

DOI:10.16515/j.cnki.32-1722/n.2019.04.007

六足机器人协同运动建模与控制方法研究

王庆燕^{1,2,3}, 刘小平¹, 张嘉亮¹, 张明明¹, 周志云³

(1. 金陵科技学院机电工程学院, 江苏 南京 211169; 2. 南京航空航天大学自动化学院, 江苏 南京 210016;
3. 江苏迅达电磁线有限公司, 江苏 扬州 225815)

摘要: 为了提高六足机器人平稳协调运动, 建立了六足机器人协同运动模型, 结合 PID 控制器研究了六足协同控制运动系统转角曲线的稳定性。首先确定六足机器人驱动电机的模型, 通过 PID 控制直流电机转速。通过 PID 控制参数的整定调节, 使得整个电机的控制系统快速稳定。然后在 MATLAB 软件 SimMechanics 模块进行单足和六足运动模型的建模, 仿真分析了六足运动过程中在各个轴方向上的转角曲线, 有效提高了六足运动系统的稳定性。

关键词: 六足机器人; 协同运动; 建模; 转角曲线; PID 控制

中图分类号: TP242.6

文献标识码: A

文章编号: 1672-755X(2019)04-0029-05

Study on PID Control Method for Cooperative Motion of Hexapod Robot

WANG Qing-yan^{1,2,3}, LIU Xiao-ping¹, ZHANG Jia-liang¹, ZHANG Ming-ming¹, ZHOU Zhi-yun³

(1. Jinling Institute of Technology, Nanjing 211169, China; 2. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China; 3. Jiangsu Xunda Electromagnetic Wire Co., Ltd., Yangzhou 225815, China)

Abstract: In order to improve the stable and coordinated motion of the hexapod robot, the cooperative motion of hexapod robot is established, a new PID controller is designed, and the stability of the corner curve of the hexapod coordinated control motion system is analyzed. Firstly, the model of driving motor of hexapod robot is determined, and the speed of DC motor is controlled by PID algorithm. By setting and adjusting the parameters of PID controller, the control system of whole motor is fast and stable. Then the single-legged and hexapod robot motion are modeled in SimMechanics module of MATLAB software. The PID setting parameters are substituted into the motion model. The rotation curves of hexapod in different axes were simulated and analyzed. It was proved that the designed PID controller can effectively improve the stability of the hexapod motion system.

Key words: hexapod robot; synergistic motion; model; corner curve; PID control

多足机器人凭借较大的足控领域、较强的稳定性以及多足灵活可塑性等特点, 能够很好地适用于复杂环境, 在越来越多的行业和领域得到关注和应用^[1]。然而, 机器人的多足运动, 大大增加了控制与协调的难度, 如何更好地实现多足平稳协调运动是多足机器人运动研究亟待解决的关键问题之一。目前控制研究大多是关于轮式机器人^[2]、两足机器人^[3]以及工业多自由度机器人^[4]等, 关于六足机器人的研究主要是六足步态方面的研究^[5-8], 整体协同运动系统的研究有待进一步提高。

收稿日期: 2019-06-30

基金项目: 江苏省高校自然科学基金(17KJB470005); 金陵科技学院博士科研启动基金(jit-b-201626)

作者简介: 王庆燕(1982—), 女, 山西临汾人, 讲师, 博士, 主要从事电永磁应用及控制技术研究。

本文主要对六足机器人协同运动的 PID 控制方法进行研究。首先,确定六足机器人的机电电压和电机转速的传递函数,建立电机控制模型,采用试凑法和一系列整定调试后,得到理想参数。然后建立六足机器人协同控制模型,用 PID 控制六足运动,从而实现整个六足机器人协同平稳运动。

1 PID 控制器的设计

控制系统中 PID 控制系统的原理^[9]如图 1 所示,PID 按控制类型分为模拟式 PID 控制和数字式 PID 控制。理想的 PID 控制器的算法如式(1)所示,理想的 PID 控制器的传递函数如式(2)所示。

$$u(t) = k_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) + u_0 \quad (1)$$

$$G(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2)$$

其中 k_p 为比例系数; T_i 为积分时间; T_d 为微分时间; $e(t)$ 为设定值 $r(t)$ 和测量值 $y(t)$ 的偏差, $e(t) = r(t) - y(t)$; u_0 为控制系统的初始稳态值。

由于积分和微分不能直接使用,因此先将连续控制算法离散化,之后得到位置式控制算法,其数学模型为:

$$u(k) = k_p e(k) + k_i \sum_{j=0}^k e(j) + k_d [e(k) - e(k-1)] \quad (3)$$

其中 $u(k)$ 为第 k 次采样时刻的机器人足端位置; $e(k)$ 为第 k 次采样时刻输入的偏差值; $e(k-1)$ 为第 $k-1$ 次采样时刻输入的偏差值; k_i 为积分系数; k_d 为微分系数; T 为采样周期; k 采样序号。可得:

$$k_i = k_p \frac{T}{T_i}; \quad k_d = \frac{T_d}{T} \quad (4)$$

增量式 PID 控制算法:

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1) = k_p [e(k) - e(k-1)] + k_i e(k) + k_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \quad (5)$$

以六足爬行机器人电机以永磁直流行星减速电机为主,以常用电机型号 28JX10K27G/2838-12130 为例,通过上述式子可以得出机电电压和电机转速的传递函数表达式为:

$$W_D(s) = \frac{1/C_e}{T_m T_d s^2 + T_m s + 1} \quad (6)$$

通常情况下六足机器人的 PID 模型如图 2 所示。

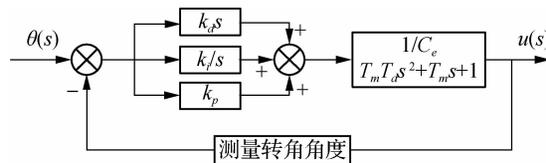


图 2 六足机器人常用 PID 控制模型

将电机的基本参数^[10] T_m 、 T_d 、 C_e 代入传递函数式(7)中可得:

$$W_D(s) = \frac{383}{s^2 + 76s + 399} \quad (7)$$

据此建立电机的闭环控制系统模型,如图 3 所示。

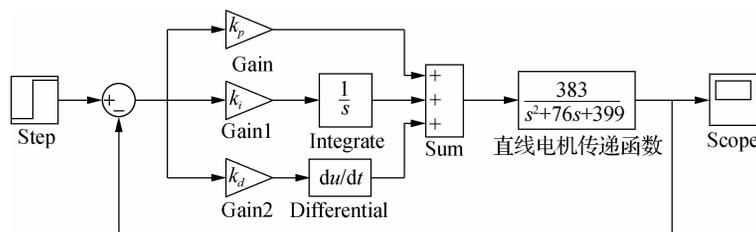


图 3 电机闭环控制系统仿真模型

2 PID 参数的整定

在实际的工程应用当中,常用的整定方法有经验凑试法、衰减曲线法、临界比例度法等,它们不需要获取被控对象的精确动态特征,而直接在闭环控制系统中进行参数整定,方法简单方便,适合在工程中使用,具体过程如下。

首先对 k_p 进行整定,分别取不同的 k_p 值获得一组对比曲线(图4)。由图4可以得出当 $k_p=5\sim 10$ 时曲线的响应速度快且保证了较小的超调量。

将 k_p 定为 10,然后选定不同的 k_i 值观察系统的响应曲线(图5)。由图5可以得出当 $k_i=4\sim 8$ 时响应曲线的稳定性较好且超调量较小。

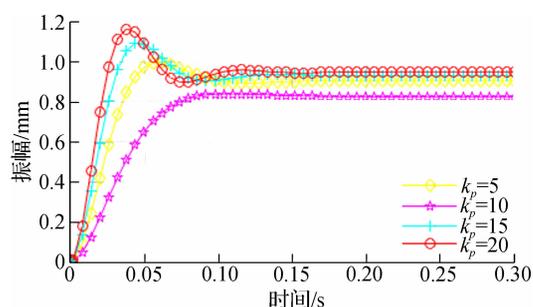


图4 不同 k_p 值系统的响应曲线

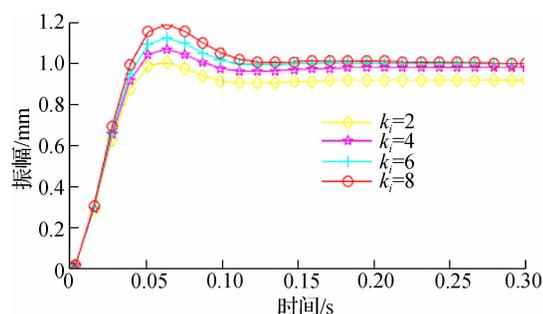


图5 不同 k_i 值系统的响应曲线

将 k_p 定为 10, k_i 定为 7,然后选定不同的 k_d 值观察系统的响应曲线(图6)。通过图6可以得出 $k_d=0.02\sim 0.04$ 时响应时间短,超调量低。

经过整个系统的微调确定 $k_p=10$ 、 $k_i=7$ 、 $k_d=0.02$,系统的最终响应曲线如图7所示。

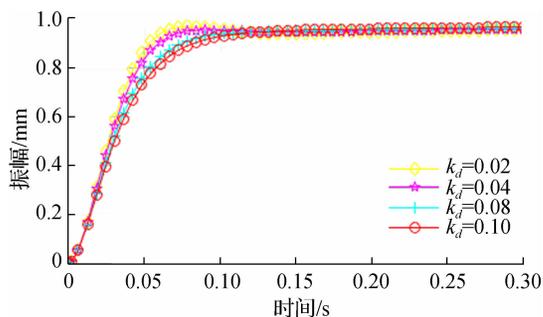


图6 不同 k_d 值系统的响应曲线

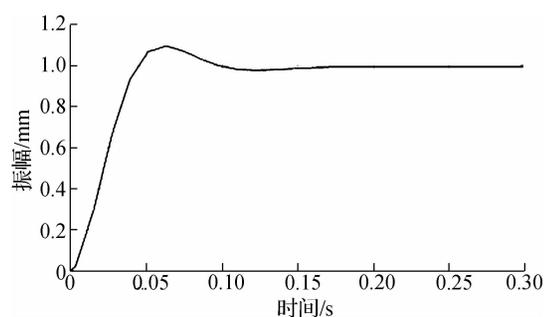


图7 系统最终响应曲线

3 六足机器人协调运动控制仿真

通过 MATLAB SimMechanics 进行六足运动模型的建模,主要运用连杆驱动模型、机体传感器和传感器模块进行搭建。单足模型如图8所示;整体模型如图9所示,给出了 Right foot 1, Left foot 1 的模型,其余四足建模同理。

首先进行不加入 PID 控制的六足运动仿真,得到六足机器人在 x, y, z 轴上的转角曲线(图10—图12)。

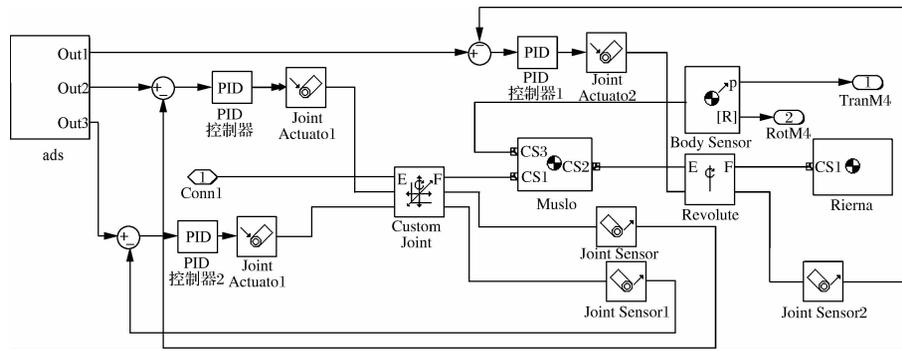


图 8 单足运动模型示意

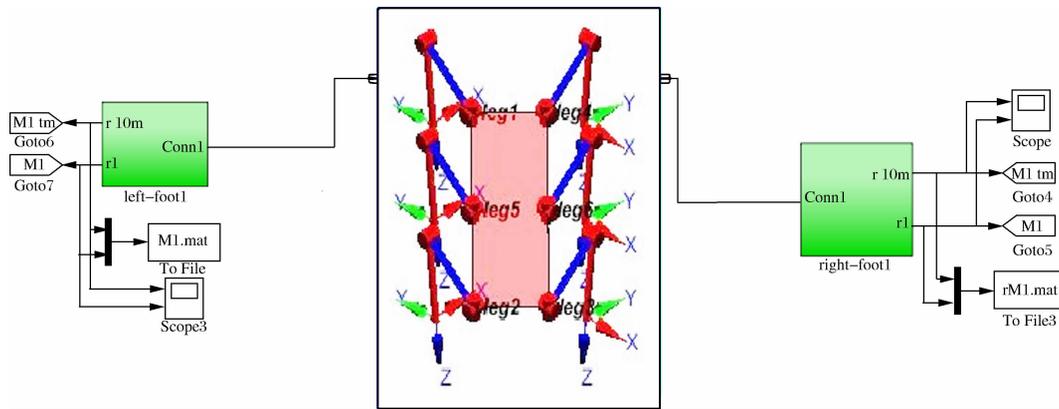


图 9 整体运动模型示意

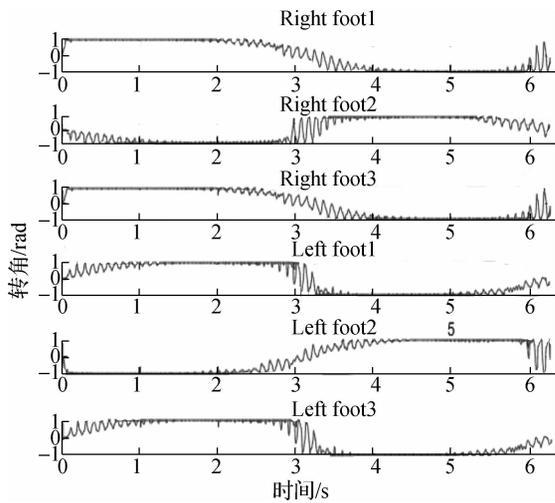


图 10 未加入 PID 控制的六足协同运动 x 轴转角曲线

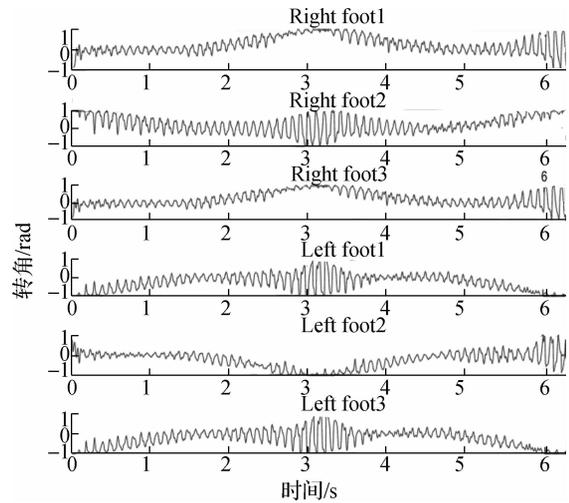


图 11 未加入 PID 控制的六足协同运动 y 轴转角曲线

然后将所整定的 PID 参数代入 PID 控制器中进行六足机器人运动仿真,得到六足机器人在 x, y, z 轴上的转角曲线(图 13—图 15)。

通过上述仿真曲线对比可以得出,在没有加入 PID 控制时,整个六足运动系统转角曲线在各个轴上很不稳定,上下波动,整个控制系统运行波动很大。加入 PID 控制时,六足运动系统在各个轴上的转角曲线平缓稳定、平滑、波动较小,有利于实现整个机器人运动系统的稳定性。

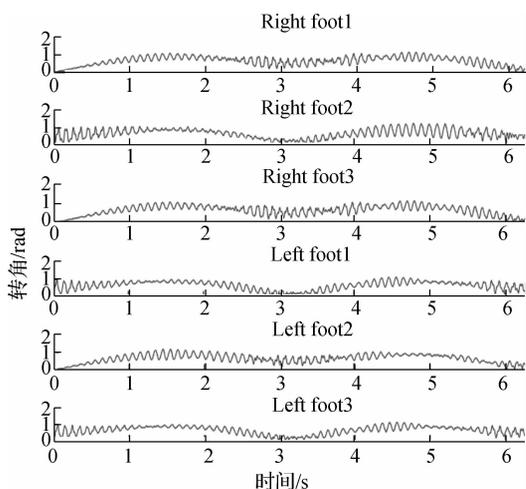


图12 未加入PID控制的六足协同运动z轴转角曲线

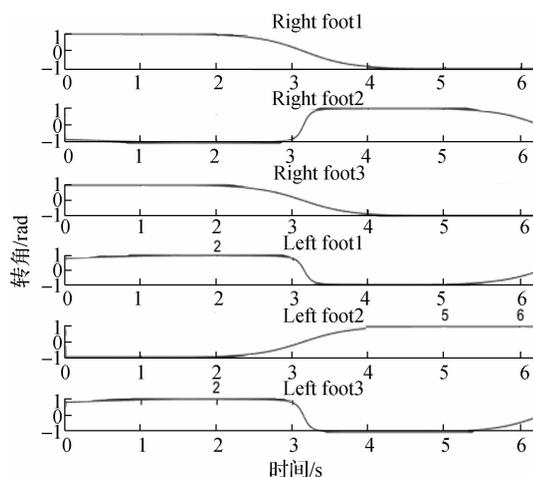


图13 加入PID控制的六足协同运动x轴转角曲线

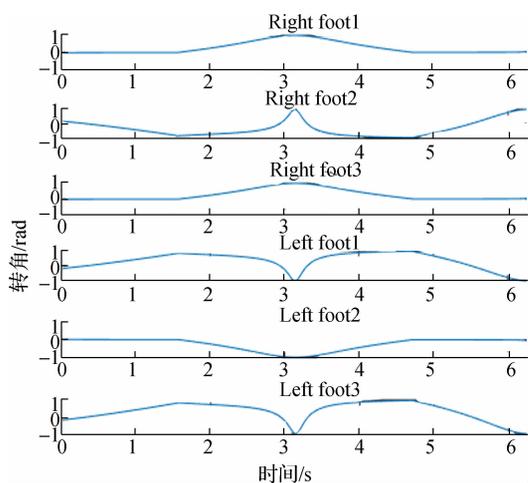


图14 加入PID控制的六足协同运动y轴转角曲线

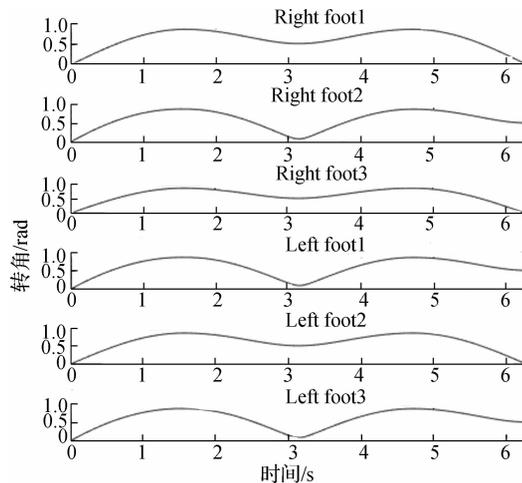


图15 加入PID控制的六足协同运动z轴转角曲线

4 结 语

通过对六足机器人运动系统的模型建立和仿真分析,在结合PID控制后,整个运动系统能够实现稳定运行,可以保证六足机器人在运动过程中的平稳性,该控制方法能够在实际工程中加以运用。

参考文献:

- [1] 辛玉红,王翠红,杨庆凤.四足机器人最优腿型配置仿真研究[J].金陵科技学院学报,2018(1):41-44
- [2] 张立阳,陈奕梅.轮式移动机器人轨迹跟踪与避障研究[J].自动化与仪表,2017(11):72-76
- [3] 袁静,王锐,江力.多自由度工业机器人基于神经网络的自适应PID控制[J].计算机应用,2017(S1):123-125
- [4] 邓云.一类六足机器人步态规划与基于CPG的运动控制方法研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2018
- [5] 吴艳花,丛恩博.基于非常规步态的六足机器人运动控制方法研究[J].制造业自动化,2017(7):64-68
- [6] 雷震宇.六足机器人行走步态的协调控制研究[D].西安:西安工业大学,2018
- [7] 黄孝平,文芳一.离散化四足机器人自由步态控制方法[J].科学技术与工程,2018(27):36-41
- [8] 刘蕴红,杨德晓.基于力反馈-中枢模式发生器模型的六足机器人控制器[J].科学技术与工程,2018(17):67-74
- [9] 张春阳.基于STM32的六足机器人系统设计及模糊PID控制[D].杭州:浙江理工大学,2016
- [10] 杜人照,刘祚时,陶宗虎,等.基于Sobel算子的寻迹机器人PID优化算法研究[J].机械设计与制造,2019(1):178-181

(责任编辑:湛 江)