

无线电

W X D H A N D S - O N E L E C T R O N I C S

ISSN 0512-4174
CN 11-1639/TN

www.radio.com.cn
人民邮电出版社有限公司 主办

SINCE 1955

-2022-

10

— No. 721 —



制作

- 安全眼—自行车智能安全辅助系统
- 终点计时器
- USB 键盘转蓝牙键盘的装置
- 用单片机制作厨房定时器
- 基于模拟开关的数字式可调电阻
- 全数字电阻箱



战斧小车



老人健康休闲一体化设备

水下作业机械臂



喜迎二十大：从深化改革开放到世纪之交的电子产业征程

基于 reTerminal 的表面裂纹 / 裂缝检测系统

STM32 入门：看门狗

鸿蒙 eTS 开发入门：定时器

软硬件创意玩法：Arduino IDE 编程

发射射频无线信号



ESP32-S3 的桌面看板



基于行空板的面团发酵环境探究



3-T 动态存储器

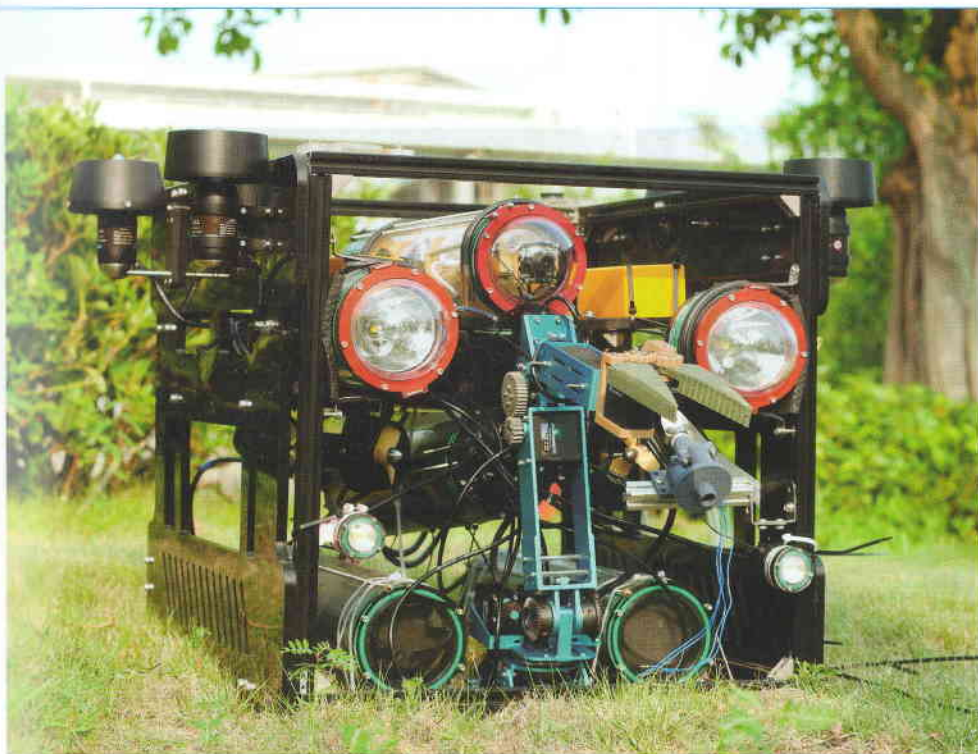
ISSN 0512-4174



零售价30元



邮发代号：2-75 国外代号：M106



水下作业机械臂

— 吴东晓 张致诚 尹世杰 苏棣煊

自2010年国家大力发展海洋资源探索以来，国内掀起了一场研发制造新一代水下机器人的热潮，经过多年高速发展，水下机器人的市场规模已突破50亿美元大关。作为机器人的执行构件，水下机械臂是遥控潜水器（ROV）不可或缺的部分。由于ROV的工作环境恶劣，其对机械臂的稳定性、高效性提出了较为严苛的要求。目前市面上普遍采用计算机键鼠进行操控，该方法不直观，操作效率低。我们设计了一种新型的人机交互方式，以求用更高的效率，操控机械臂稳定地工作。

ROV框架搭建

在搭建机器人系统之前，我们确定了下列技术指标，并围绕指标进行系统设计。

- ◆ 该机器的水下作业深度能够达到50m。
- ◆ 该机器能在水下持续作业 2~3h。
- ◆ 该机器具有一定的可升级性。

◆ 该机器的无故障工作时长能够达到100h。

◆ 该机器每年的维护费用不高于机身总售价的12%。

基于上述系统指标，我们选定了以树莓派、STM32 为核心的主控系统。水下机器人系统架构如图1所示。

如果说结构是 ROV 的肌体，那“机械臂”一定是其灵魂。在拥有一款合适的机械臂后，ROV 才能发挥其价值。

可靠性、灵活度和成本都是我们在设计机械臂前需要不断考虑、权衡的问题。

在参考了大量同类水下机械臂的设计思路后，我们设计了如图2所示的“第

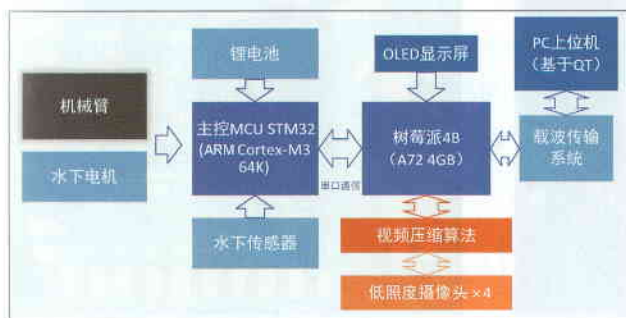


图1 水下机器人系统架构

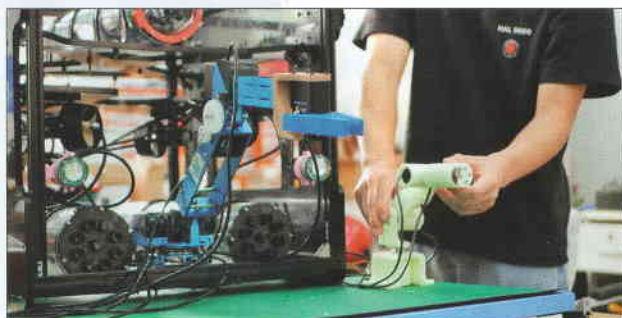


图2 “第2代智能机械臂”



图3 探照灯特写

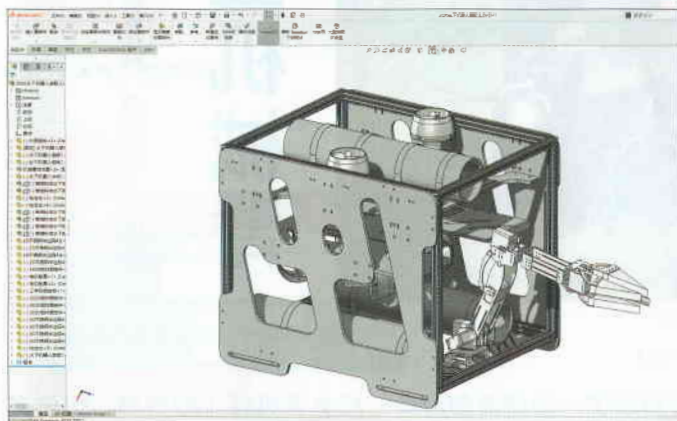


图4 水下机器人 SolidWorks 视图

2代智能机械臂”，该机械臂工作深度达到60m，可在严苛的工作环境中完成抓取工作。

考虑水下环境复杂，能见度低，我们在机器人的正前方安装了水下探照灯，防止水下机器人下水便“抓瞎”（见图3）。

但在实际的测试过程中我们发现，大功率的LED与电机、电调在工作时会产生大量的热。如何将热量高效地传递到外界，是一个非常值得关注的技术点。

在结构选材上，我们选用了性能满足要求且价格成本可控的方案——“防腐铝合金+CNC加工”。金属加工价格并不便宜，所以在正式打样之前，我们使用SolidWorks内置的仿真工具进行了多维度的仿真模拟，以求在生产前发现可能的问题并及时进行修改。水下机器人SolidWorks视图如图4所示。

机械臂硬件设计

“第2代智能机械臂”主要由3部分组成，分别是舵机供电模块、舵机控制模块与数据收发模块。

舵机供电模块

使用TD8655电源芯片及相关电路外设将电池组提供的24V供电降为7V，为

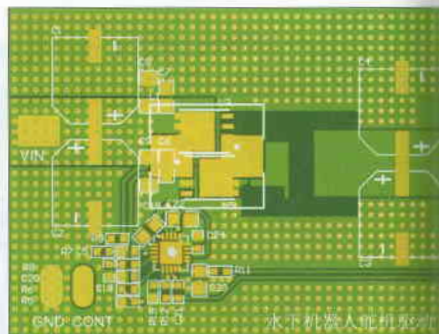


图5 舵机电源 PCB

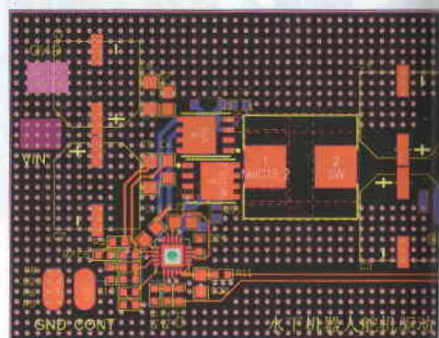


图6 舵机电源 PCB 2D 仿真

机械臂供电。舵机电源PCB 2D仿真如图5所示。

舵机控制模块

使用意法半导体公司103C8T6芯片作为控制核心，通过主控芯片对机械臂舵机控制模块PCB如图7所示。模块PCB 2D仿真如图8所示。

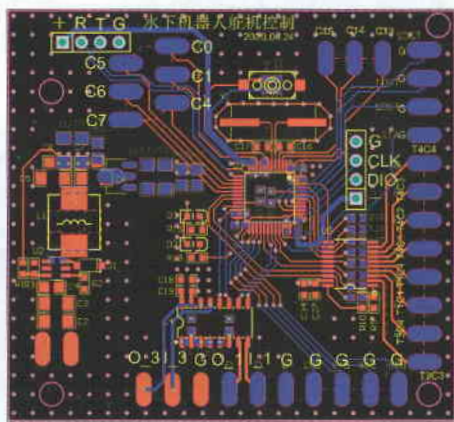


图7 舵机控制模块 PCB

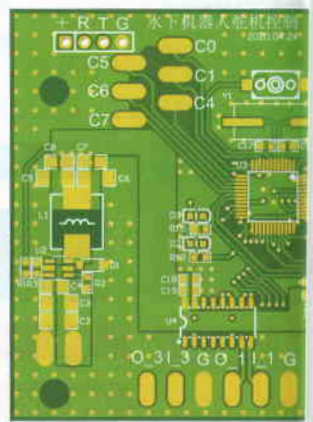


图8 舵机控制模块 PCB 2D 仿真

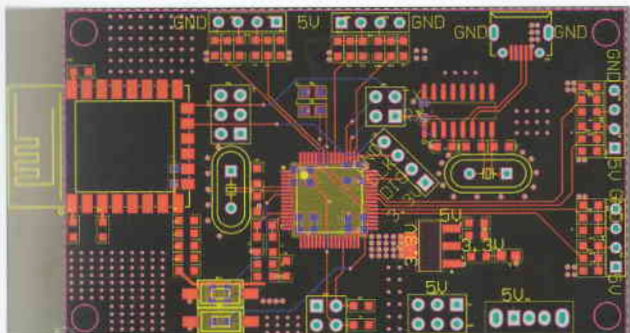


图9 数据收/发模块 PCB

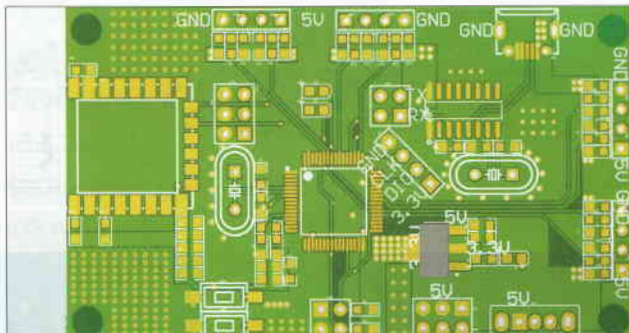


图10 数据收/发模块 PCB 2D 仿真

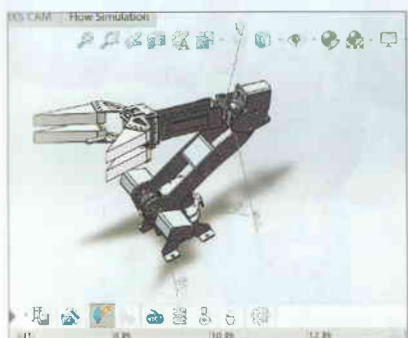


图11 机械臂仿真



图12 机械臂爆炸视图



图13 mini 机械臂操作展示

数据收/发模块

通过4个定时器获取旋转编码器的AB相数据,对数据进行一定的过滤处理后,使用ESP8266将其发送至计算机端。数据收/发模块PCB如图9所示,数据收/发模块PCB 2D仿真如图10所示。

机械臂结构设计

设计好机械臂后,我们需要对设计好的“机械臂”进行仿真,以求在打样前发现可能存在的问题,并及时进行修改。

“第2代智能机械臂”共有3个自由度。由一个回转机构和两个关节转动机构以及一对舵机提供动力,并且通过齿轮啮合运动驱动机械夹爪。机械臂仿真如图11所示,

机械臂爆炸视图如图12所示。

机械臂软件设计

软件算法的质量,决定了能否充分发挥硬件的性能。该部分内容主要介绍“第2代智能机械臂”的算法设计。

主机机械臂的软件设计

为了方便使用者操控水下机械臂,我们按1:4等比缩小制作了一款“mini 机械臂”(见图13),用于对“大”机械臂的控制。

在对“大”机械臂进行控制之前,我们首先得知道“mini 机械臂”当前的姿态信息。

我们在“mini 机械臂”上安装了旋转编码器,这是一种角度检测装置,其利用光电转换原理将旋转角度物理量转换成相应的电脉冲数字量。其具有体积小、抗干扰能力强、可靠性高等优点。机械臂控制流程如图14所示,旋转编码器安装位置如图15所示。

根据光电编码器参数与定时器计数值,我们利用下列公式即可计算出角度。

$$C = p \times \text{PPR}$$

$$\text{Angle} = N/C \times 360^\circ$$

其中, C 表示编码器单圈总脉冲数, p



图14 机械臂控制流程



图15 旋转编码器安装位置

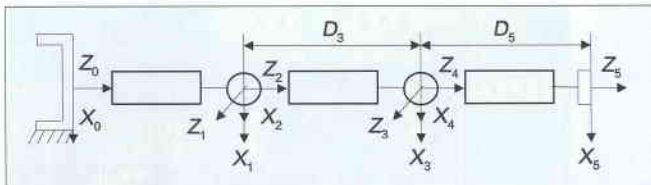


图 16 机械臂连杆坐标系示意图



图 17 机械臂局部视图 1

附表 机械臂 D-H 连杆参数

连杆 i	连杆扭角 $\alpha_{i-1}/^\circ$	连杆长度 a_i/mm	连杆夹角 $\theta_i/^\circ$	连杆距离 d_i/mm
1	90°	0	θ_1	0
2	-90°	0	θ_2	0
3	90°	0	θ_3	40
4	-90°	0	θ_4	0
5	0	0	θ_5	20

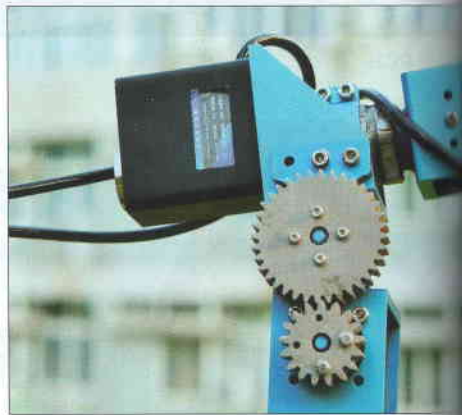


图 18 机械臂局部视图 2

表示电机转速比，PPR 表示编码器分辨率， N 表示一个周期内得到的编码器脉冲数。

机械臂路径规划

在水下对“机械臂”进行操作，比在陆地操控“机械臂”更具难度。因此我们设计了一套路径规划算法，可令“机械臂”达到期望的工作姿态。

要对机械臂的运动逻辑进行规划，首先对其进行运动学分析。

“机械臂”的正逆解运动学分析

为了更好地对机械臂进行定量分析，我们选用了 D-H 参数法建立机械臂的运动学模型。该方法最早于 1955 年由 Denavit 和 Hartenberg 提出，后来的机器人表示和建模基本依据了这个方法，其也成为表示机器人和对机器人运动进行建模的标准方法。机械臂连杆坐标系示意图如图 16 所示，机械臂 D-H 连杆参数见附表。

机械臂的正运动学通过机械臂的各个关节变量的值计算机械臂末端执行器的姿

态，本项目采用的是 D-H 参数法建模，根据前面机械臂的连杆坐标系建立各个关节的坐标系，确定 D-H 参数与齐次变换矩阵 T_i^{i-1} ，得到机械臂关节坐标系变量到笛卡尔坐标空间的坐标转换关系。

$$T_i^{i-1} = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i \cos\alpha_i & \sin\theta_i \sin\alpha_i & a_i \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i \cos\alpha_i & -\cos\theta_i \sin\alpha_i & a_i \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \end{bmatrix}$$

结合 D-H 参数表中提供的数据，利用齐次变换矩阵通式可以得到机械臂末端执行器的笛卡尔空间的变换矩阵。

$$T_5^0 = T_1^0 T_2^1 T_3^2 T_4^3 T_5^4 = \begin{bmatrix} n_x & O_x & a_x & P_x \\ n_y & O_y & a_y & P_y \\ n_z & O_z & a_z & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

机械臂逆运动学是已知机器人末端执行器的位置，求所有关节的关节变量。根据前文，我们得到了相邻坐标系的坐标变换矩阵，求出其逆解，结合矩阵性质进行求解，能够得出。机械臂局部视图如图 17 和图 18 所示。

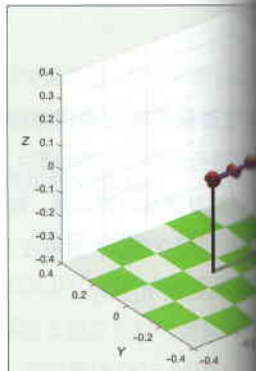


图 19 机械臂运动学模型

机械臂建模和轨迹规划

使用 MATLAB 中的过调用里面的函数创建动力学模型。根据 D-H 参数，使用 Link 函数，等，编写相应对应的程序，机械臂运动学模型。机械臂图 19 所示。

由于加速度不连续将导致，严重时甚至会损坏电机，为了获得一个加速度连续

间与速度需要有合适的初始和终止条件,以及合适的初始与终止加速度值。此计算法则共有 6 个边界条件,因此需要采用五次多项式。

人为给定初始时刻和终止时刻的位置、速度和加速度信息,这是轨迹曲线的约束条件,另外由于机械臂有一定的响应时间,所以需要同时给定“运动时间”。在 MATLAB 中运行生成五次多项式单关节轨迹曲线, MATLAB 五次多项式单关节轨迹曲线仿真结果如图 20 所示。

机械臂创新点

模块化机械爪

现在市场上大多数水下作业机器人主

要以金属材料制作机械爪抓取结构。此结构具有操作性强、抓取力度大等优点。但同时,坚硬的金属结构会使其在执行抓取任务时对脆弱易碎的物品造成二次破坏。

我们在设计抓取结构时充分考虑了这一问题,最后决定采用 ABS 材料制作而成的柔性机械爪。该机械臂顺承了最初金属抓取结构所具有的较强抓取力,还能凭借其柔软、有韧度的特点保证在抓取易碎物的同时避免其受到伤害与损坏。机械臂抓取物品如图 21 所示。

另外为了让“机械爪”适用于不同的使用场景,我们还设计了多款由不同材料制作而成的机械臂。硬质 PLC 材料机械爪如图 22 所示,软质 ABS 材料机械爪如图 23 所示。

结语

科技发展日新月异,水下机器人的发展也越发成熟。从传统人工下水进行海洋探索到现在可以使用水下智能化设备,海洋探索的成本与安全性正不断提高。

机械臂作为水下机器人不可或缺的一部分,其性能及稳定性决定了水下机器人本身是否有足够的能力在海洋深处完成各项复杂的操作。

在广东海洋大学海创实验室的资助下,我们设计研发了主/从机械臂跟随控制功能,希望能够提升操纵机械臂的准确性,提升水下作业质量,为水下工作的智能化贡献青年力量。✕

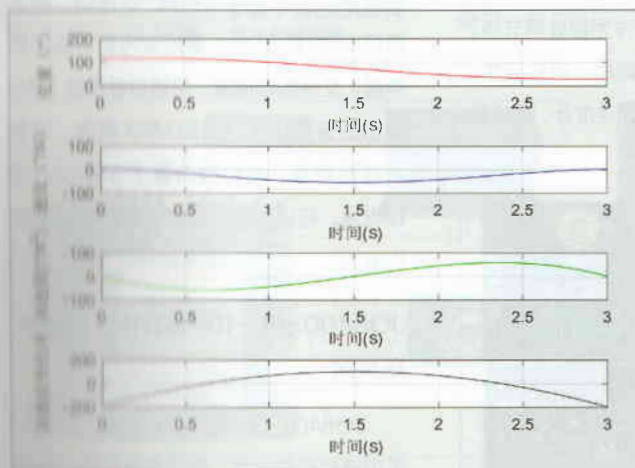


图 20 MATLAB 五次多项式单关节轨迹曲线仿真结果



图 21 机械臂抓取物品



图 22 硬质 PLC 材料机械爪

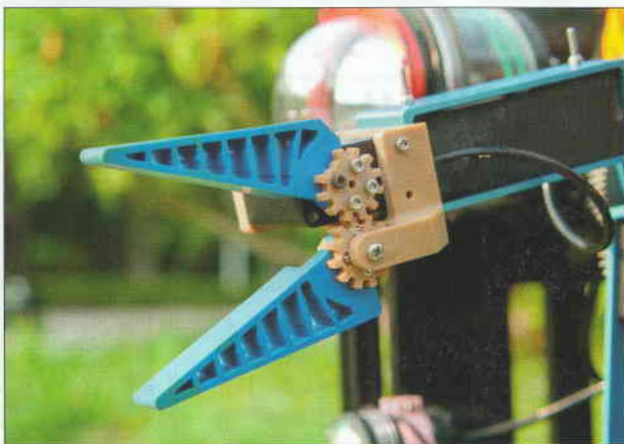


图 23 软质 ABS 材料机械爪