

doi: 10.7690/bgzd.2013.12.025

三舵机仿鲮科机器鱼控制系统

彭非¹, 苏琦², 李卫京³

(1. 中国人民解放军 61213 部队机务大队一中队, 临汾 041000;

2. 中国人民解放军 61255 部队机务大队一中队, 侯马 043000; 3. 陆军航空兵学院航空机械工程系, 北京 101123)

摘要: 在传统的基于 51 单片机的舵机控制方法中, 对舵机占空比控制不精确是致命的问题。针对该问题提出一种多路舵机流程控制算法, 实现了对舵机的电平改变时间和占空比时间进行精确控制。描述机器鱼机械开发平台, 在此基础上从硬件和软件两方面进行无线控制模块电路和无线通讯口令表的设计, 最终完成了三舵机仿鲮科机器鱼的设计。试验结果表明, 该系统具有低成本、低功耗、高性能、易实现等优势。

关键词: 机器鱼; 无线控制模块; 多路舵机流程控制法

中图分类号: TP24 **文献标志码:** A

Control System of Three-Servo Robotic Carangidae-Fish

Peng Fei¹, Su Qi², Li Weijing³

(1. No. 1 Squadron of Maintenance Brigade, No. 61213 Unit of PLA, Linfen 041000, China;

2. No. 1 Squadron of Maintenance Brigade, No. 61255 Unit of PLA, Houma 043000, China;

3. Department of Aviation Machinery Engineering, Army Aviation Institute, Beijing 101123, China)

Abstract: In the conventional control method, an imprecise control upon servo's duty ratio is a crucial problem. This paper introduces a multiple-channel servo flow control algorithm to solve the aforementioned problem, realizing an accurate tuning of the voltage of servo and a precise control about the servo's duty ratio. We first describe a mechanical developing platform for the robot-fish, and then implement the circuit design for the wireless control module and the command-table for wireless communications, and finally complete the three-servo robotic carangid-fish. The experimental results show the designed system has advantages of low-cost, low-consumption, high-performance, and easy-fulfill.

Key words: robot fish; wireless control module; multiple-channel servo flow control

0 引言

鱼类经过长期的自然选择和进化, 具备了在水中高效、稳定地游动的能力。随着科技的发展, 人们希望设计并制造能与自然鱼类的性能相媲美的机器鱼。水中机器鱼的研究涉及到很多领域, 如数学、水动力学、仿生学、人工智能、控制理论、材料学、计算机科学、机械学、通讯、传感器技术等。基于此, 笔者提出了基于 51 单片机对机器鱼的无线控制模块进行设计与制造的方法, 并在舵机控制部分提出了多路舵机流程控制法, 提升了舵机控制的性能。这种设计方式具有低成本、低功耗、高性能、易实现等优势^[1]。

1 机械平台简介

笔者采用的机器鱼机械平台是在水中机器人大赛中使用的仿鲮科鱼类三舵机机械结构, 头部为刚性树脂材料, 顶部有无线传输天线, 鱼尾机构由 3 个用铝制骨架联接的舵机构成, 尾部鱼皮由软质橡胶材料制成^[2]。

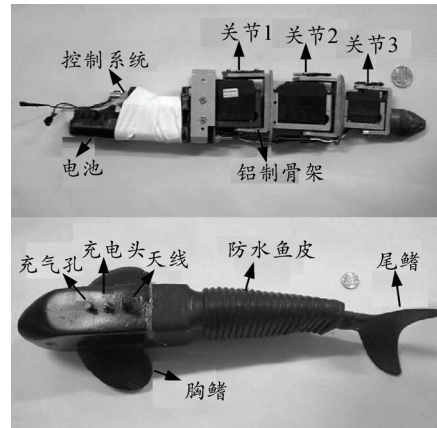


图 1 机器鱼机械结构

2 硬件系统设计

笔者设计的无线控制模块主要实现以下功能:

- 1) 与上位机进行无线通讯, 接受上位机对机器鱼的控制命令, 并向上位机发送机器鱼的状态信息;
- 2) 分析处理由上位机传来的命令, 并整合传给上位机的机器鱼状态信息;
- 3) 根据上位机的命令, 采用多路舵机流程控制

收稿日期: 2013-07-19; 修回日期: 2013-08-26

作者简介: 彭非(1990—), 男, 北京人, 本科, 助理工程师, 从事直升机机务维护研究。

法协调控制 3 个舵机，产生协调的鱼体波。

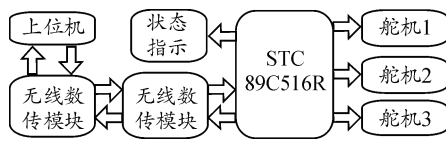


图 2 水中机器鱼控制系统

下面就控制器与无线数传模块的选择、硬件电路的设计两方面进行论述。

2.1 控制器与无线数传模块的选择

笔者设计的这款无线控制模块采用了低成本、低功耗的 STC89C516RD+贴片式单片机，具有 64 K

存储空间，44 根管脚中包含 4 组总线式 I/O 口 (P₀、P₁、P₂、P₃)，内部拥有 3 个定时/计数器 (T₀、T₁、T₂)，可以完成所需功能。无线数传模块采用 RF1100-232 无线收发模块，它使用 TI 公司的高性能 CC1101 无线通信芯片，直线传输距离可达 200 m，功耗极低。

2.2 硬件电路的设计

在外观上，设计的电路板必须能装进鱼头狭小的空间，因此笔者设计的电路板为双层结构，上层板为单列直插式的无线数传模块，下层板为主控板。

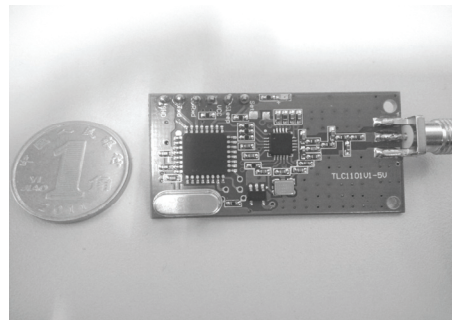
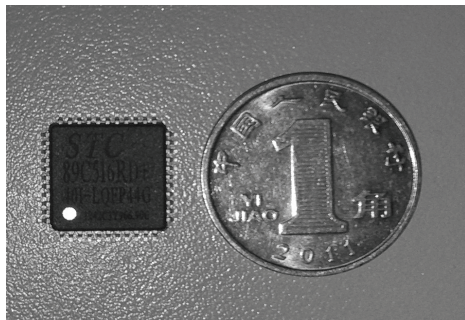


图 3 89C516 单片机和无线数传模块

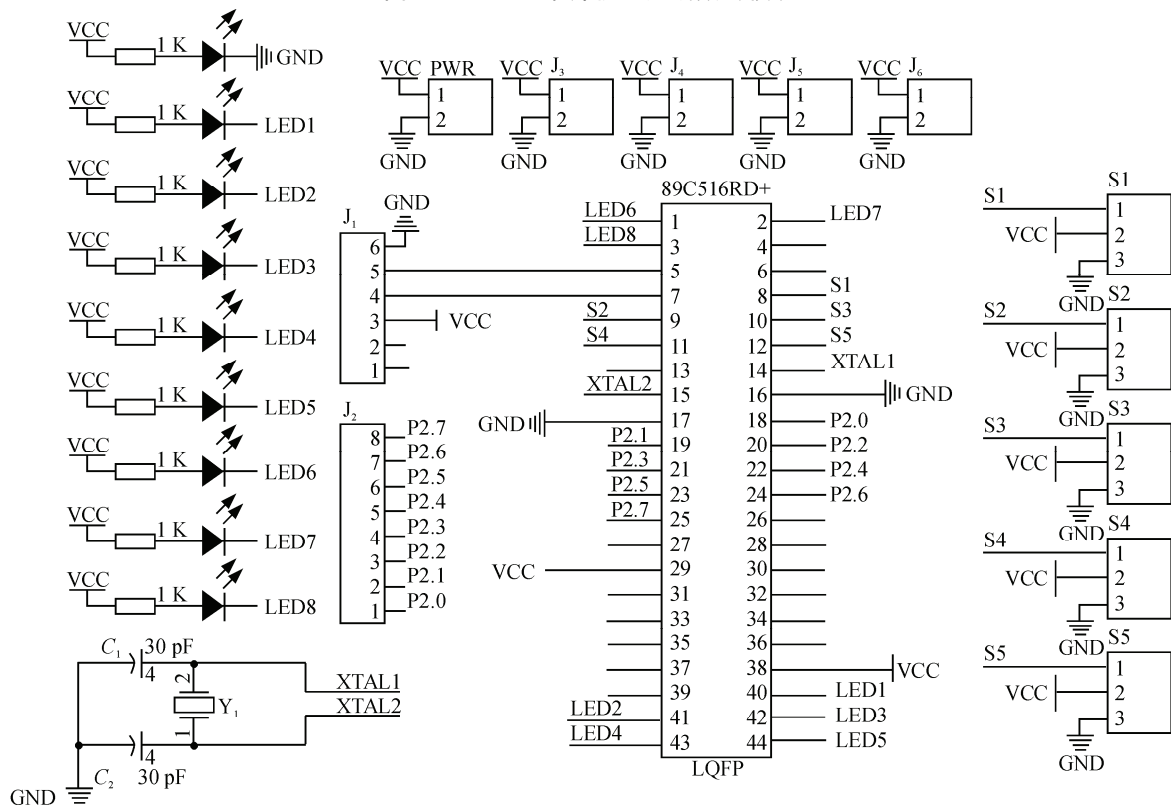


图 4 主控制板电路原理图

主控板由控制器、状态指示、外围接口 3 部分组成。控制器部分为 89C516 单片机和晶振电路。8 位贴片式红色发光二极管经 1 kΩ 电阻连接至单片机的 P_{1.0}~P_{1.7} 口，作为状态指示灯。另外，为了满

足日后实验的需要，这款控制模块具备丰富的外围接口。除了系统所需的三位舵机供电控制口及无线数传模块插口以外，还预留了两组舵机接口(整个模块最多可联接 5 只舵机)、4 组供电输出口以及 P_{2.0}~

P_{2.7} 口的外接单列排针。

3 软件系统设计

无线控制模块的设计满足可控性和智能性的要求，功能上要与硬件系统相配合。主要工作过程如图 2，首先由上位机发送控制命令，单片机由一对互相收发的数传模块接收上位机的控制命令，再由单片机经过分析与处理将命令解算成对舵机的控制方式，并由其内部的 2 个定时器采用流程控制法对舵机输出 PWM 波，控制舵机的动作，同时可根据需要将机器鱼的状态信息发送给上位机，便于调试。

3.1 命令的接收与处理

其中无线收发部分的程序采用了串口通讯的方式，由 T₁ 定时器实时产生 9 600 kbit/s 的波特率，当无线数传模块接收到上位机发来的命令时触发串口中断，随后命令信息将被写入单片机的 SBUF 寄存器，程序在中断中将该寄存器中的信息提取出来

存入变量，至此便完成了接收上位机命令的工作。

另外，笔者对上位机与控制模块间交流的口令进行了精心的设计。控制口令既要简洁明了，又要能够满足对鱼体波函数参量调试的需要，便于实验人员开放灵活的调试机器鱼的动作控制模型。笔者设计的通讯口令由 2 位 16 进制数组成(0x00~0xFF)，高位代表口令的控制类别，低位代表该控制类别的取值，例如：口令 02 为控制机器鱼倒游，口令 1F 为控制机器鱼以最快速度游动。

这套口令的高位最多可控制影响机器鱼动作的 16 个量值。笔者实际应用了 11 个，分别为游动模式、游动速度、游动方向、游动频率、鱼体波函数初项、一号舵机的摆动幅度、二号舵机的摆动幅度、三号舵机的摆动幅度、一号舵机的中立值修正、二号舵机的中立值修正、三号舵机的中立值修正。

这套口令的低位分别为每种控制类别的取值，如图 5 所示。

类别	范围	命令	取值																
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	
模态	0~2	0	前游	定身	倒游	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
速度	0~F	1	慢——快																
方向	0~E	2	左							中立		右							N/A
频率	0~E	3	前疏后密(速度档位)							均匀		前密后疏(速度档位)							N/A
初项	0~E	4	起振方向在左																
幅度 1	0~F	5	小——大																
幅度 2	0~F	6	小——大																
幅度 3	0~F	7	小——大																
舵机中立修正 1	0~E	8	(舵机初始位置)向左偏移							不变		(舵机初始位置)向右偏移							N/A
舵机中立修正 2	0~E	9	(舵机初始位置)向左偏移																
舵机中立修正 3	0~E	A	(舵机初始位置)向左偏移																
N/A	N/A	B	N/A																
N/A	N/A	C																	
N/A	N/A	D																	
N/A	N/A	E																	
N/A	N/A	F																	

图 5 无线通讯口令表

1) 模态的取值 0 为命令机器鱼前游，1 为命令机器鱼定身(动作定格在当前状态)，2 为命令机器鱼倒游；

2) 速度取值由 0~F 变化代表游动速度由最慢至最快；

3) 方向的取值范围为 0~E，其中 7 为中立，即向正前方游动，0 为最左，E 为最右；

4) 频率代表速度命令控制实际游动速度的疏密程度，7 为使速度命令控制的速度均匀分布，0 为速度命令前疏后密的程度最高，E 为前密后疏的程度最高；

5) 初项为鱼体正弦波的起振位置，7 为从中立位置起振，0 为从最左端起振，E 为从最右端起振；

6) 幅度 1、2、3 代表产生鱼体波的相应舵机的

摆动幅度，0 为最小，F 为最大；

7) 舵机中立修正 1、2、3 代表相应舵机中立的位置，7 为保持不变，6 为向左偏移 1 个单位，0 为向左偏移 7 个单位，8 为向右偏移 1 个单位，E 为向右偏移 7 个单位。

3.2 三路舵机的流程控制法

由无线数传模块接收的口令经解算处理以后，被送入舵机控制函数产生相应的正弦波，再由舵机控制函数产生出 3 个舵机的占空比值。舵机 PWM 波的周期为 20 ms，占空比取值范围为 0.5~2.5 ms，其中 1.5 ms 占空比对应的是舵机的中立位置，即若想让舵机听话的停在中间，必须精确控制占空比。

一些高级的单片机自身就具有产生 PWM 波的

功能，而其造价和功耗也是不容忽视的。传统的多路舵机控制方法^[2]是：使用定时器每 0.1 ms 中断一次，然后用程序计数 200 次产生 20 ms 的周期，同时当计数 15 次的时候，给 3 个舵机改变电平，200 次时再次改变电平，从而起到令舵机中立的目的。这样的控制方法有以下 2 个弊端：

1) 每 0.1 ms 的中断频率会随时中断主程序的执行，影响单片机程序的执行效率，数据运算速度会大大减慢；

2) 每一条语句都会占用系统时间，哪怕是给舵机改变电平的赋值语句，即在改变 1 个舵机的电平时可能是 1.5 ms，之后再改变第 2 个舵机的时候就会发生延时，这样，舵机的占空比恐怕就需要借助示波器并经过反复调试才能变精确了。

鉴于以上程序的缺陷，笔者构思了多路舵机流程控制法，用来控制三路舵机的运行。由于模块需要收发数据，数据传输的波特率(由 T_1 定时器产生)必须固定，因此要先调整中断的优先级。在初始化过程中将串口中断定为最高优先级， T_2 定时中断其次， T_0 定时中断最低，同时将 3 个舵机置低电平^[3]。

PS=1;

PT2=1;

PT0=0;

DJ_s1=0;

DJ_s2=0;

DJ_s3=0;

让 T_0 定时器每 20 ms 中断 1 次，产生 PWM 波周期。再使用 T_2 定时器的 16 位自动重装定时功能，产生分毫不差的定时中断，分八步来控制三路舵机的占空比。 T_2 定时中断程序流程如图 6。

第 1 步，给 T_2 定时器的 16 位重装寄存器(RCAP2H 和 RCAP2L)赋初值(T_2 定时中断产生前，这 2 个寄存器中的值会自动赋给定时器初值寄存器，消除了赋值语句占用的时间)，初值为舵机 1 占空比的时长；

第 2 步， T_2 定时器触发第 1 次中断，给舵机 1 赋高电平；

第 3 步， T_2 定时器触发第 2 次中断，给舵机 1 赋低电平，再给 RCAP2H 和 RCAP2L 赋初值，初值为舵机 2 占空比的时长；

第 4 步， T_2 定时器触发第 3 次中断，给舵机 2 赋高电平；

第 5 步， T_2 定时器触发第 4 次中断，给舵机 2 赋低电平，再给 RCAP2H 和 RCAP2L 赋初值，初值为舵机 3 占空比的时长；

第 6 步， T_2 定时器触发第 5 次中断，给舵机 3 赋高电平；

第 7 步， T_2 定时器触发第 6 次中断，给舵机 3 赋低电平，并关闭 T_2 定时器，关闭 T_2 定时中断；

第 8 步， T_0 定时器定时 20 ms 中断触发，给 RCAP2H 和 RCAP2L 赋初值，初值为舵机 1 占空比的时长，并打开 T_2 定时器，打开 T_2 定时中断。

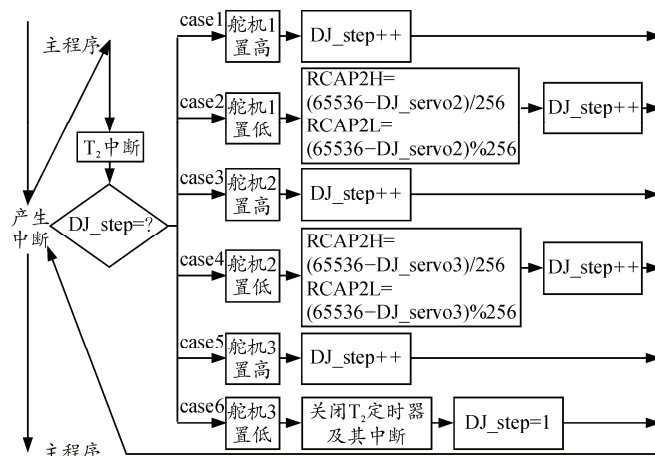


图 6 T_2 定时中断程序流程

分析这一过程可以看出，使用这种舵机控制方法，每只舵机的改变电平语句在中断发生以后出现的时间都是相同的，使得舵机的电平改变时间和占空比时间精准吻合，同时免去了采用多次中断计数的方法所消耗的时间，提高了程序运行的效率。在实际应用中，鱼尾的 3 个舵机能够正常摆动，而且避免了传统控制方法由于占空比控制不精准产生的舵机抖动现象。这样，虽然使用了普遍认为“低级”的单片机，但却表现出了优越的性能。

4 结束语

笔者基于 51 单片机对三舵机仿鲮科机器鱼的控制进行了设计，规划了上位机控制机器鱼的口令表，提出了基于单片机定时器的多路舵机流程控制法，并制作出了机器鱼控制模块，展现了较好的性能。

参考文献：

- [1] 王硕, 谭民. 机器鱼[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2006.
- [2] 丁俐, 余瑾, 吴垠, 等. 基于 PIC 单片机的仿生机器鱼的舵机控制[J]. 微计算机信息, 2010(14): 26.
- [3] 郭天祥. 新概念 51 单片机 C 语言教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [4] 刘甜甜, 秦峰, 朱晓勇, 等. 水下自主导航机器人系统[J]. 兵工自动化, 2012, 31(11): 66-72.
- [5] 彭非, 李卫京. 基于 PID 算法的水中机器鱼方向档位控制方法[J]. 兵工自动化, 2012, 31(11): 80-82.