

doi: 10.7690/bgzdh.2018.11.019

## 水上垃圾清理机器人

陈华勇, 方 鼎, 洪 锐, 肖云永, 王立强, 邓成钢  
(浙江水利水电学院机械与汽车工程学院, 杭州 310018)

**摘要:** 为解决目前缺少高效率、高安全系数的打捞设备而给水面垃圾打捞带来的问题, 设计一款水面垃圾清理机器人模型。该模型融入无线遥控、单片机控制、电机伺服控制及脉宽调制(pulse width modulation, PWM)等控制技术, 通过部件的选型及理论计算, 得出具体产品结构。试验结果证明: 该模型能实现人船分离、远程控制的收集模式, 可扩张式侧网增加捕捞面积, 节约大量的人力和物力资源, 切实解决水域垃圾打捞难题。

**关键词:** 无线遥控; 单片机控制; 电机伺服控制; PWM 控制

**中图分类号:** TP24 **文献标志码:** A

## Water Surface Garbage Cleaning Robot

Chen Huayong, Fang Ding, Hong Kun, Xiao Yunyong, Wang Liqiang, Deng Chenggang  
(College of Mechanical & Automotive Engineering, Zhejiang University of Water Resources & Electric Power, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** To solve the current lack of high efficiency, high safety factor of the salvage equipment to the surface of the problems caused by salvage, design a surface clean-up robot model. The model integrates wireless remote control technology, single chip microcomputer control technology, motor servo control and pulse width modulation (PWM) control technology, through the parts selection and theoretical calculation, the specific product structure is acquired. The test proves that the model can realize the separation mode of man-ship separation and remote control, expand the area of fishing by expanding the area, save a lot of manpower and material resources, and solve the problem of waste disposal salvage.

**Keywords:** wireless remote control; MCU control; motor servo control; PWM control

### 0 引言

随着工业的发展, 人们在注重经济的同时忽略了环境污染问题, 其中塑料污染尤为严重。“五水共治”后, 虽然城市主要水路干道上的垃圾少了很多, 但仍然存在塑料漂浮物, 对河内的生态影响巨大。在很多旅游景区, 各色的塑料制品充斥着整个水面, 严重影响了观赏性, 甚至破坏文物, 对历史建筑影响也很大。

对水中垃圾的清理, 我国还停留在人工清理阶段。比如在一些景区内, 大多数都是人工用网兜收集, 但是只能收集距离岸边几米的区域, 并不能收集水域中心的区域, 并且收集起来十分困难。而在城市的内河, 人们开着船用捕捞网清理, 耗时耗力。从目前的实际情况来看, 我国亟需一些自动化程度较高、收集容易、操作简单的装置, 以减轻人们的工作压力和提高工作效率。

目前, 国内现有的水面垃圾清理机器人, 自动化程度高, 价格昂贵, 还不能广泛使用。针对人工打捞的不足, 笔者设计一种水面垃圾清理机器人模

型, 采用无线遥感控制, 自动化程度较高, 能方便快捷地自动完成收集动作, 并且回收箱容量较大, 结构简单, 维护方便, 价格低廉, 操作简单, 非常实用, 适用于很多城市内河、旅游景区等地点。

### 1 水面垃圾清理机方案设计

#### 1.1 作品内容简介

旅游景区、城市内河等狭长的静水水域由于缺少专业的水上垃圾收集设备, 使水上垃圾的打捞困难重重。针对上述水域, 笔者设计的水上垃圾清理机器人(如图 1 所示)融入了无线遥控技术, 结合单片机、电机伺服及 PWM 控制技术实现系统、可靠、精确地控制。系统具有安全可靠、操作简单、收集彻底、效率高和打捞范围广等优势。作品总体效果如图 1 所示。作品具体特点如下:

1) 排水量大、行驶平稳、收集空间大。

根据收集垃圾具体功能的要求, 在设计船体时, 综合考虑吃水量, 尽量将收集空间加大, 使之具有转向迅速、行驶平稳、相同水域范围内排水量大等

收稿日期: 2018-09-18; 修回日期: 2018-10-08

作者简介: 陈华勇(1996—), 男, 浙江人, 本科, 从事机械设计制作及自动化专业机械电子研究。

优点，很好地解决了内河因水域狭窄造成收集困难的问题。

2) 改进的可扩张式收集滤网。

改进了船体收集的滤网，使之能根据工作量张开或收缩收集滤网的大小。

3) 人船分离的收集模式。

通过引入无线遥控技术，实现了人船分离的收集模式，消除了人工收集带来的潜在危险，还节约了大量的人力、物力和财力。

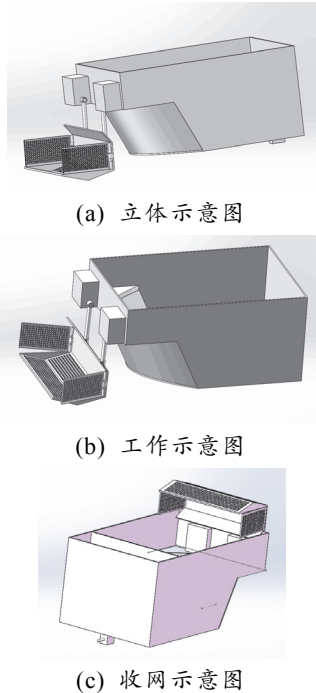


图 1 水面垃圾清理机器人设计效果

1.2 作品组成<sup>[1-3]</sup>

1.2.1 捕捞网

捕捞网底部是一张网，侧边为网状挡板，能有效防止垃圾从侧边漏出。在水下前进和抬起时可有效减少阻力。在收集垃圾时也可使水尽可能少地留在垃圾上。后挡板与连杆通过轴承座相连接，轴承座的中心轴连接在电机上。在后挡板上还有一块倾斜大约 30°的斜板，主要是为了防止捕捞网在抬起过程中漂浮物会落下。装置设计如图 2 所示。

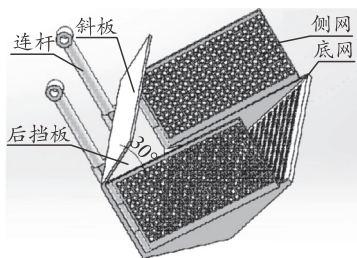


图 2 主要的捕捞装置设计

1.2.2 侧网

侧网的张开可以增加捕捞网的面积，增大捕捞量。侧网的底部与捕捞网的底部缝隙很小，收合过程中可加快水的排出和垃圾的收集。侧网捕捞合起可以保证捕捞物在捕捞网内，然后倒入收集框。侧网的收合通过旋转舵机控制，每侧张开最大角度为 40°。图 3、图 4 分别为侧网设计及张开示意图。

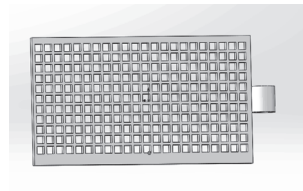


图 3 侧网设计

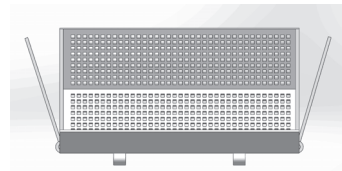


图 4 侧网张开

1.2.3 连杆

2 个自由度的连杆，连接在后挡板和箱体前端的大扭矩舵机上，侧网是通过舵机的旋转来控制捕捞网的动作，连杆是通过另一台舵机来控制连接在箱体部分的旋转。通过两者的配合，实现垃圾的收集。连杆位置如图 5 所示。

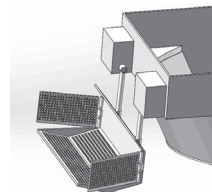


图 5 连杆位置

1.2.4 箱体

箱体上包含收集储存空间、电机推进装置、转向舵机、电源控制中心。箱体设计如图 6 所示，收集空间用来储存捕捞网打捞上来的漂浮物，储存容量大。电机推进装置则是提供前进的动力。电源控制中心用来存放不同电压的航模电池、电池输出转换控制板以及单片机控制板。电池为整个装置提供能源。

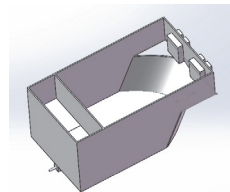


图 6 箱体设计

### 1.2.5 流线型船头

如图 7 所示，流线型船头的主要功能是减少前进的阻力，增强稳定性，提高电机的工作效率，争取获得最高动力效率。

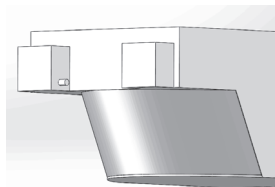


图 7 流线型船头

## 2 部件的选型与理论计算<sup>[4]</sup>

### 2.1 推进电机的选择

整个装置的质量预设 15 kg，电机需要高度防水，因此选择一款水下专用外转子无刷电机。该电机磁缸表面采用环氧树脂涂覆保护，轴承采用超级耐腐蚀的钢材（与普通的不锈钢轴承相比，它的耐蚀和防锈性能提高了 20 倍以上，盐水喷雾试验 500 h 以上），硅钢片采用电泳防腐工艺电调的数据：

1) 12 V 下正推 1 kg 推力 7.8 A 电流，反推 0.86 kg 推力 7.7 A 电流；

2) 16 V 下正推 1.5 kg 推力 10.9 A 电流，反推 1.25 kg 推力 10.9 A 电流；

3) 24 V 下正推 2 kg 推力 16 A 电流，反推 1.8 kg 推力 16.1 A 电流。

电机参数如表 1 所示。

表 1 2216 水下电机参数

项目	参数
Kv 值	350
最大功率/W	300
轴径/mm	3
最大电流/A	15
轴承	高强度耐腐蚀轴承
槽级分布	12N/14P
磁片	钕铁硼 48H
定子	0.22 mm 川崎材料硅钢片
漆包线	UEW 聚氨酯漆包线 Φ0.35
电压范围	3 s, 4 s
质量/g	80
外观工艺	电镀/氧化
最高转速/(r/min)	5 600
外形尺寸/m	28×48.5
定子尺寸/m	22×16
出线方式	PCB 板

### 2.2 连杆舵机的选型

选用 0.5 m，1 kg，转矩为 5 N·m 的大转矩舵机，考虑动态转矩为稳态转矩的 2 倍以上，选转矩不低于 10 N·m 的舵机，连续输出转矩 10 N·m，

启动转矩 11 N·m。因此选用大功率舵机系列 ASMC-03 series 的电机，其型号为 ASMC-03A，启动转矩为 110 kg·cm(max)，保持转矩 100 kg·cm(max)，额定转速 (24 V 电源) 0.12 s/60°。

舵机实物图参考如图 8 所示。

大功率舵机系列  
ASMC-03 series  
RC脉冲/模拟电压控制

阿里风斯  
机器人技术  
http://alifs-x.taobao.com

应用范围：机器人、机械臂，机械手、云台控制，阀门控制，生产线机器人、摄像机云台控制等



图 8 舵机系列实物

产品特性：1) 适用于舵机控制器、航模无线遥控器及模拟电压控制；2) 合金齿轮大功率电机高转矩输出；3) 铝合金减速箱体超轻质量；4) 安装简便，坚固耐用。

应用范围：1) 大型机器人的手臂关节及腿部关节重负荷运动控制；2) 工业自动化生产线机械手控制；3) 阀门角度的精确控制；4) 大型摄像机云台控制；5) 各种需要大转矩角度控制的场合。

舵机参数的参考数据如表 2 和表 3 所示。

表 2 大功率舵机额定参数

项目	技术参数
额定电压	12 V~24 V/DC (10 V/min~30 V/max 极限电压)
空载电流	<500 mA (限流值：3A，建议使用大于 3 A 的开关电源或电池)
极限角度	±150°或 0°~300°(max) 舵机有电子限位调节
控制方式	RC 模式
	1 ms 脉冲模式
模拟电压模式	2 ms 脉冲模式
	0~5 V 输入电压
材质	齿轮与轴：合金钢；齿轮箱体：铸铝
质量/g	550
外形尺寸/mm	95×60×110
机械寿命	>1 000 000 次/满负荷(保守值)

表 3 大功率舵机极限参数

项目	技术参数
极限电压	10 V~30 V/DC (max)
限流值	(3±0.2) A (max)
工作角度	±150°或 0°~300°(max)
控制方式	RC 模式
	1 ms 脉冲模式
模拟电压模式	2 ms 脉冲模式
	0~5 V 输入电压
质量/g	510~560

### 2.3 转向舵机与侧网舵机的选型

由于侧网舵机及转向舵机都与水直接接触或在水下工作，因此，舵机的防水性能需求较大。在水下舵机工作的阻力比较大，所以需要选择扭矩较大

的舵机。

HS-646WP 配有双滚珠轴承和金属齿轮，输出齿由 2 个滚珠轴承支撑，是一款大扭力且可靠的舵机，拥有工业 IP67 防水等级，可以在潮湿的条件下耐用，可达到水下 1 m 耐压。7.4 V 高电压，可用 2 s 锂电池组直接供电，7.4 V 下扭力达到 11.6 kg/cm；马达类型：3 对极；速度 s/60°(6.0 V/7.4 V)：0.20/0.17；扭力 kg/cm(6.0 V/7.4 V)：9.6 /11.6；体积：41.8 mm×21.0 mm×40.0 mm；质量：60 g。

舵机实物图如图 9 所示。



图 9 舵机实物

### 2.4 遥控装置的选型——四路遥控套件

四路遥控套件如图 10 所示，四路遥控套件原理如图 11 所示，套件技术参数如表 4—6 所示。

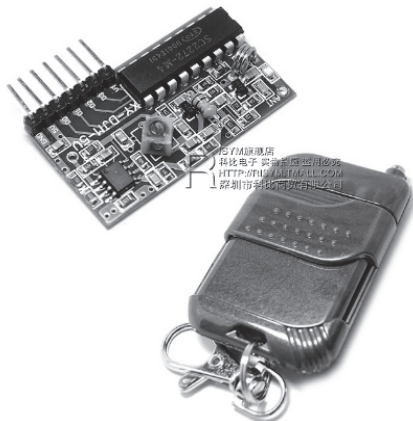


图 10 四路遥控套件

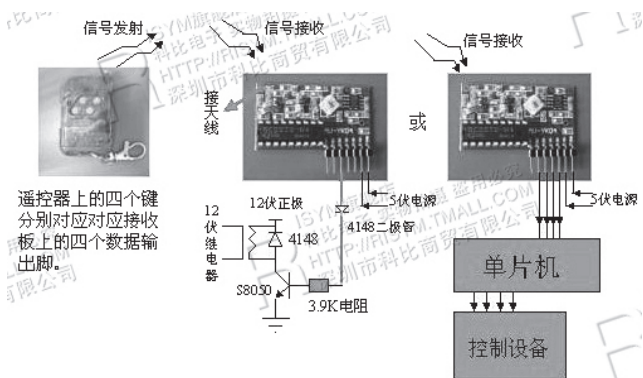


图 11 四路遥控套件原理

表 4 遥控器技术参数

参数	DC12 V(23 A/12 V)
工作电流	10 mA@12 V
辐射功率	10 mW@12 V
调制方式	ASK(调幅)
发射频率/MHz	315
工作电流/mA	34
传输距离/m	120~150
编码器类型	固定码

表 5 解码接收模块技术参数

参数	DC5 V
静态电流/mA	4.5
调制方式	调幅(OOK)
工作温度/°C	-10+70
接收灵敏度/dB	-105
工作频率/MHz	315
编码方式	焊盘编码(固定码)
工作方式	M4(点动)
尺寸(LWH)/mm	41×23×7

表 6 接收模块引脚说明

脚位	名称	功能说明
1	VT	输出状态指示
2	D3	数据输出
3	D2	数据输出
4	D1	数据输出
5	D0	数据输出
6	5V	电源正极
7	GND	电源负极
8	ANT	接天线端

输出 D0/D1/D2/D3 的顺序对应遥控的 BDAC。

### 3 工作过程<sup>[5-6]</sup>

垃圾收集过程：首先，操作人员通过遥控器发出信号，打开前面的收集滤网，船体行驶至垃圾旁边，使船体水域前面的垃圾在收集滤网范围内；接着，操作人员观察收集到一定量垃圾后，发出收集垃圾信号，通过舵机的驱动使侧网收回；然后通过大扭矩舵机带动连杆使滤网向上抬升，同时船体靠拢，直到滤网至船体上方，此时滤网翻转将垃圾回收收到垃圾储存仓内，当到达延时时间时，滤网和连杆回到工作预备状态；最后，当观察到垃圾仓装满后，操作返航到指定垃圾回收场地回收垃圾。如此便完成了整个垃圾收集过程。

### 4 创新点

- 1) 船头采用流线型结构，改变了传统矩形船身，使水的阻力减小，运行更流畅，转向更迅速。
- 2) 收集滤网可以通过旋转实现张开和闭合，可以根据不同工作量来控制是否需要张或合。
- 3) 采用无线遥感技术来控制船体，操作更简单方便。

的速度策略，使得之前求得的拟合直线在预测对方的速度时出现较大误差，这时就需要通过修改之前记录的数据值来重新计算拟合直线，然后继续上节的策略即可。

### 5 结束语

笔者已实现上述策略函数。作为对于之前策略的一种改进，防守鱼可以较好地完成拖延时间的任务，并在 2015 年的中国机器人大赛暨 ROBO CUP 公开赛中获取生存挑战的亚军，验证了其有效性。

### 参考文献：

[1] 国际水中机器人联盟. 2015 国际水中机器人大赛 2D 仿

\*\*\*\*\*

(上接第 80 页)

### 5 结论

笔者以筋斗机动为例，证明了基于多目标蒙特卡罗搜索树算法能够获得接近于职业战斗机飞行员能力极限的标准参考轨迹。通过在控制增稳控制律的前端引入前馈加反馈的复合控制器，并通过一定规律的参数调节，得到误差较小的跟踪轨迹。通过与传统的结合查表式参考轨迹生成和基于 PID 控制律的轨迹跟随方法进行对比，证明了本文中方法解决机动飞行轨迹生成与控制问题的有效性。

### 参考文献：

[1] LIN C F, KHAILI H. Digital simulation of guidance and

\*\*\*\*\*

(上接第 92 页)

### 5 结束语

水面垃圾清理机器人的设计与制作<sup>[7]</sup>，采用了模块化的思想，先将一个整体划分为几个功能模块，依据每个模块的功能特点去设计外形、结构和与外部的连结方式，最后再把相对应的模块根据原方案组合成一个有机的整体去进行更为细致的调整。该方式既能更为合理地去考虑一些潜在的问题，给出行之有效的解决方案，也能方便功能的展示与解说。这种模块化的方式需要有全局观念，虽然独自成块但还是一个有机的整体。

相比于现有的同类产品，本产品具有续航能力强、工作半径大、承载能力强、工作效率高的优点，能够在景区湖面、河面、游泳池等低水流速场合使用，切实解决目前缺少方便高效、安全系数高的打捞设备，给旅游景区、城市内河等狭长的静水水域水面垃圾清理带来的种种问题。

真组比赛规则[C]. 水中机器人大赛官网, 2015.

[2] 卞迪, 夏庆锋. 2D 仿真 5VS5 防守策略研究[J]. 兵工自动化, 2014, 33(12): 63-66.

[3] 卞迪, 夏庆锋. 一种 2D 仿真水球 5VS5 比赛策略[J]. 兵工自动化, 2013, 32(12): 59-62.

[4] 仇红剑, 夏庆锋. 水中机器人 2D 仿真的策略优化[J]. 兵工自动化, 2011, 30(12): 91-93.

[5] 赵伟, 夏庆锋. 一种基于有限状态自动机的多鱼协作顶球算法[J]. 兵工自动化, 2012, 31(11): 59-62.

[6] 吴辉辉. 水中机器人 2D 仿真比赛技术分析[J]. 机器人技术与应用, 2010(4): 23-25.

[7] KUTNER M H, NACHTSHEIM C J, Neter J. Applied Linear Regression Models (5th Ed.)[J]. Technometrics, 2004, 26(4): 125-129.

control system of an advanced supersonic fighter[J]. Simulation Transactions of the Society for Modeling & Simulation International, 1984, 42(1): 21-30.

[2] 魏航. 基于强化学习的无人机空中格斗算法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015: 3-7.

[3] 吴森堂, 费玉华. 飞行控制系统[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005: 46-62.

[4] WANG W J. Multi-objective sequential decision making[D]. Paris: University Paris-Sud, 2014: 1-6.

[5] 魏文领. 筋斗机动轨迹生成和跟随研究报告[R]. 西安: 西安飞行自动控制研究所, 2010: 2-7.

[6] 王维嘉, 陈向, 魏文领, 等. (第六届)中国国际无人驾驶航空器系统大会论文集[C]. 北京: 航空工业出版社, 2016: 3-4.

当代城市迅速发展的同时，对水面卫生清洁的要求越来越高，此类产品的市场规模较大，同时此类产品的生产厂家较少，种类较少。本产品具有广阔的市场前景。

### 参考文献：

[1] 张定华. 工程力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010: 7-29.

[2] 杨黎明. 机械零件设计手册修订版[M]. 北京: 国防工业出版社, 1993: 2-18, 300-303.

[3] 姜志海. 单片机的 C 语言程序设计与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2015: 52-60.

[4] 冯清秀. 机电传动控制[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2016: 230-238, 277-285.

[5] 陈立德. 机械设计基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 2013: 156-159

[6] 柯博文. Arduino 完全实战[M]. 北京: 电子工业出版社出版, 2016: 61-90, 315-318.

[7] 于飞, 李擎, 苏中, 等. 基于微分对策的水中机器人角力模型[J]. 兵工自动化, 2017, 36(12): 94-96.