

# 基于单片机的仿生水母水下机器人设计

顾彬腾<sup>1</sup>, 宋超<sup>1</sup>, 张记超<sup>2</sup>

(1. 大连海事大学 轮机工程学院, 辽宁 大连 116000; 2. 南通航运职业技术学院 轮机工程系, 江苏 南通 226010)

**摘 要:** 文章对水母喷水推进的运动方式进行建模, 设计了仿生水母的机械结构, 并重点设计了基于单片机的控制系统, 完成了基于单片机的仿生水母水下机器人的设计, 具有一定的应用价值。

**关键词:** 单片机; 仿生水母; 水下机器人

**中图分类号:** U674.941

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1671-9891(2017)01-0050-04

## 0 引言

海洋监测在海洋开发过程中具有重要地位, 水下机器人是其中的重要设备。传统水下航行器主要采用螺旋桨进行推进, 存在着推进效率低、噪声大、机动灵活性差等缺陷。而水母的游动方式具有高速、高效、灵活、低噪等特点, 因此近年来仿生水母水下机器人开始出现。水母运动时, 外伞伞体首先收缩, 其结果会导致内腔体体积减小, 进而将腔内的水喷出, 在推力的作用下带动水母移动。因而, 水母就是靠自身体积的变化来实现推进的。作为一种集浮标技术与水下机器人技术于一体的新型水下航行器, 仿生水母可以全自主、长时间的对海洋进行监测。<sup>[1]</sup>当前的研究主要集中于基于智能材料的仿生水母, 其中尤以形状记忆合金 SMA (Shaped Memory Alloy) 的应用研究居多, 但其成本较高, 因此限制了其推广。本文设计了一种基于单片机的仿生水母, 成本低、结构简单, 为仿生水母的进一步研究与完善提供了新的思路。

## 1 水母运动的建模

为了便于后继的机械设计, 建立一种较为简明的数学模型用于描述水母钟状体在一个周期内的运动。模型将水母钟状体分为三部分, 分别是静止部分、运动部分 A 和运动部分 B, 如图 1 所示。

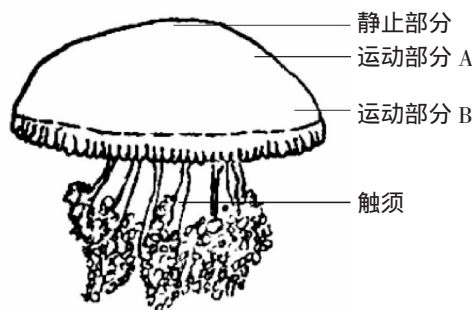


图 1 水母钟状体的三部分

用三根传动杆代替水母外围柔性体, 将水母简化成杠杆结构。 $l_1$  对应静止部分,  $l_2$  对应运动部分 A,  $l_3$  对应运动部分 B,  $\alpha_1$  是  $l_1$  与  $l_2$  的夹角,  $\alpha_2$  是  $l_2$  与  $l_3$  的夹角。确定出  $\alpha_1$  和  $\alpha_2$  随时间变化函数即可得出水母的运动方程。水母杠杆模型如图 2 所示。 $\alpha_1$  和  $\alpha_2$  随时间变化函数如式(1)、式(2)、式(3)、式(4)所示。

收稿日期: 2016-12-18

基金项目: 江苏省交通运输科技项目“‘中国制造 2025’背景下江苏船舶与海洋工程装备产业转型升级路径研究”(项目编号 2016T22-2(2))。

作者简介: 顾彬腾(1996—), 男, 江苏南通人, 大连海事大学轮机工程学院本科生。

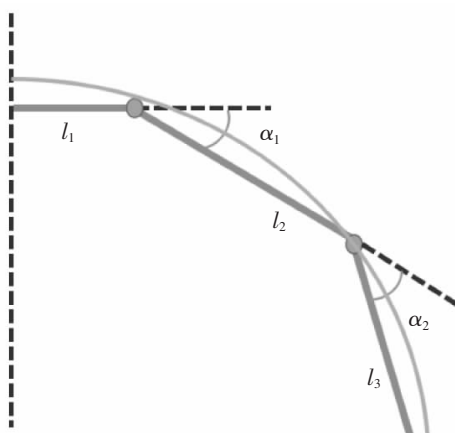


图 2 水母杠杆模型

$$\alpha_1 = -0.51 \left( \frac{x}{T_1} \right)^3 + 0.76 \left( \frac{x}{T_1} \right)^2 + 0.2 \left( \frac{x}{T_1} \right) + 0.54 \quad x \in [0, T_1) \quad (1)$$

$$\alpha_1 = -0.45 \left( \frac{x - T_1}{T_2} \right) + 0.99 \quad x \in [T_1, T_1 + T_2] \quad (2)$$

$$\alpha_2 = 0.11 \left( \frac{x}{T_1} \right)^4 - 0.22 \left( \frac{x}{T_1} \right)^3 + 0.32 \left( \frac{x}{T_1} \right)^2 + 0.28 \left( \frac{x}{T_1} \right) + 1.0 \quad x \in [0, T_1) \quad (3)$$

$$\alpha_2 = -0.48 \left( \frac{x - T_1}{T_2} \right) + 1.48 \quad x \in [T_1, T_1 + T_2] \quad (4)$$

式中  $x$  是水母在一个周期内从开始运动至某一位置所需要的时间,  $T_1$  是水母收缩所需要的时间,  $T_2$  是水母扩张所需要的时间。

## 2 仿生水母结构的设计

为了实现仿生水母的运动, 需要通过吸排水调节水母钟状体内的容积。常用的包括“调节体积”和“泵吞吐”的方式, 以改变其在水中的净浮力。<sup>[2]</sup> 由于水母体积较小, 需要实现重复调节, 所以采取“调节体积”的方法, 即采用可变体积式喷水推进装置产生推力, 如图 3 所示。

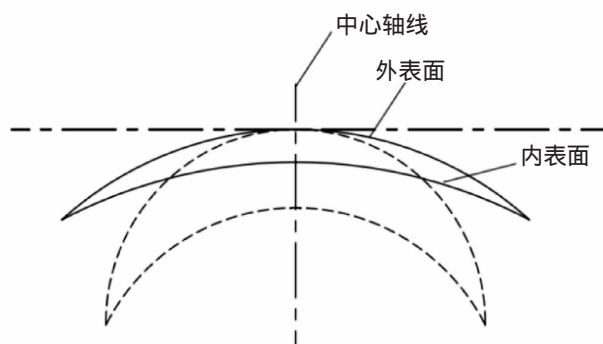


图 3 仿生水母推进原理示意图

要使仿生水母达到上述杠杆模型的运动方式, 需要用两个摇杆来实现运动部分 A 和运动部分 B 的运动, 如图 4 所示。

从图中可以看出, 若要使机构运动确定, 需要两个原动件。扩张运动过程中, 套筒机构从上向下运动, 使钟状体结构体积整体扩张, 腔体容积扩大, 腔体中的水压力降低, 小于外界的水压。此时, 腔体内部为负压环境, 水因而进入腔体内部并产生一个向前的推力作用于硅胶膜上, 推动水母前进。收缩过程中, 机构执行相反的动作, 套筒机构下移, 带动机械手臂向内收缩。腔体内部水压增大, 腔体内部为正压环境, 使腔体内部的水喷出从而产生推力。此时, 水母的几何外形最小, 趋近于流线型, 使其能够以尽可能小的阻力向前运动。

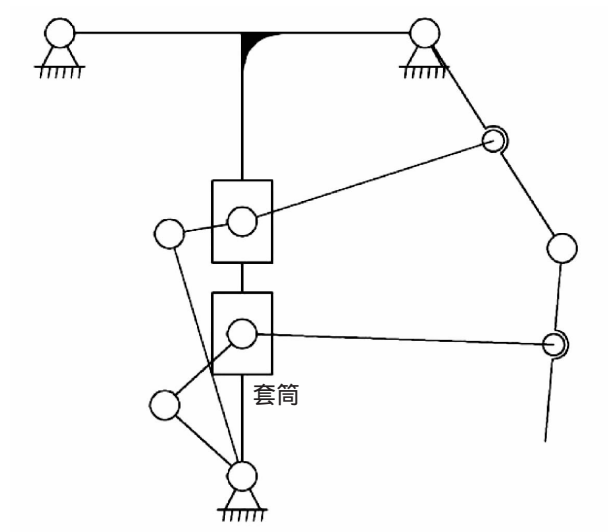


图4 仿生水母机械结构简图

整个推进系统主要由硅胶外壳、套筒、可变形机械手臂等组成。可变形机械手臂使得调节范围较大,易于实现大幅度动作,更符合水母运动的实际情况。将上述设计用 SolidWorks 绘制出来,得出如图 5 所示的仿生水母模型,其一个周期的运动也在图中展示。

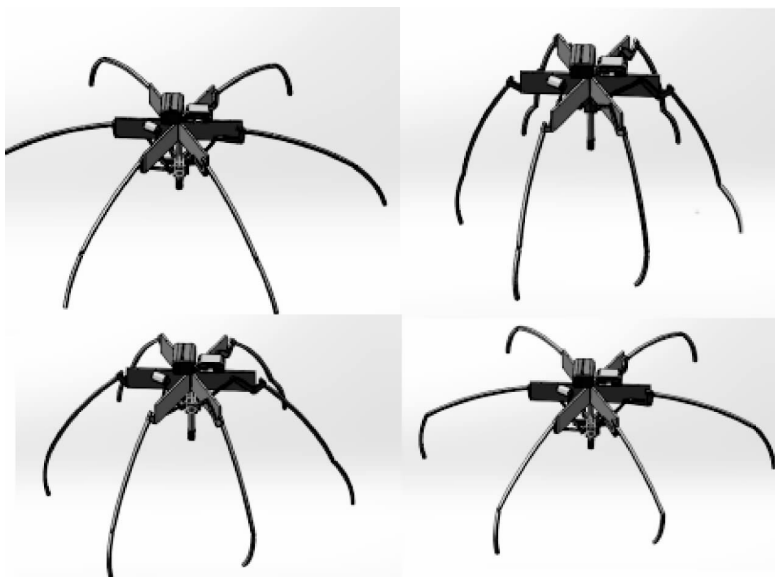


图5 仿生水母的 SolidWorks 结构及其运动仿真

### 3 仿生水母控制系统的设计

#### 3.1 ARM Cortex—M4 单片机

ARM Cortex—M4 处理器是整个电路系统的核心,通过测速轴承测量得到的实时数据并运行控制算法完成对整个机体的控制。它通过完成接收测速轴承和超声波探测器测量得到的轴承转速、控制蓝牙模块与上位机通信、控制步进电机的转速、控制滑块的位置等具体任务,来满足不同自然环境下仿生机械水母的规则运动。

#### 3.2 超声波探测器

水中近距超声波探测器用于探测接近目标的对象。根据多普勒频偏检测原理,该探测器由发射机、转换电路、接收机和信号处理电路构成。发射信号是设计的关键,其时钟产生电路采用 1MHz 晶体振荡器,产生 500kHz 超声波脉冲,分频控制电路以 500kHz 的频率发出脉冲信号,经过同步检波后变为多普勒频偏值,作为填充的脉冲信号发出;发射信号电路考虑与水听器匹配,采用双发射管并联结构。这种高频非周期窄脉冲

信号,具有频率高、能耗小、波长短、绕射现象小、方向性好、发射器体积小等优点,特别适合应用于深弹复合引信中。

### 3.3 舵机

舵机是一种位置(角度)伺服的驱动器,适用于那些需要角度不断变化并可以保持的控制系统。其工作原理是:控制信号由接收机的通道进入信号调制芯片,获得直流偏置电压。舵机的控制信号是 PWM 信号,利用占空比的变化,改变舵机的位置。仿生水母的驱动舵机选用的是带丝杆的 s3010 的舵机。s3010 的舵机精度高,转动角度不受负载影响,适合于本项目系统。主控制器通过 PWM 信号对电机进行控制,能够精确地控制电机转过角度,系统中通过连杆机构将舵机的扭力传递到套筒上,以实现仿生水母吸喷水动作的调控。

### 3.4 失效保护模块

为了保证仿生水母在恶劣条件下平稳安全的运行,本系统带有失效保护模块。失效保护模块由太阳能电池板、继电器、89C51 控制芯片、带有叶片的辅助直流电机等构成。失效保护模块位于主控制系统的上部,当主控制系统发生进水、电池电量不足、驱动系统故障等各种系统故障时,失效保护模块通过传感器检测到主系统故障,传感器将信号传递到失效保护模块控制芯片,控制芯片立即驱动继电器关闭主控制系统,开启失效保护模式。在此模式下,控制芯片自主控制直流电机快速旋转,带动仿生水母立即升起水面,方便工作人员及时捞出进行维修。

## 4 结束语

基于单片机的仿生水母水下机器人设计简单,工作高效,易于实现。目前,本文的研究还处于设计阶段,要实现仿生水母水下机器人的研发,还需要做大量的实验和测试工作,然后在不断优化完善的基础上才能获得更好的性能。

### 参考文献:

- [1]王振龙,李健,杭观荣,等.生物喷水推进机理及其在仿生喷水推进装置中的应用[J].机器人,2009(3):281-288.
- [2]李健,袁岳胜,桑学夫,等.SMA 丝驱动的仿生水母伞体推进器设计[J].微特电机,2015(8):1-4.

## Design of Underwater Biomimetic Jellyfish Robots Based on Single Chip Microcomputers

GU Bin-teng<sup>1</sup>, SONG Chao<sup>1</sup>, ZHANG Ji-chao<sup>2</sup>

(1.School of Marine Engineering, Dalian Marine University, Dalian 116000, China;

2. Dept. of Marine Engineering, Nantong Vocational & Technical Shipping College, Nantong 226010, China)

**Abstract:** This article conducts the modeling of the waterjet propulsion mode of the jellyfish and designs the mechanical structure of the biomimetic jellyfish. In addition, it specifically designs the control system based on single chip microcomputers and completes the underwater biomimetic jellyfish robots based on single chip micro-computers, which is of certain application value.

**Key words:** Single chip microcomputer(SCM); Biomimetic jellyfish; Underwater robot