

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G09B 25/02 (2006.01)



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200410101878.0

[43] 公开日 2006年7月12日

[11] 公开号 CN 1801248A

[22] 申请日 2004.12.30

[21] 申请号 200410101878.0

[71] 申请人 中国科学院自动化研究所

地址 100080 北京市海淀区中关村东路95号

[72] 发明人 谭民 王硕 王龙

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司
代理人 周围城

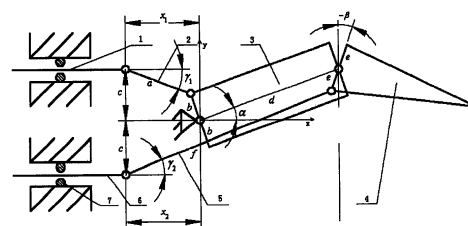
权利要求书1页 说明书5页 附图8页

[54] 发明名称

一种仿生机器鱼尾部运动机构设计与控制方法

[57] 摘要

本发明涉及仿生学技术领域，一种仿生机器鱼尾部运动机构设计与控制方法。包括：尾部运动机构设计方法：S1.1 根据关节长度比，确定各个时刻每个关节与头尾轴的夹角；S1.2 给定连杆尺寸、偏心距，确定滑杆位移；S1.3 确定凸轮尺寸；S1.4 计算凸轮压力角。控制方法：S2.1 设定需要的仿生机器鱼游动速度值 V ；S2.2 将游动速度设定值 V 转换为驱动电机的转速设定值 N ；S2.3 按照设定转速 N 给定生成 PWM 控制信号；S2.4 输出 PWM 控制信号控制仿生机器鱼尾部电机的转动速度；S2.5 检测机器鱼游动速度 v ；S2.6 将检测到的游速 v 与设定游速 V 进行比较；S2.7 计算检测游速 v 大于还是小于设定游速 V ；S2.8 在设定转速基础上，减少转速 N ；S2.9 在设定转速基础上，增加转速 N 。



1. 一种仿生机器鱼尾部运动机构设计方法，其步骤如下：
步骤 S1.1 根据关节长度比，确定各个时刻每个关节与头尾轴的夹角；
5 步骤 S1.2 给定连杆尺寸、偏心距，确定滑杆位移，由 α_i 和 β_i 确定滑杆 s1、s2 的各个时移动距离 x_{1i} 和 x_{2i} ；
步骤 S1.3 根据滑杆各个时刻滑动距离确定凸轮尺寸；
步骤 S1.4 计算凸轮压力角，如果压力角过大，则重新选择参数 a、b、c 和 e，重复步骤 S1.2、S1.3 和 S1.4 直至压力角满足。
- 10 2. 一种仿生机器鱼尾部运动机构控制方法，其步骤如下：
控制方法，包括如下步骤：
步骤 S2.1 设定需要的仿生机器鱼游动速度值 V；
步骤 S2.2 将游动速度设定值 V 转换为驱动电机的转速设定值 N，游
动速度与电机转速之间的转换关系依据仿生机器鱼游动实验测定；
15 步骤 S2.3 按照设定转速 N 给定生成 PWM 控制信号；
步骤 S2.4 输出 PWM 控制信号控制仿生机器鱼尾部电机的转动速度；
步骤 S2.5 检测机器鱼游动速度 v ；
步骤 S2.6 将检测到的游速 v 与设定游速 V 进行比较，当检测游速 v 与
给定游速在设定的误差范围内时，认为达到预定游速要求，返回到步骤
20 S2.5；当检测游速 v 与给定游速在设定误差范围之外时，认为没有达到
预定的游速要求，转到步骤 S2.7；
步骤 S2.7 计算检测游速 v 大于还是小于设定游速 V，当检测游速 v 大
于设定游速 V 时，转到步骤 2.8；当检测游速 v 小于设定游速 V 时，转
到步骤 2.9；
25 步骤 S2.8 在设定转速基础上，减少转速 N，令设定转速 $N=N-N$ ，
转到步骤 S2.3；
步骤 S2.9 在设定转速基础上，增加转速 N，令设定转速 $N=N+N$ ，
转到步骤 S2.3。

一种仿生机器鱼尾部运动机构设计与控制方法

5 技术领域

本发明涉及仿生学技术领域，特别是一种仿生机器鱼尾部运动机构设计与控制方法。

背景技术

10 对于鱼类仿生学的研究在九十年代以前主要是开展理论方面的研究工作。在九十年代以后，随着电子技术、新型材料、机器人技术的快速发展，仿生机器鱼的研究在国内外已逐步开展起来。在这方面取得较好成果的有美国 MIT 大学的研究组为涡流控制和减阻机制研究而开发研制的仿生机器金枪鱼。美国东北大学利用形状记忆合金和连杆机构开发研制的
15 的机器鳗鱼。日本名古屋大学 Toshio Fukuda 教授开始了微型仿鱼水下推进器的研究，他先后研制出形状记忆合金（SMA）驱动微型身体波动式水下推进器和压电陶瓷(PZT)驱动的双鳍鱼型微机器人。日本东海大学的 Kato 实验室开发了研究人工胸鳍的机动性和推进的测试平台——仿黑色鲈鱼机器鱼。从 1999 年开始，日本运输省船舶技术研究(SRI)所开始了一系列的机器鱼研究项目，并开发了一种新型发动机半自由活塞型斯特
20 灵发动机作为机器鱼的动力源。国内，哈尔滨工程大学在国防基金的支持下开展了仿生机器章鱼的研究工作。中科院沈阳自动化研究所制作了两关节的仿生机器鱼模型。北京航空航天大学机器人研究所研究了机器鳗鱼和机器海豚。

25

发明内容

本发明的目的是依据已有的鱼类仿生学理论，设计出单电机驱动的多关节灵巧机器鱼尾部，开发可以模仿鱼类运动的仿生机器鱼。本装置的发明可以为研究鱼类运动的水动力学、游动机理、运动控制方法提供实
30 验本体，为制造效率高、机动性好、噪音低、对环境扰动小的水下运输

设备提供基本的实验平台，制作娱乐型或观赏型仿生机器鱼。

附图说明

图 1 是机器鱼尾部机构简图。

5 图 2 是关节和尾鳍形成的二连杆机构图。

图 3 是二连杆拟合鱼体波曲线图。

图 4 是机器鱼尾部驱动结构简图。

图 5 是反转法绘制槽凸轮轮廓线图；。

图 6 是利用 PWM 信号驱动电机原理框图。

10 图 7 是机器鱼实物图。

图 8 是控制电路设计原理图。

图 9 是仿生机器鱼尾部运动机构设计方法流程图。

图 10 是仿生机器鱼尾部运动机构控制方法流程图。

15 具体实施方式

本发明的要点将分为尾部波动机构、尾部驱动机构和驱动电路三个部分设计方发进行说明。

(一) 尾部摆动机构、驱动机构设计方法。

20 图 1 为机器鱼尾部摆动机构简图，其中，1：滑杆 a，2：连杆 a，3：连接关节，4：尾鳍，5：连杆 b，6：滑杆 b，7：O 型密封圈。滑杆 a 滑杆 b 分别由尾部驱动结构带动，沿着鱼体轴线方向在滑槽中移动，从而带动连接关节和尾鳍地摆动。

图 2. 关节和尾鳍形成的二连杆机构。把关节和尾鳍看成沿鱼体轴方向的连杆，关节和尾鳍的长度不变，为别为 d，g。

25 图 3 是二连杆拟合鱼体波曲线。

图 4. 为机器鱼尾部驱动结构简图，其中，1：直流电机，2：电机输出轴，3、4：锥齿轮，5：凸轮旋转轴，6：槽凸轮，7：滑杆 a，8、9：O 型密封圈，10：滑杆 b，11：槽凸轮，12：凸轮旋转轴，13：锥齿轮。这里采用槽凸轮机构来实现第一节中滑杆各个时刻的位置。在图 4 中，
30 电机带动输出轴转动，通过相互啮合的锥齿轮使得两个凸轮转动，但它

们的转动方向相反，接着两个槽凸轮推动滑杆在滑槽中滑动。

图 1、4 中各主要零件具体尺寸确定方法如下：

图 9 是仿生机器鱼尾部运动机构设计方法流程。步骤如下：

步骤 S1.1: 根据关节长度比，确定各个时刻每个关节与头尾轴的夹角。

- 5 首先给出每个关节的长度（尾鳍看作其中一个关节），为了能使这些关机很好拟和鱼体波曲线（公式 1）

$$y_{body}(x,t) = [(c_1x + c_2x^2)][\sin(kx + \omega t)] \quad (1)$$

就要根据关节长度计算出各个时刻关机相对于头尾轴的夹角。公式 1 中各参数的意义： y_{body} 是鱼体的横向位移(背腹轴)， x 是鱼体的轴向位移(头尾轴)， k 是体波数($k = 2\pi/\lambda$)， λ 是鱼体波的波长， c_1 是鱼体波波幅包络线的一次项系数， c_2 是鱼体波波幅包络线的二次项系数， ω 是鱼体波频率 ($\omega = 2\pi f = 2\pi/T$)。

15 由于计算机控制是一种数字量控制，我们考虑将鱼体波曲线离散化，把时间参数 t 从鱼体波运动函数 $y_{body}(x,t)$ 中分离出来。也就是说，将不断传播的鱼体波分解成两部分：(1) 一个摆动周期内，与时间无关的样条曲线序列 (见式 2) $y_{body}(x, i)$ ($i = 0, 1, \dots, M-1$)；(2) 与时间相关的摆动频率 f ，即单位时间内摆动机构完成体波运动的次数。

$$y_{body}(x, i) = [(c_1x + c_2x^2)][\sin(kx - \frac{2\pi}{M}i)] \quad (2)$$

20 这里， i 是一个摆动周期内的样条曲线序列变量； M 是鱼体波分辨率，即在一个摆动周期内整个鱼体波被离散的程度，其上限为伺服电机的最高摆动频率。

25 为了计算方便，现在假设关节和尾鳍变为沿着鱼体轴方向的连杆，关节和尾鳍的长度不变，分别为 d, g ，如图 2。关节、尾鳍连杆与 x 轴的分别夹角 α, β (由图 1 和 2 比较可知)，对应的连杆端点的坐标为 (x', y') 、 (x'', y'') 。从数学意义上来说，对于一个摆动周期内不同时刻(i)的关节角 α_i 和 β_i 可通过拟合鱼体波曲线来计算。所要解决的问题是在 0 到 $R\pi 2$ 的轴向区间内寻找合适的转角 α_i 和 β_i 使关节包括尾鳍在鱼体波曲线上首尾相接、并且尾鳍末端点的横坐标刚好落在 2π 处 (图 3)。即满足下列条件(见式 3):

$$\begin{cases} (x_i^* - x_i')^2 + (y_i^* - y_i')^2 = g^2 \\ x_i'^2 + y_i'^2 = d^2 \\ y_i^* = (c_1 x_i^* + c_2 x_i'^2) \sin(kx_i^* - \frac{2\pi}{M} i) \\ y_i' = (c_1 x_i' + c_2 x_i'^2) \sin(kx_i' - \frac{2\pi}{M} i) \\ \alpha_i = \tan^{-1}(y_i'/x_i') \\ \beta_i = \tan^{-1}((y_i^* - y_i')/(x_i^* - x_i')) \end{cases} \quad (3)$$

根据给定的关节尾鳍长度，就可以求出各个时刻转角 α_i 和 β_i 。

步骤 S1.2: 给定连杆尺寸、偏心距，确定滑杆位移，由 α_i 和 β_i 确定滑杆 s1、s2 的各个时刻移动距离 x_{1i} 和 x_{2i} ；

5 根据图 1 的坐标系，可以得出 x_{1i} 和 x_{2i} 与 α_i 和 β_i 的关系（公式 4）

$$\begin{cases} x_1 = a \times \cos(\gamma_1) + b \sin(\alpha) \\ c = a \times \sin(\gamma_1) + b \cos(\alpha) \\ x_2 = f \cos(\gamma_2) - e \sin(\beta) - d \cos(\alpha) \\ c = f \sin(\gamma_2) + e \cos(\beta) - d \sin(\alpha) \end{cases} \quad (4)$$

其中 a 为连杆 L1 的长度，b 为关节宽度的一半，d 为关节的长度，e 为尾鳍根部宽度的一半，f 为连杆 L2 的长度，c 为滑杆 S1、S2 到坐标原点的 y 轴方向的距离（偏心距）。给定 a、b、e 和 c 之后，由公式 4 便可确定出 x_{1i} 和 x_{2i} 的大小。

步骤 S1.3.: 根据滑杆各个时刻滑动距离确定凸轮尺寸。

这里采用反转法来确定凸轮尺寸，原理见图 5。这里鱼体波分辨率 $M = 18$ ，即一个周期内共有 18 个离散点。在任意两个相邻的离散点之间，凸轮转角皆为 20° ，凸轮中心到关节旋转中心在鱼体轴方向的距离为 L，令 $r_i = L - x_{1i} - l$ ，其中 l 为滑杆长度。以凸轮中心为原点， r_i 为半径画点，再以以上各点为圆心，滚子半径为半径画圆，这些圆的内、外包络线便形成槽凸轮的轮廓线。

步骤 S1.4: 计算凸轮压力角，如果压力角过大，则重新选择参数 a、b、c 和 e，重复步骤 S1.2、S1.3 和 S1.4，计算凸轮形状，直至压力角满足要求。重新选择参数是注意参数 e 对压力角影响很大，较小的 e 值，会大大降低压力角。

（二）驱动电路

本机构采用直流电机来驱动，机构的摆动频率由电机的转动速度决

定。而直流电机的转动角速度与输入电压有效值有关，这里采用 PWM 信号来驱动电机（原理见图 6）。微处理器产生 PWM 信号，经过功率放大器来带动电机。通过改变 PWM 信号的占空比来改变电机输入电压的有效值，从而改变鱼尾机构的摆动频率。

5 图 10 的仿生机器鱼尾部运动机构控制方法，其步骤如下：

步骤 S2.1 设定需要的仿生机器鱼游动速度值 V ；

步骤 S2.2 将游动速度设定值 V 转换为驱动电机的转速设定值 N ，游动速度与电机转速之间的转换关系依据仿生机器鱼游动实验测定；

步骤 S2.3 按照设定转速 N 给定生成 PWM 控制信号；

10 步骤 S2.4 输出 PWM 控制信号控制仿生机器鱼尾部电机的转动速度；

步骤 S2.5 检测机器鱼游动速度 v ；

步骤 S2.6 将检测到的游速 v 与设定游速 V 进行比较，当检测游速 v 与给定游速在设定的误差范围内时，认为达到预定游速要求，返回到步骤 S2.5；当检测游速 v 与给定游速在设定误差范围之外时，认为没有达到
15 预定的游速要求，转到步骤 S2.7；

步骤 S2.7 计算检测游速 v 大于还是小于设定游速 V ，当检测游速 v 大于设定游速 V 时，转到步骤 2.8；当检测游速 v 小于设定游速 V 时，转到步骤 2.9；

步骤 S2.8 在设定转速基础上，减少转速 N ，令设定转速 $N=N-N$ ，
20 转到步骤 S2.3；

步骤 S2.9 在设定转速基础上，增加转速 N ，令设定转速 $N=N+N$ ，转到步骤 S2.3。

实施例

25 依据本发明所说明的机械结构、控制电路，制作了一个两关节机器鱼（本发明重点在尾部）。使用有机玻璃制成的机器鱼鱼体，机器鱼尾部固定在其上面。用铝制成的轴和连杆形成尾部结构，实物如图 7。控制电路实现如图 8，使用 AVR 单片机做为微控制器，无线通讯模块为通讯模块，功率放大器为电机驱动模块。该系统用充电电池为电机、控制电路
30 供电。

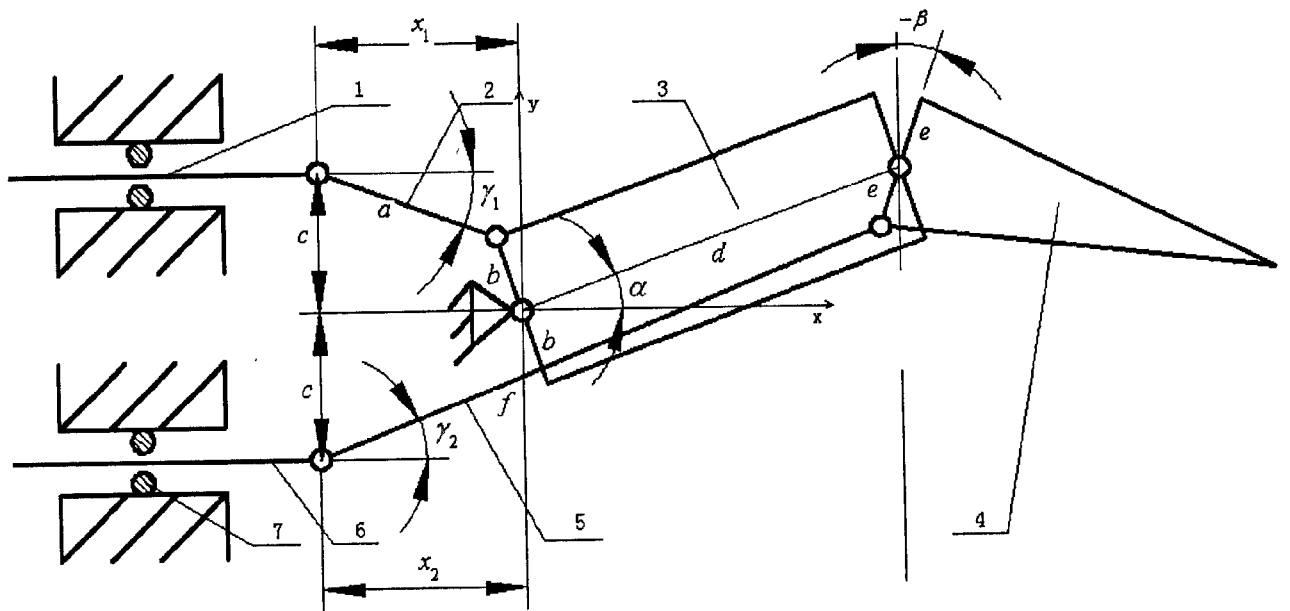


图 1

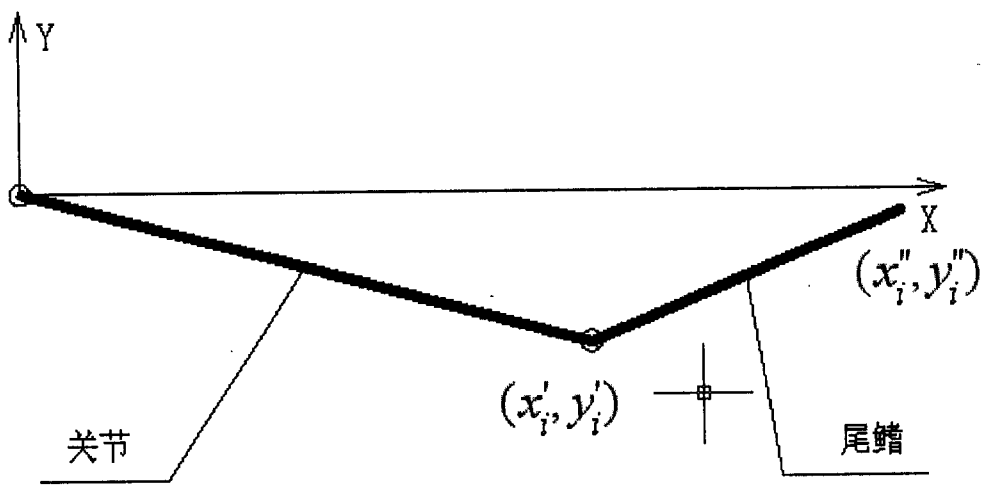


图 2

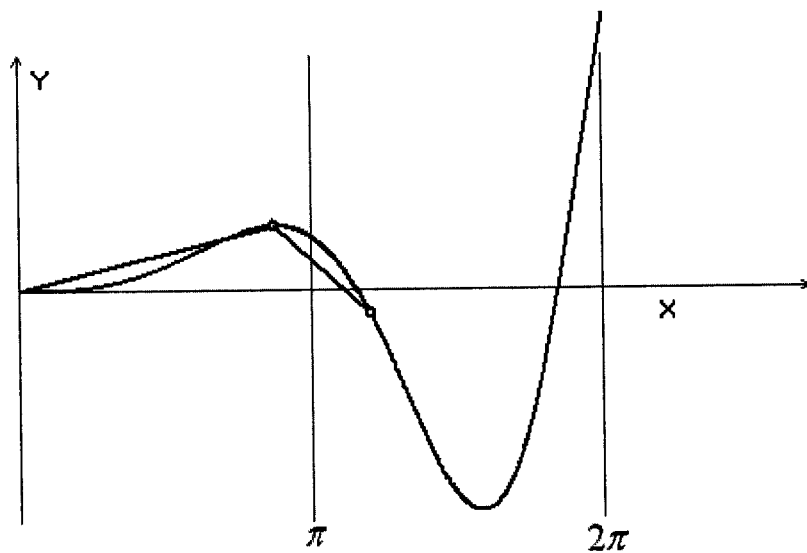


图 3

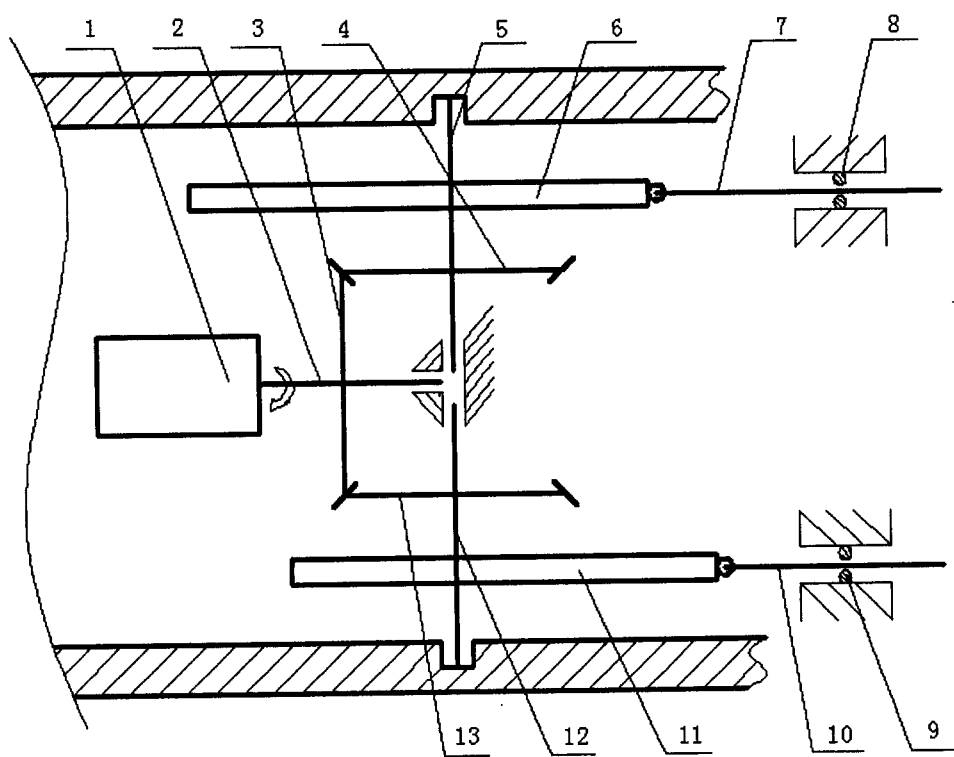


图 4

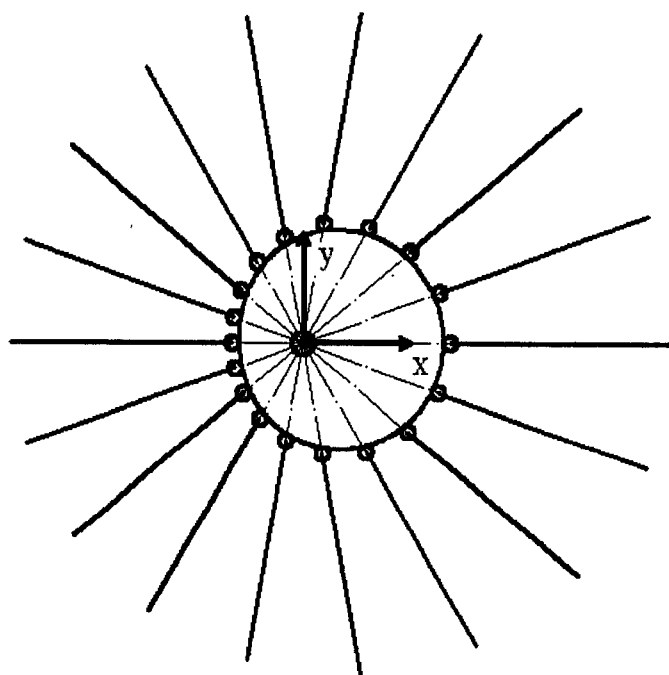


图 5

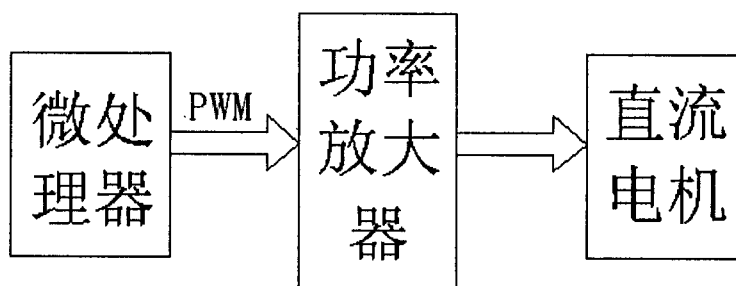


图 6

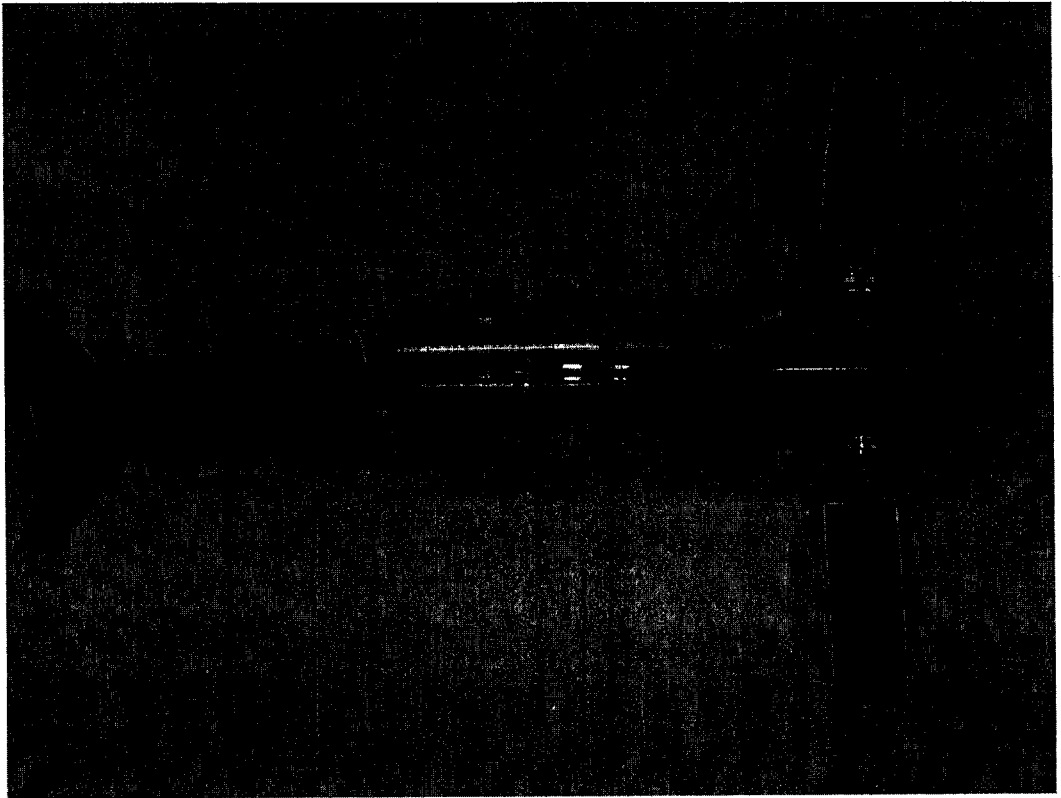


图 7

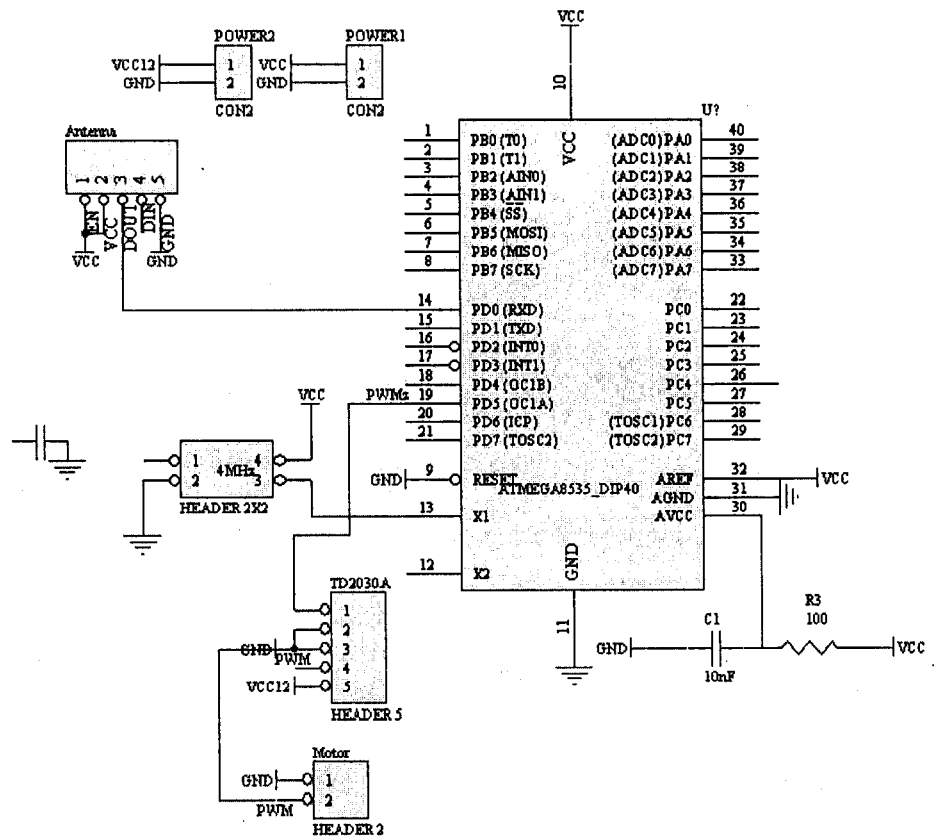


图 8

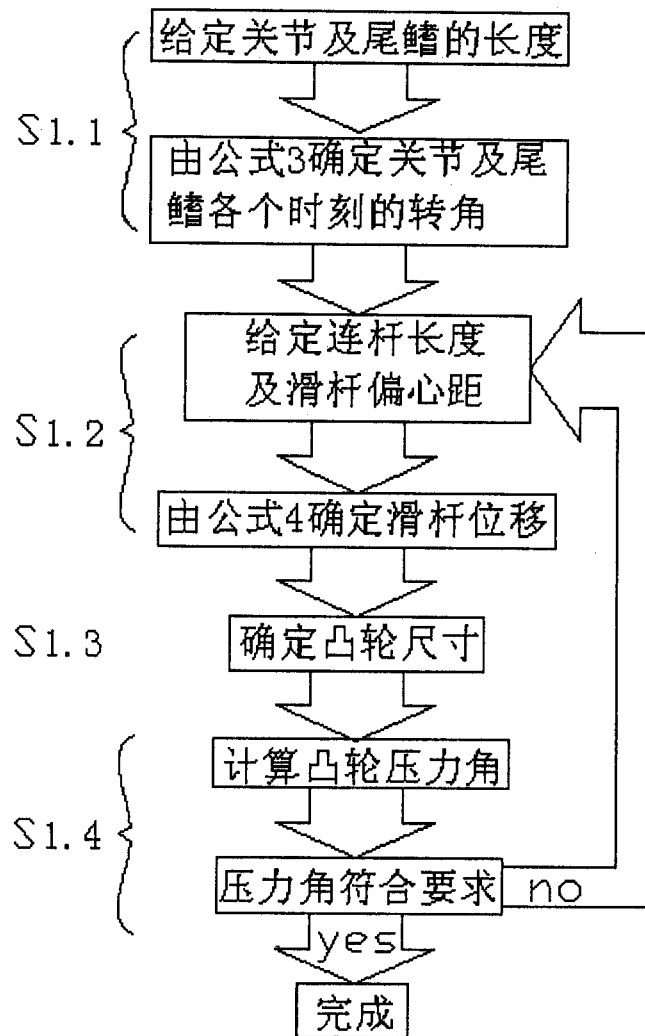


图 9

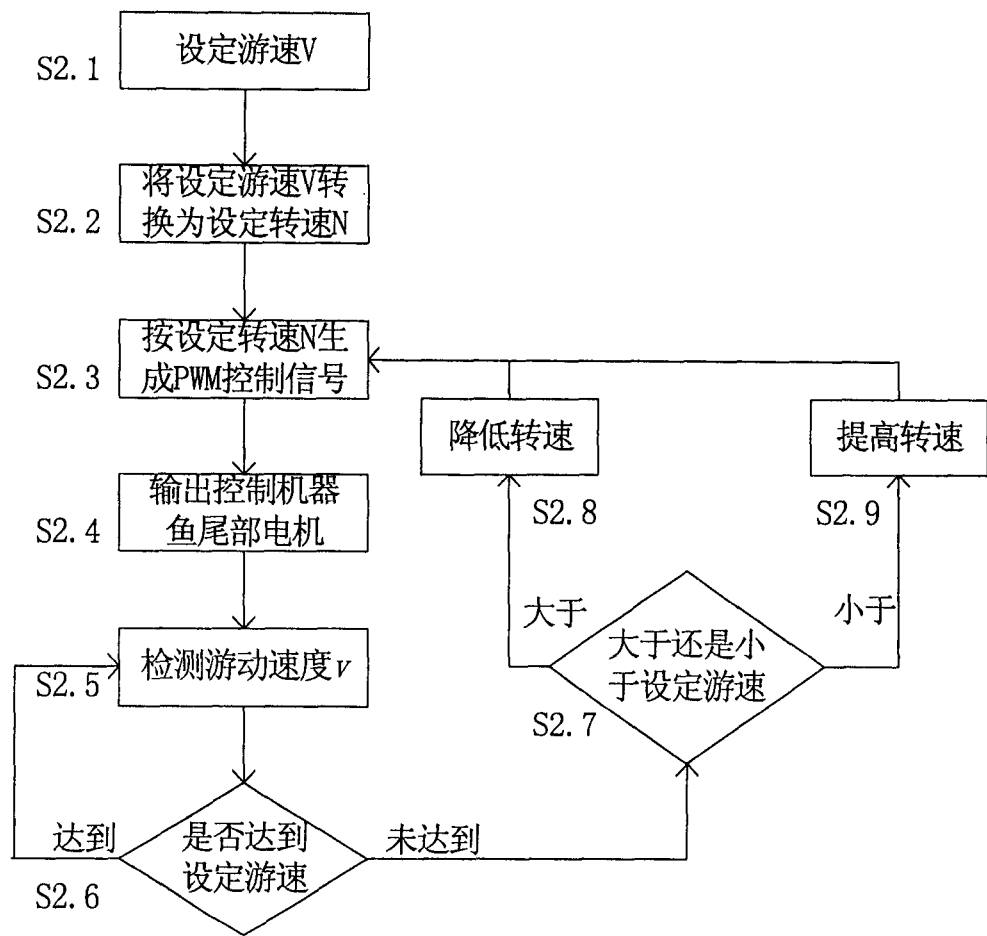


图 10