

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.11.021

基于 PID 算法的水中机器鱼方向档位控制方法

彭非, 李卫京

(陆军航空兵学院, 北京 101123)

摘要: 为了找到机器鱼在游动过程中每一时刻适应当前速度的最佳方向档位, 笔者基于 PID 算法, 提出了一种水中机器鱼方向档位的控制方法。分析 PID 控制原理, 将其用于水中机器鱼方向档位的控制, 设计出了适合机器鱼顶水球模型的 PD 算法, 并给出了具体的实现方法和调试思路。实验结果表明: 该算法有效地弥补了以往参赛者使用的算法中的不足, 可以使机器鱼快速稳定地调整方向位姿, 在实际应用中表现出了良好的带球游动性能。

关键词: PID 控制算法; 水中机器鱼; 方向档位控制; 方向调整

中图分类号: TP273 **文献标志码:** A

Control Method of Underwater Robot Fish Direction Gears Based on PID Algorithm

Peng Fei, Li Weijing

(Army Aviation Institute, Beijing 101123, China)

Abstract: In order to find the most appropriate direction gear control for all the swimming robot-fishes' speeds, the writer introduces an underwater robot fish direction gear control system based on PID algorithm theory. Analyze PID control principle and use it in underwater robot fish direction gear control, design PD algorithm for robot fish heading model, and give the application method and debug thoughts. The test results show that the algorithm can compensate the disadvantages of racer uses the tradition algorithm, the robot fish can debug direction and gesture rapidly and stably. The robot fish can freely swim in the water with the ball on its nose.

Key words: PID algorithm; underwater robot fish; direction gears control; direction adjustment

0 引言

机器鱼比赛是一项多学科融合的赛事, 涉及到图像采集与处理、程序设计、无线通讯、自动控制等多方面的技术。面向机器鱼控制的核心是基于参数数据的采集与分析, 对机器鱼动作进行策略规划, 使其能够相对快速、稳定地达到既定目标。机器鱼常用的动作参数有方向档位、速度档位、动作模态等。其中, 方向档位直接影响了系统的稳定性与快速性。对于确定方向档位的过程, 笔者认为可以分为确定目标点和档位控制 2 个步骤。笔者主要分析档位控制部分。

为了找到机器鱼在游动过程中每一时刻适应当前速度的最佳方向档位, 以往的大多数参赛者大都采用“枚举+大量实验”的方法, 即对于每一个方向误差, 都人为地赋予一个方向档位, 并通过大量的实验, 对每一个档位分别进行调整, 最终达到最佳状态。这种方式虽可以使某一模型达到高效、稳定, 但却暴露出了 2 种弊端: 1) 水中机器鱼所面临的环境复杂而多变, 很难用枚举的方式来使机器鱼的方向控制系统满足各种不同的情况; 2) 大量的实验工

作给参赛者带来了极大的负担, 造成了资源的浪费。

笔者提出了用工程领域普遍采用的 PID 算法来控制机器鱼的方向档位, 在消除以上 2 种弊端的同时, 使机器鱼能够快速、稳定地在游动过程中调整位姿。

1 PID 控制算法简介

1.1 PID 控制器整体控制原理

PID(比例-积分-微分)控制器作为最早实用化的控制器已有 70 多年历史, 现在仍然是应用最广泛的工业控制器。当被控对象的结构和参数不能完全掌握, 或得不到精确的数学模型, 且控制理论的其他技术难以采用时, 系统控制器的结构和参数必须依靠经验和现场调试来确定, 这时应用 PID 控制技术最为方便。它以其结构简单、稳定性好、工作可靠、调整方便而成为工业控制的主要技术之一^[1]。

PID 控制器由比例单元(P)、积分单元(I)和微分单元(D)组成。其输出 $u(t)$ 关于输入 $e(t)$ 的微分方程如式 (1)

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (1)$$

收稿日期: 2012-05-29; 修回日期: 2012-06-20

作者简介: 彭非(1990—), 男, 北京人, 本科在读, 从事飞行器系统与工程研究。

其中: K_p 为比例系数; T_i 为微积分时间常数; T_d 为微分时间常数。其闭环控制系统原理^[2]如图 1。

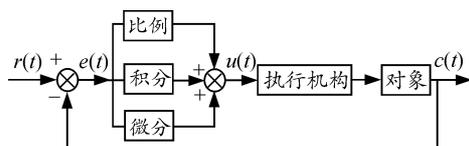


图 1 PID 算法控制原理^[3]

1.2 3 个独立控制环节的控制原理

1.2.1 比例 (P) 控制

比例控制是一种最简单的控制方式。其控制器的输出与输入误差信号成比例关系。当仅有比例控制时系统的输出存在误差。

1.2.2 积分 (I) 控制

在积分控制中, 控制器的输出与输入误差信号的积分成正比。在控制器中引入积分环节可以消除稳态误差。

1.2.3 微分 (D) 控制

在微分控制中, 控制器的输出与输入误差信号的微分(即误差的变化率)成正比关系。自动控制系统在补偿误差的调节过程中可能会出现振荡甚至失稳。其原因是由于存在较大惯性环节(如水波影响)或滞后单元(如通讯设备的延迟), 它们具有抑制误差的作用, 即其变化总是落后于误差的变化, 而解决的办法是提前抑制误差的变化。此时, 在控制器中仅仅引入比例环节是不够的, 因为比例环节的作用仅仅是改变误差的幅值, 并不能起到提前抑制误差的作用。因此还需要引入微分环节, 其作用是预测误差变化的趋势。这样, 具有“比例+微分”的控制器就能抑制惯性环节和滞后单元对本系统的影响, 从而改善了系统在自调节过程中的动态性能。

2 PID 控制算法在方向档位控制中的应用

2.1 大赛中机器鱼的方向档位

用于参加水球比赛的机器鱼方向档位共有 15 个(0~14 档), 其中 7 档为直游档, 0 档为左转弯最大档, 14 档为右转弯最大档。

2.2 PID 算法的理论实现

2.2.1 P、I、D 环节的选用

综上所述, 比例环节的作用是调节幅值; 积分

环节的作用是调节稳态误差; 微分环节的作用是调节超调量。

在机器鱼行进过程中, 由于系统会受到水波、延迟、图像采集误差等众多复杂因素的影响^[4], 微分环节必不可少。而机器鱼在行进过程中, 自身位置和水球的位置均在动态变化着; 因此, 既定目标点也应是动态变化的。经测试, 新版比赛用大平台单次循环的运行周期约为 1/20 s; 所以, 既然目标点在 1 s 内会改变位置约 20 次, 同时机器鱼又不可能在 1/20 s 时间内到达当前的目标点, 那么就是说系统不会达到稳态(即始终保持动态), 也就不会存在稳态误差的概念。稳态误差不会对鱼追球系统产生影响, 不必引入积分环节。而比例环节是工程系统中必须的, 对于机器鱼顶水球模型, 笔者采用 PD(比例-微分)控制算法来控制。

2.2.2 机器鱼方向档位的控制系统方程的确定

PD 算法常见的应用可分为位置式与增量式 2 种。位置式的 PD 算法主要用于中间值固定或零值固定的系统, 特点是精确而固定。而增量式的 PD 算法可用于无初始值或中间值的系统, 特点是模糊而动态。根据实际情况, 机器鱼方向档位的特点为: 7 档为中间值, 其他档位相对中间值对称分布。因此适合采用位置式的 PD 算法, 其微分方程如式 (2):

$$u(t) = 7 + K_p \left[e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (2)$$

由于系统每一周期均会输出一个 $u(t)$, 且策略中的单位时间为 1 周期, 因此方程可化简为离散形式, 如式 (3)~式 (4):

$$d(k) = 7 + K_p \{ E(k) + T_d [E(k) - E(k-1)] \} \quad (3)$$

$$d(k) = 7 + K_p E(k) + K_p T_d [E(k) - E(k-1)] \quad (4)$$

所以方程可最终化简为式 (5):

$$d(k) = 7 + K_p E(k) + K_d [E(k) - E(k-1)] \quad (5)$$

其中 k 为采样序列($k=0, 1, 2, \dots$); $d(k)$ 为第 k 次采样时控制器输出的方向档位; $E(k)$ 为第 k 次采样时机器鱼相对于目标点的方向误差; $E(k-1)$ 为第 $k-1$ 次采样时机器鱼相对于目标点的方向误差; K_p 为比例系数; K_d 为微分系数。该方程即机器鱼方向档位的控制系统方程, 其原理图如如图 2。

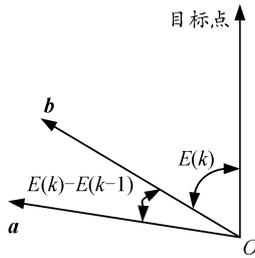


图 2 PD 算法离散方程原理

其中： a 为第 $k-1$ 次采样时机器鱼的方向向量； b 为第 k 次采样时机器鱼的方向向量。

2.3 PID 算法的程序实现

虽然 PD 算法控制器已经确立，但在实际运行时，为了使系统达到最优化状态，需要对其中的 K_p 与 K_d 进行调试。为了便于对 K_p 与 K_d 进行多次更改， K_p 与 K_d 应为整型变量，且数量级不超过两位数。笔者需要对方程的比例项和微分项进行数量级的修正。经测试与权衡，确定方程如式 (6)

$$d(k) = 7 + K_p \frac{E(k)}{100} + K_d \frac{E(k) - E(k-1)}{100} \quad (6)$$

经过数量级的修正， K_p 与 K_d 的取值范围被限定在了 $0 \sim 100$ 之间的整数范围内。

2.4 PID 算法的调试

2.4.1 调试的总体思路

鉴于系统采用的是位置式的 PD 算法，在实验中只需协调 K_p 与 K_d 2 个系数。另外，在调试过程中需要把握一个原则，那就是要根据这 2 个量值各自对系统所起的作用来调整。在系统中，调整 K_p 是为了使系统快速而高效地响应，而调整 K_d 则是为了抑制比例环节引起的超调量，使系统更为稳定。

2.4.2 调试的具体过程

在调试工作的具体实施中，笔者采用“控制变量法”。

先做让机器鱼游向一个较远的临时目标点的实验。将 K_d 固定为零值，将 K_p 由小到大调整，直到系统达到快速响应的要求。再固定 K_p 值将 K_d 由小到大调整，直到使 K_d 值达到可以让机器鱼能快速稳定（以游动时无明显晃动为标准）地以一定速度游向临时目标点的最大临界值。

然后再做机器鱼的带球试验（让机器鱼带着水球游动，检验机器鱼能否持续稳定地顶球）。对于在带球过程中出现的鱼与球方向误差的变化，若发现机器鱼无法快速响应（即转弯不足），则可以根据实际观察到的情况，适当增大 K_p 或减小 K_d ；若发现机器鱼响应得过快过猛（即转弯过大），则可以根据实际观察到的情况，适当减小 K_p 或增大 K_d ，直到机器鱼可以快速稳定地带球^[5]。

3 结语

实验结果证明：该算法在机器鱼游动过程中的调试简化为只对比例系数 K_p 与微分系数 K_d 这 2 个系数的调整，大大减少了数据处理量，使调试思路清晰而明确，弥补了以往参赛者使用算法的不足。在图像采集效果良好的情况下，该算法可以使机器鱼表现出良好的带球游动性能。下一步，笔者将着手设计面向机器鱼方向档位的模糊 PID 控制器，以控制机器鱼的方向档位，使之更好地适应水下的复杂环境。

参考文献：

- [1] keeshaw. PID 控制 [OL]. 百度百科, 2006. <http://baike.baidu.com/view/262316.htm>.
- [2] 胡寿松. 自动控制原理[M]. 5 版. 北京: 科学出版社, 2007.
- [3] 李沁生, 于家凤. 基于 Simulink 的直流伺服电机 PID 控制仿真[D]. 2010.
- [4] 张君华, 石红, 王若鹏, 等. 机器人水球比赛中的目标跟踪[J]. 兵工自动化, 2011, 30(12): 60-64.
- [5] 李庆春, 高军伟, 谢广明, 等. 基于模糊控制的仿生机器鱼避障算法[J]. 兵工自动化, 2011, 30(12): 65-69.