A_6^{-1} \quad (2)$$

$$A_1^{-1} * A_2^{-1} * A_3^{-1} * T_5 = A_4 * A_5 \quad (3)$$

可以所得的解不唯一对其进行筛选的出最优解.

这里选用求逆运动解法来求解, 其更加方便, 而且可以解出 8 组解, 根据其模拟的运动过程, 选择其路径最优解.

2 机械臂控制系统设计

控制系统主要由电机, 舵机控制器, pcb 电路板组成.

2.1 舵机控制

舵机是一种具有位置控制功能的机械装置, 它能够根据需要调整角度, 从而实现精确的操纵. 本设计选用 MG996R 型号舵机.

优点: 价格便宜, 输出稳定, 金属齿轮, 使用寿命长. 180° 舵机: 能给定角度, 固定转速. 只能在 0 度到 180 度之间运动, 超过范围, 舵机轻则齿轮打坏, 重则烧坏内部电路 360° 舵机: 能 360 度转动, 能控制转速. 但不能调节转动的角度. 选用 180° 舵机以便能更好的调节需要的角度.

舵机控制需要 20ms 左右时基脉冲, 该脉冲高电平部分一般为 0.5ms-2.5ms 范围内角度控制脉冲部分, 总间隔为 2ms. 以 180 度角度伺服为例, 对应控制关系如下图所示:

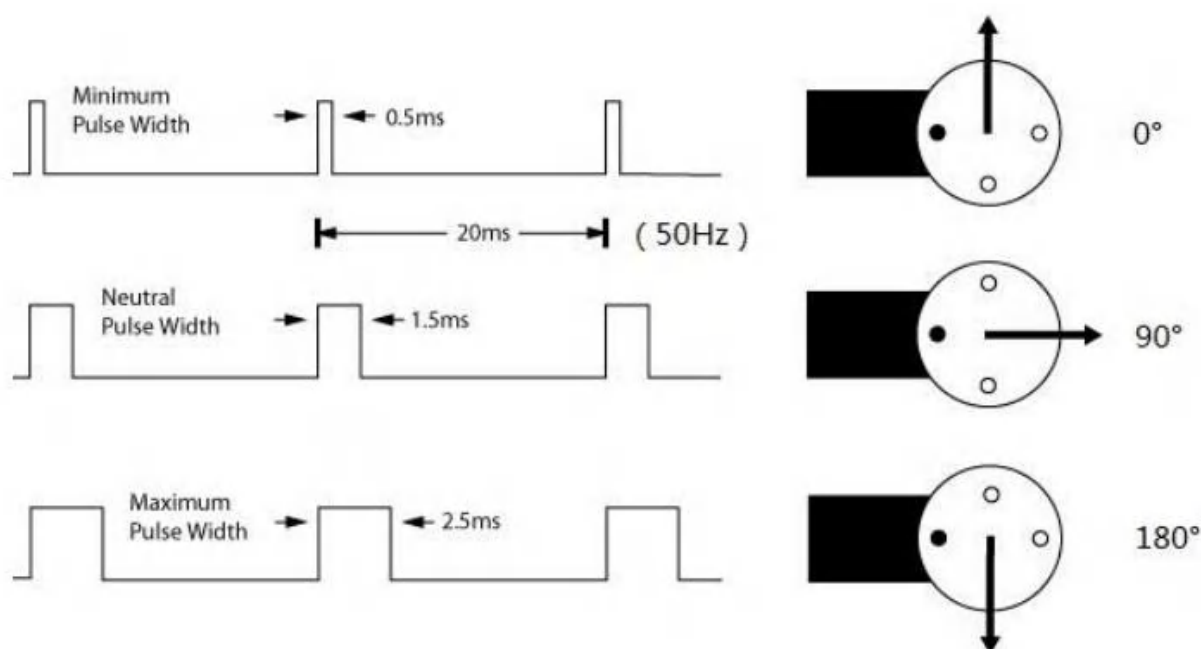


图3 180 度伺服舵机控制
Fig.3. 180-degree servo servo control

2.2 控制流程图

先通过 USB 接口接上电脑, 在上位机软件上调整舵机的初始位置, 根据需要的运动要求给定机械臂的末端位置, 在 Matlab 上进行逆运动求解, 得出每个舵机的旋转角度, 进行模拟选择最适合的运动轨迹, 然后运行看是否达到要求, 若没达到舵机自动复位, 达到完成作业.

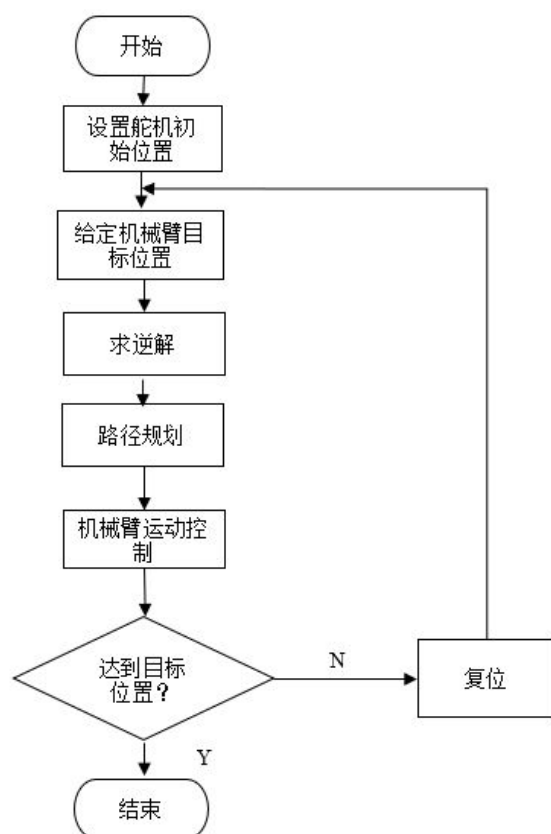


图4 控制流程图
Figure 4 Control flow chart

2.3 PCB 控制电路板的设计

组成主要由主控芯片, 供电电源, USB 转串行 UART 电路, 串行转并行输出电路组成.

2.3.1 主控芯片设计

ATMEGA8P 是 ATMEL 公司的一款新型 AVR 高档单片机. 是一种非常特殊的单片机, 采用了小引脚封装. 其本身具有 2 个具有比较模式的带预分频器 (Separate Prescale) 的 8 位定时/计数器, 工作频率为 14.7456MHZ. 1 个带预分频器 (SeParat Prescale), 具有比较和捕获模式的 16 位定时/计数器. 芯片的 1 脚为复位引脚, 可通过外部开关对单片机进行复位; 芯片的 9 脚, 10 脚为外部晶振输入信号, 为单片机提供时钟信号 [5]; 芯片的 7 脚, 20 脚, 21 脚由 78D05 为其提供稳定的 5V 供电; 同时如图所示, 芯片外部加入了 ATMEL 公司的 256kbit 串行电可擦的可编程只读存储器 AT24C256, ATmega8 的 27 脚, 28 脚分别对应 AT24C56 的 5 脚与 6 脚, 数据传输时有: SCL 为高电平, SDA 由高电平向低电平跳变, 开始传送数据; SCL 为高电平时, SDA 由低电平向高电平跳变, 结束传送数据. 采用 DIP28 脚的 Atmega8L 单片机, 工作频率 14.7456MHZ.

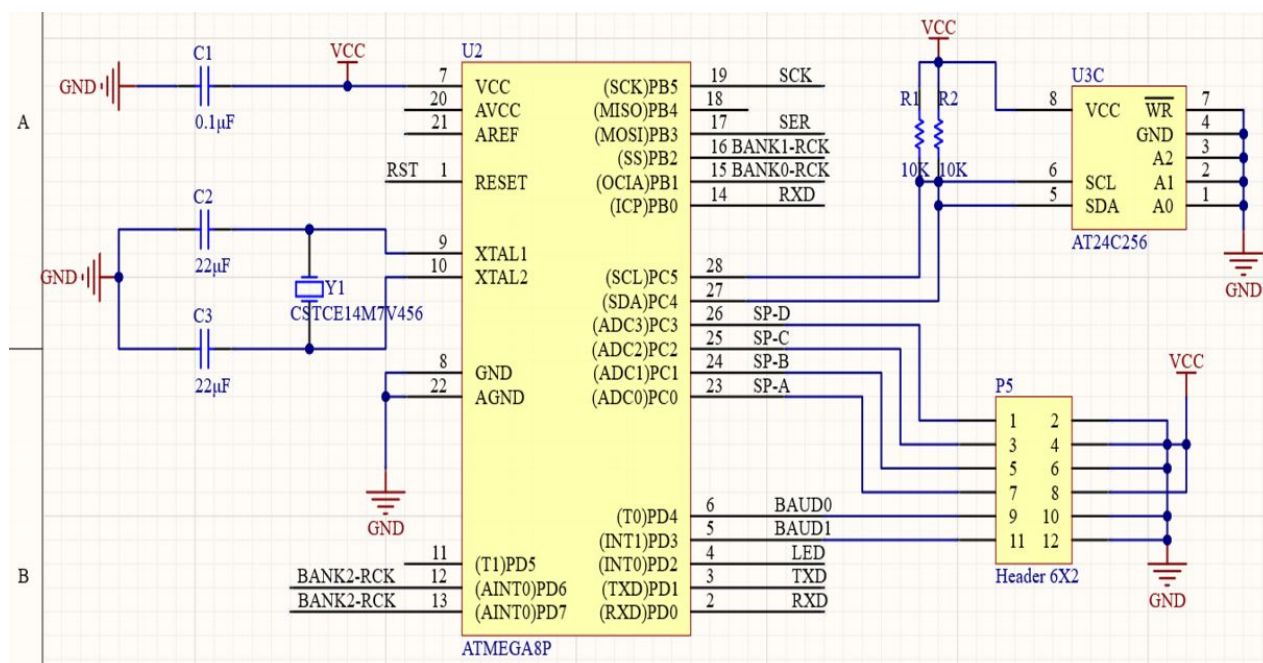
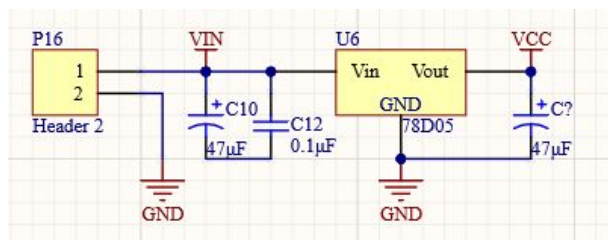


图5 主控芯片设计电路

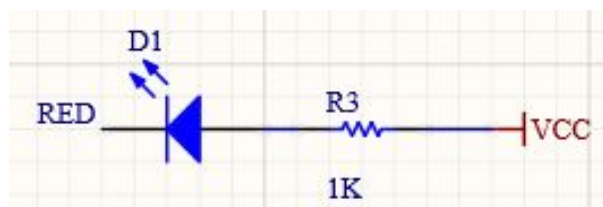
Figure 5. The main control chip design circuit

2.3.1 供电电源电路设计

如图 (a) 所示开关电源经滤波电容后为 78D05 芯片提供稳定供电电压, 芯片输出稳定的 5V 通过滤波电容为其余控制板上的所有芯片供电, 如图 (b) 所示, 当 5V 供电稳定时, 红色发光二极管变亮, 其中 1K 电阻的作用是起限流作用, 防止电流过大发光二极管损坏。



(a)



(b)

图 6 供电电源电路

Figure 6 Power supply circuit

3. 上位机软件和 MATLAB 逆运动解

3.1 上位机软件

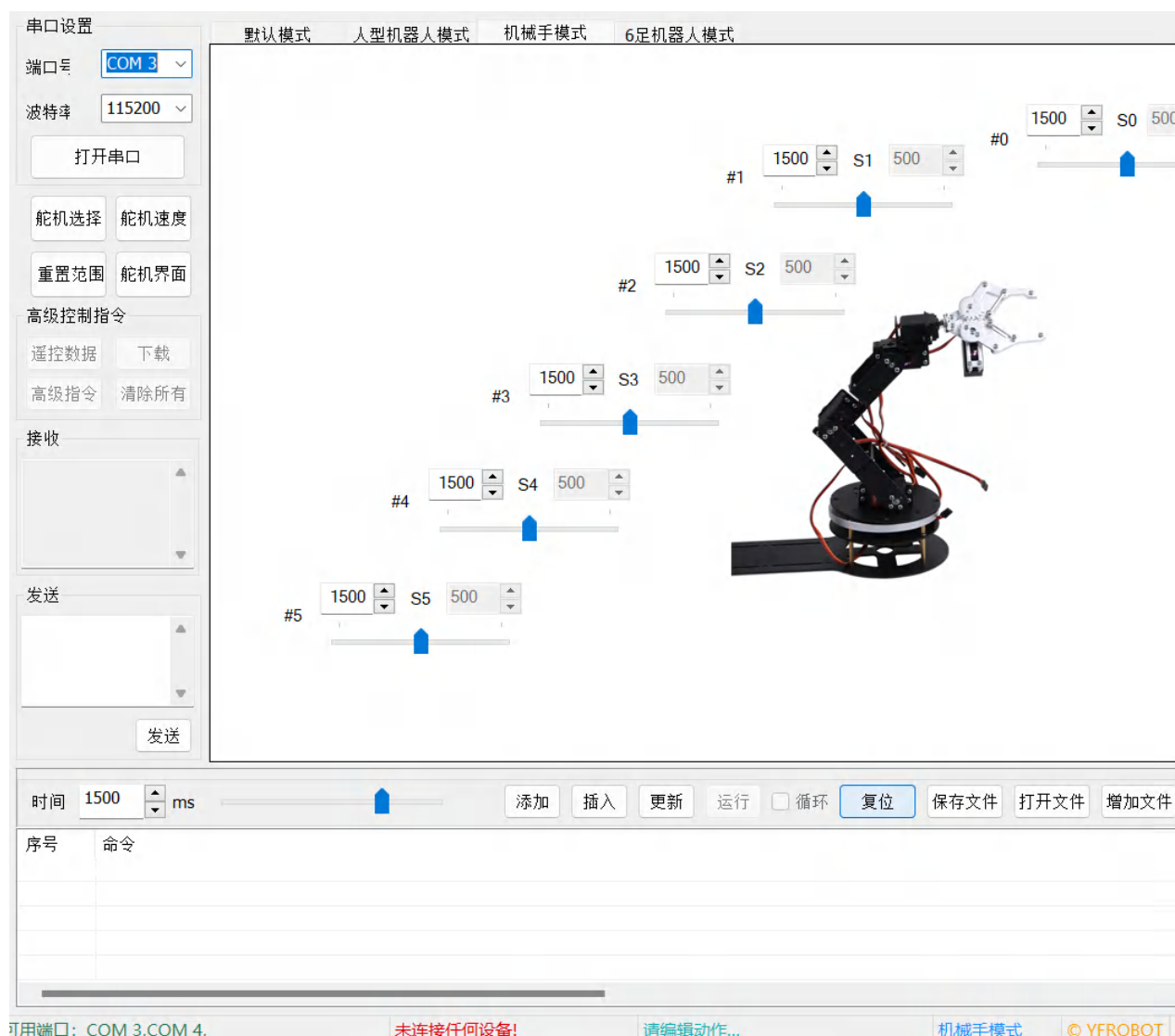


图7 总体框架

Figure 7. Overall framework

机械臂的舵机通过 USB 接口接入到电脑中, 打开端口, 链接 PC 与控制器, 进行调试, 在上位机软件上选择舵机相应的速度和型号, 先通过逆解来解出每个舵机需要旋转的角度, 再通过滑动滚动条控制舵机的角度, 调整时间编辑框数据并选择两组动作, 对比执行速度差异并调整其速度差异, 后面对进行的 6 组动作数据进行保存, 最后进行运行, 观察是否达到动作目标。

3.2 Matlab Simulink 逆运动解

开始建立机械臂 DH 坐标, 设置机械臂的初始位置, 起初始坐标状态如下图8:

```

%% 建立机器人DH参数, 初始状态为竖直状态
%% L1=Link('revolute','d',14.46,0,'alpha',0,'modified');
%% L2=Link('revolute','d',0,'a',0,'alpha',-pi/2,'modified');
%% L3=Link('revolute','d',0,'a',184,'alpha',0,'modified');
%% L4=Link('revolute','d',0,'a',118,'alpha',0,'modified');
%% L5=Link('revolute','d',180.5,'a',0,'alpha',pi/2,'modified');
%% L6=Link('revolute','d',67,'a',0,'alpha',-pi/2,'modified');

```

图8 初始D-H坐标位置

Fig.8. Initial D-H coordinate position

通过 reshape 函数, 将上述六组数据转变成需要的 1×6 阶矩阵, 之后在 Matlab function 函数中编辑其逆解算法, 并进行数据标定, 经过算法中的一系列坐标变换和数据转换, 最后解算出每个舵机所需要转动的角度, 一共可以得出 8 组解, 以数组的形式表示, 如下图9 所示:

100.6	-36	-64.64	-79.36	10.6	-90
100.6	-96.58	64.64	-148.1	10.6	-90
100.6	-62.53	-77.1	139.6	-10.6	90
100.6	-134.5	77.1	57.42	-10.6	90
-110	96.58	-64.64	148.1	160	-90
-110	36	64.64	79.36	160	-90
-110	134.5	-77.1	-57.42	-160	90
-110	62.53	77.1	-139.6	-160	90

图9 逆解结果数组

Fig.9 Array of inverse solution results

最后将得出的结果输入到上位机软件中去, 进行实践操作, 根据机械臂的运动轨迹和和路径选择最适合的解, 完成作业。

4 结束语

本次设计以 6 自由度机械臂进行研究, 设计出一个电控系统对其进行控制。在研究机器人的发展历程和趋势之前, 我们需要对机械臂控制系统的结构和功能有所了解。通过对系统设计的分析, 我们可以制定出一个有效的方案, 并将其应用于实际的机械臂运动控制系统中。设计过程中先进行结构的设计和选型, 并在在 sw 上建模模拟其作业过程, 进行运动分析, 根据其运动分析结果设计进行电机的选型, 选择好电机后, 再设计出其控制电路板, 进行调试。根据其运动作业, 在 Matlab 进行重新 D-H 建模, 得到其初始状态, 并进行定义, 在根据其运动作业定义出末态位置, 进过一系列的坐标变化, 解出每个舵机所需要转动的角度。最后输入到上位及软件中, 通过 USB 电脑端口控制相应舵机转动, 完成作业。这种设计简单方便, 节约了很多计算量大的过程, 降低了机器人作业的误差, 成本也低稳定性好的特点。

参考文献

- [1] 陈永刚. 六自由度机械臂轨迹规划及优化研究 [D] 硕士. 长春工业大学, 2022.
- [2] 庄建培. 基于 PLC 的工业机械臂喷涂应用 [D] 硕士. 宁波大学, 2019.

- [3] 徐健. 海流传感器标定平台控制系统研究 [D] 硕士. 合肥工业大学, 2014.
- [4] An H.S., Lee J.H., Lee C., et al. Geometrical kinematic solution of serial spatial manipulators using screw theory[J]. Mechanism and Machine Theory, 2017, 116: 404-418.
- [5] 杜功儒, 邱宝梅, 马宏伟. 超声无损检测机械手的设计与实现 [J]. 西安科技学院学报, 2004.

References

- [1] Chen Yonggang. Research on trajectory planning and optimization of six-degree-of-freedom manipulator [D] Master. Changchun University of Technology, 2022.
- [2] Zhuang Jianpei. Application of industrial manipulator spraying based on PLC [D] Master. Ningbo University, 2019.
- [3] Xu Jian. Research on the control system of the calibration platform of ocean current sensor [D] Master. Hefei University of Technology, 2014.
- [4] An H.S., Lee J.H., Lee C., et al. Geometrical kinematic solution of serial spatial manipulators using screw theory [J]. Mechanism and Machine Theory, 2017, 116: 404-418.
- [5] Du Gongru, Qiu Baomei, Ma Hongwei. Design and implementation of ultrasonic nondestructive testing manipulator [J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2004.