

基于 CPG 反馈的仿生机器鱼运动控制

赵振乾

(陕西交通职业技术学院 轨道交通学院, 陕西 西安 710018)

摘要: 反馈在仿生机器鱼的精确控制中起到了很重要的作用, 本文在 CPG (中枢模式发生器) 控制的基础上, 针对仿生机器鱼所处的静态及动态环境中运动以及完成要求动作时, 对仿生机器鱼的控制的不够精确的情况, 可以在 CPG 模型中加入反馈项, 通过顶层决策, 以确定下一步所需的动作, 此时, 可将所处环境相关的信息和仿生机器鱼自身的位置相融合, 用于实现仿生机器鱼所处位置以及执行动作的精确控制。

关键词: 仿生机器鱼; CPG 反馈; 精确控制

随着人工智能的发展, 机器鱼技术已经在各领域得到了广泛的应用, 而仿生机器鱼运动控制的研究是各位研究者所关注的重点问题。进一步, 对仿生机器鱼所处环境的感知也是各位研究者所研究的主要内容, 通过对环境信息的感知可以更精确的控制仿生机器鱼的运动。

基于中枢模式发生器 (CPG) 的控制是一种模拟生物低级神经中枢的自激行为引起自发节律性运动的控制方法。通过对对动物运动控制机理的研究, Shik 等在 1966 年提出动物的节律运动是由 CPG 控制的。Delcomyn 提出 CPG 在不具有高层控制指令和外部环境反馈的情况下, 能够自动地生成非常稳定的振荡信号, 而高层和所接受到的外界的反馈又可以反过来对 CPG 产生一个调节作用 [3]。而在 CPG 中加入反馈项, 通过外部反馈可以对 CPG 参数进行调节, 从而能够达到调节仿生机器鱼动作的目的。

一、仿生机器鱼 CPG 建模

考虑到 CPG 可以产生非常稳定节律运动的特征, Ijspeert 提出了一种新型的用于机器人动作控制的 CPG 模型, 该模型是通过互相耦合的几个非线性振荡器所构成, 与其他 CPG 模型所具有的特征比较, 它的不同特点是 Ijspeert 的 CPG 模型的极限环能够求得解析解, 并且这个解能够很清晰地表达用来作为控制参数的频率、振幅和相位滞后等物理量。Ijspeert 将这种模型成功用在了机器蛇和机器火蜥蜴的运动控制中, 因此, 选取该 CPG 模型用于仿生机器鱼的运动控制。

CPG 振荡器的数学模型为:

$$\dot{\phi}_i = 2\pi f_i + \sum_j (\omega_j r_j \sin(\phi_j - \phi_i - \phi_{ij})) \quad (1)$$

$$\ddot{r}_i = a_r \left(\frac{a_r}{4} ((R_i - r_i) - \dot{r}_i) \right) \quad (2)$$

$$\ddot{x}_i = a_x \left(\frac{a_x}{4} ((X_i - x_i) - \dot{x}_i) \right) \quad (3)$$

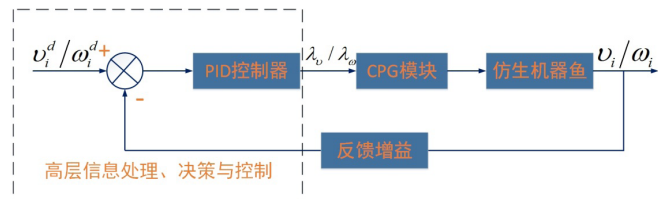
$$\theta_i = x_i + r_i \cos(\phi_i) \quad (4)$$

其中 θ_i 表示振荡器 θ_i 的控制输出, r_i 、 x_i 、 ϕ_i 分别表示振荡器 i 的振幅、偏移和相位。参数 f_i 、 R_i 、 X_i 为控制的期望频率、期望振幅、期望偏移。参数 ω_i 和 ϕ_{ij} 分别表示连接权值和相位差, 用于表示振荡器 j 对振荡器 i 的影响。参数 a_r 和 a_x 为正常量 ($a_r = a_x = 20 \text{ rad/s}$) 表示振幅变量 r_i 和 x_i 分别收敛到 R_i 和 X_i 的快慢。

二、反馈控制器设计

仿生机器鱼 CPG 反馈控制系统由 CPG 振荡器, 视觉反馈系统, PID 控制算法模块组成, 反馈控制系统结构如图 1 所示。首先通过视觉反馈控制系统可以得到仿生机器鱼的位置, 接下来, 可以求得

机器鱼的实际速度 v_i 和角速度 ω_i 。然后, 根据所要求的速度和实际速度, 期望角速度和实际角速度之间的误差, PID 控制器用于产生两个合适的 λ_v 和 λ_ω 信号作为反馈信息发生系统的输入信号。从而, 反馈信息发生系统产生反馈信息 λ_v 和 λ_ω 加入耦合的非线性振荡器网络从而用于调节 CPG 网络的各个决定机器鱼运动的状态。



首先, 包含有反馈信号的耦合振荡器可表示为:

$$\dot{\phi}_i = 2\pi(f_i + f_v) + \sum_j (\omega_j r_j \sin(\phi_j - \phi_i - \phi_{ij})) \quad (5)$$

$$\ddot{r}_i = a_r \left(\frac{a_r}{4} ((R_i - r_i) - \dot{r}_i) \right) \quad (6)$$

$$\ddot{x}_i = a_x \left(\frac{a_x}{4} ((X_i - x_i) - \dot{x}_i) \right) \quad (7)$$

$$\theta_i = x_i + r_i \cos(\phi_i) \quad (8)$$

其中, f_v 和 x_ω 可表示为振荡器 i 的反馈信号。则可以计算得到速度和角速度的所具有的误差为 $e_v = v_i^d - v_i$, $e_\omega = \omega_i^d - \omega_i$; PID 控制系统在收到速度误差 e_v 和角速度误差 e_ω 后, 可以产生合适的调节状态的信号 λ_v 和 λ_ω , 由此可得 [5]:

$$\lambda_v = K_p^v [e_v(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e_v(t) dt + T_d \frac{de_v(t)}{dt}] \quad (9)$$

$$\lambda_\omega = K_p^\omega [e_\omega(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e_\omega(t) dt + T_d \frac{de_\omega(t)}{dt}] \quad (10)$$

三、结语

本文在 CPG (中枢模式发生器) 控制的基础上, 对于仿生机器鱼在所处的复杂环境中运动以及完成要求任务时, 可以通过感知环境特征, 比如障碍物、目标点等相关信息, 做出运动决策。在 CPG 模型中加入反馈项, 通过顶层决策, 以确定下一步所需的动作, 此时, 可将所处环境相关的信息和仿生机器鱼自身的位置相融合, PID 反馈控制器的设计, 是用来对仿生机器鱼的动作误差进行调节的, 从而使得仿生机器鱼能够按照要求的动作游动, 从而可以实现对仿生机器鱼动作以及位置的精确控制。

参考文献:

- [1] CPG 仿生控制研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2007.
- [2] Shik M L, Severin F V, Orlovski i G N. Control of walking and running by means of electric stimulation of the midbrain [in Russian][J]. Biofizika, 1969, 11 (4): 659.
- [3] Delcomyn F. Neural basis of rhythmic behavior in animals. [J]. Science, 1980, 210 (4469): 492-8.
- [4] 郑浩峻, 张秀丽, 李铁民, 等. 基于 CPG 原理的机器鱼运动控制方法 [J]. 高技术通讯, 2003, 13 (7): 64-68.
- [5] 赵振乾. 多仿生机器鱼编队控制方法研究 [D].
- [6] 裴正楷. 基于在线功率检测系统的鱼群水动力性能研究 [D]. 2016.