

足球机器人角度优化控制软件设计

林 宁

(青岛大学, 山东 青岛 266000)

摘 要: 针对当前足球机器人角度控制软件存在控制精度低, 控制及时性较差的问题, 设计了一种足球机器人角度优化控制软件. 根据足球机器人踢球过程中的等压效应确定机器人关节输出扭矩, 构建机器人关节动力学方程, 实现对机器人关节角度控制. 引入质心的雅可比矩阵, 确定机器人关节角度控制校正量, 根据校正量, 对足球机器人关节角度控制结果进行优化, 实现足球机器人角度的优化控制. 实验结果表明, 所设计软件对足球机器人角度控制的精确度较高, 且控制的及时性较好.

关键词: 足球机器人; 角度; 优化控制; 关节

中图分类号: TP242

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2018)09-0129-04

Software Design of Angle Optimization Control for Soccer Robot

LIN Ning

(Qingdao University, Qingdao 266000, China)

Abstract: Aiming at the problems of low control precision and poor control timeliness in the current soccer robot angle control software, a soccer robot angle optimal control software is designed. According to the isobaric effect of soccer robot, the output torque of robot joint is determined, the dynamic equation of robot joint is constructed, and the angle control of robot joint is realized. The Jacobian matrix of the center of mass is introduced to determine the robot joint angle control correction. According to the correction quantity, the results of the soccer robot joint angle control are optimized to realize the soccer robot angle optimal control. The experimental results show that the designed software is accurate for the angle control of soccer robot. Higher, and the timeliness of control is better.

Key words: Soccer robot; Angle; Optimal control; Joint

1 引言

科技水平的不断发展, 促进机器人功能得到一定的完善, 广泛应用于各个领域, 在近些年广受关注的体育界中也应用较多, 比如足球机器人, 可以运用人工智能等先进科技技术, 模拟现实中的运动员比赛模式, 演绎一场非常精彩的机器人足球比赛^[1-2]. 为提高足球机器人操作水平, 需要对足球机器人角度进行控制^[3-4]. 足球机器人比赛中涉及多领域研究方法, 通过机器人比赛, 可以很好的促进思想的交流, 引进新的技术. 相关专家学者也以足球机器人的

控制为研究对象, 对其进行深入研究, 产生了一些较为成熟的理论和应用^[5].

文献[6]提出一种基于 RBF 的机器人关节伺服自适应滑模控制方法, 利用 RBF 神经网络对机器人关节角度的不确定性上界进行预测, 根据预测过程, 对关节角度进行控制. 但这种方法应用过程中, 没有对机器人运动的过程进行分析, 导致对关节角度识别的精度较差, 影响控制的精确性. 文献[7]提出一种基于几何约束的关节角度控制方法, 通过建立运动过程中关节角度变化的动力学模型, 实现运动过程中关节角度变化分析, 并通过三次样条插值方法,

提高关节角度的平滑稳定性,实现关节角度控制.但这种方法应用过程中,没有对关节角度的上限进行限制,影响关节角度控制的精确度.文献[8]提出一种基于模型分块逼近的机器人关节角度控制方法,通过设计三个 RBF 神经网络对机器人关节不确定模型中的三个不确定项进行分块逼近,得到三个不确定项的估计信息,构建运动过程中角度估计模型,通过适应算法对神经网络的权值进行计算,并通过 Lyapunov 函数,优化角度估计模型,实现角度控制.但这种方法实现角度优化控制的过程较为复杂,导致控制的及时性较差.

针对上述存在的问题,提出一种足球机器人角度优化控制软件设计方法.

2 足球机器人角度优化控制

2.1 足球机器人角度控制模型

足球机器人进行足球踢球动作时,会通过屈膝动作降低重心,足球机器人在进行运球的过程中,偏摆力矩 $\|M_z\|$ 逐渐增大,当其超过足球机器人踢球时的最大静摩擦力矩 $\|M_{fr}^{\max}\|$ 时,足球机器人会失去平衡,影响足球的角度.通过对角度进行优化控制,降低足球机器人重心,通过在垂直方向上产生一个向下的加速度,增加静摩擦力矩,使足球机器人在保持平衡的基础上对足球的弧度进行控制.

$$\ddot{z} = \frac{1}{M} \left(\frac{\|M_z\|}{\beta\mu} - M \right) \quad (1)$$

上式中, $\ddot{z}$ 表示足球机器人重心在垂直方向上的加速度; M 表示足球机器人的体重; β 表示足球机器人踢球过程中的等效摩擦力臂; 的长度 μ 表示足球机器人踢球过程中的最大静摩擦系数. 根据零力矩点, 足球机器人重心在垂直方向上的加速度 $\ddot{z}$ 可以表示为:

$$\ddot{z} = l_2 \sin q_1 - l_3 \sin(q_1 - q_2) + l_2 \cos q_1 - l_3 \cos(q_1 - q_2) \quad (2)$$

上式中, l_2 和 l_3 分别表示足球机器人小腿和大腿的长度; q_1 和 q_2 分别表示足球机器人踢球时踝关节和膝关节的角度.

根据上式可知,通过控制足球机器人进行踢球时机器人角度,改变足球机器人的重心,降低足球机器人的偏摆力矩,提高踢球控制的精确度,并且能够减少足球机器人踢球时的能量消耗.以足球机器人角度加速度最小为原则,将足球机器人角度优化控制问题转换为基于等式约束的二次规划问题,则有:

$$\begin{cases} \min \frac{1}{2} q^T Q q = \ddot{z} \\ s. t. A(q)q = a_z - B \end{cases} \quad (3)$$

上式中, Q 表示正定对称矩阵^[9]; $q = (q_1, q_2)^T$, $a_z = \frac{1}{M} \left(\frac{\|M_z\|}{\beta\mu} - M \right)$, $A(q) = [-l_2 \sin q_1 - l_3 \sin(q_1 - q_2), l_3 \sin(q_1 - q_2)]^T$, $B = -(l_2 \cos q_1 + l_3 \cos(q_1 - q_2))q_1^2 - l_3 \cos(q_1 - q_2)q_2^2$. 根据拉格朗日乘法对上式进行求解,设定矩阵 Q 为单位矩阵,则有:

$$H(q) = \frac{1}{2} q^2 + \lambda(A(q)q - a_z + B) \quad (4)$$

上式中, λ 表示机器人踢球时的角度系数. 设定 $\frac{H(q)}{q} = 0$, $\frac{H(q)}{\lambda} = 0$, 则得到:

$$q = \frac{a_z - B}{A^T(q)A(q)} A^T(q) \quad (5)$$

其中,足球机器人角度变化可根据采样时刻及前一时刻的角度之差确定.但在踢球时,足球机器人的摩擦力矩难以精确测量,为提高足球机器人角度优化控制的效果,利用机器人运动动力学方程,得到:

$$M(q)q + C(q)q + G(q) + \phi = \tau \quad (6)$$

上式中, τ 表示角度的驱动力矩; $M(q)$ 表示踢球过程中机器人对称正定的惯性矩阵; $C(q)$ 表示踢球过程中机器人斜对称矩阵; $G(q)$ 表示机器人的重力项; ϕ 表示踢球过程中摩擦力矩误差项. 根据规划的角度 q_r 和角度误差 ϵ , 得到:

$$\epsilon = q - q_r \quad (7)$$

根据上述,则得到足球机器人角度驱动力矩为:

$$\tau = M(q)q_r + C(q)q_r + G(q) - K_s \epsilon \quad (8)$$

上式中, K_s 表示正定矩阵,将上式代入公式(6),得到足球机器人角度误差动力学方程为:

$$M(q)\epsilon + (C(q) + K_s)\epsilon + \phi = 0 \quad (9)$$

通过对误差动力学方程进行求解,构建足球机器人角度控制模型为:

$$R = \frac{\ddot{z} + A(q)q}{q} + M(q) + (C(q) + K_s) \quad (10)$$

根据上述论述,通过将足球机器人角度优化控制问题转换为基于等式约束的二次规划问题,构建角度控制函数,并引入机器人运动动力学,构建机器人角度控制模型,实现足球机器人角度控制.

2.2 足球机器人角度优化控制

为实现足球机器人关节角度优化控制,保证控制的精确度,引入雅可比矩阵确定质心位置增量^[10],计算机器人关节角度控制校正量 $\Delta\theta_c$,优化足

球机器人关节角度控制结果.

设定 J_G 表示足球机器人质心位置与关节角度的雅可比矩阵, 根据其建立机器人质心位置增量 ΔX_G 和关节角度校正量 $\Delta\theta_c$ 关系函数为:

$$\Delta X_G = \frac{J_G \Delta\theta_c}{x_{ZMP}} \quad (11)$$

以校正后足球机器人关节角度与规划的关节角度 θ_d 误差最小为目标, 利用等式二次约束的拉格朗日乘子确定 $\Delta\theta_c$, 则有:

$$\begin{cases} \min \frac{1}{2} (\Delta\theta_d - \Delta\theta_c)^T Q (\Delta\theta_d - \Delta\theta_c) \\ s. t. J_G \Delta\theta_c = \Delta X_G \end{cases} \quad (12)$$

上式中, $\Delta\theta_d$ 表示足球机器人规划角度与实际角度的误差. 上式可以转化为:

$$\begin{bmatrix} Q & J_G^T \\ J_G & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta\theta_c \\ \kappa \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q \Delta\theta_d \\ \Delta X_G \end{bmatrix} \quad (13)$$

上式中, κ 表示 $\Delta\theta_c$ 的增补状态向量, 对上式进行求解, 得到:

$$\Delta\theta_c = \Delta\theta_d + Q^{-1} J_G^T (J_G Q^{-1} J_G^T)^{-1} (J_G \Delta\theta_d - \Delta X_G) \quad (14)$$

通过选取合适的 Q 矩阵, 并利用上式确定足球机器人关节角度控制校正量 $\Delta\theta_c$, 根据校正量 $\Delta\theta_c$ 对公式(15) 的足球机器人关节角度控制结果进行优化, 则有:

$$R = \chi \frac{X_{com} \Delta\theta_c}{I \cos\theta} \quad (15)$$

根据上述论述, 引入质心的雅可比矩阵, 确定满足质心位置增量要求的足球机器人角度控制校正量, 根据校正量, 对机器人角度控制结果进行优化, 实现足球机器人角度的优化控制. 具体流程图如下:

3 实验结果与分析

为验证所提的足球机器人角度优化控制的可行性和精确性, 进行一次仿真实验. 实验过程中, 分别利用不同方法对机器人角度进行控制, 得到的控制结果如下所述.

为实现足球机器人角度优化控制, 需要对机器人角度进行识别. 选用不同方法进行足球机器人角度识别的时间, 通过实验, 得到的结果如表 1 所示. 其中 O 表示实验次数, 单位为次, 用字母 t 进行表示; X 表示本文的机器人角度优化控制方法进行机器人角度识别的执行时间, 单位为 s; Y 表示基于 RBF 的机器人角度优化控制方法进行机器人角度识别的执行时间, 单位为 s; Z 表示基于模型分块逼

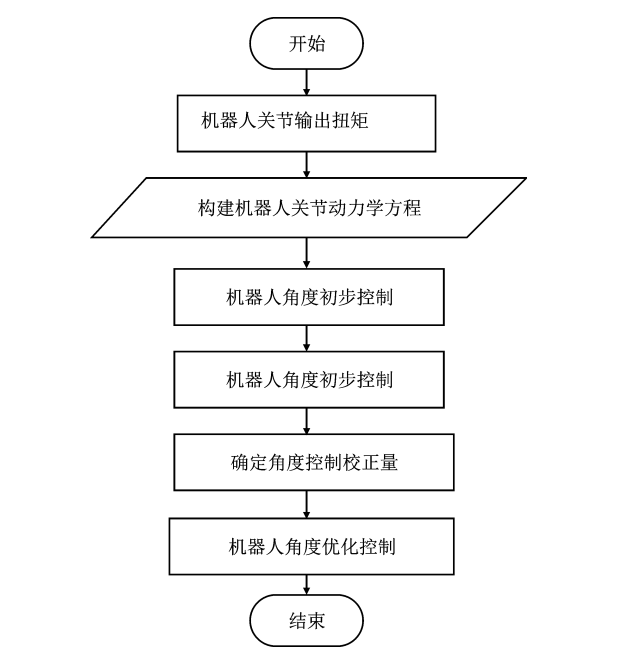


图 1 足球机器人角度优化控制流程

近的机器人角度优化控制方法进行机器人角度识别的执行时间, 单位为 s.

表 1 角度识别的执行时间

O/t	X/s	Y/s	Z/s
1	3.15	3.87	4.02
2	3.21	3.91	4.07
3	3.24	3.93	4.11
4	3.22	3.93	4.09
5	3.25	3.96	4.12
6	3.28	4.03	4.17
7	3.27	4.01	4.15
8	3.29	4.05	4.18
9	3.22	3.94	4.11

通过表 1 看出, 本文所提出的机器人角度优化控制方法实现机器人角度识别的时间最短, 说明该方法的识别速度最快. 根据机器人角度识别的速度与机器人角度控制及时性的关系, 则说明本文所提出的机器人角度优化控制方法对机器人角度控制的及时性较好.

以上一个实验为依据, 通过对比不同方法识别的机器人角度与实际关节角度, 确定不同方法对角度识别精确度, 通过实验, 得到的结果如图 3 所示.

图 2 中, W 表示机器人实际角度, N 表示基于本文所提出的机器人角度优化控制方法识别结果, M 表示基于 RBF 的机器人角度优化控制方法识别结果, P 表示基于模型分块逼近的机器人角度优化控制方法识别结果. 通过图 2 看出, 本文所提出的机

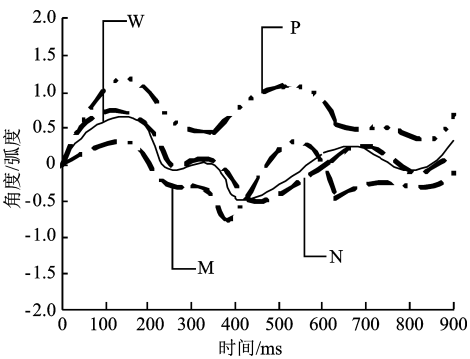


图 2 角度识别结果

器人角度优化控制方法识别的角度与实际关节角度最为接近,说明本文所提出的机器人角度优化控制方法对角度识别的精确度较高.

对比不同方法控制后机器人规划角度与实际角度的误差,实验过程中,分别利用不同方法进行机器人角度控制,得到不同方法控制后机器人规划角度与实际角度的误差如表 2 所示. 其中 O 表示实验次数,单位为次,用字母 t 进行表示;A 表示本文所提出的机器人角度优化控制方法控制后关节角度误差,单位为度($^{\circ}$);B 表示基于 RBF 的机器人角度优化控制方法控制后关节角度误差,单位为度($^{\circ}$);C 表示基于模型分块逼近的机器人角度优化控制方法控制后关节角度误差,单位为度($^{\circ}$).

表 2 不同软件控制后角度误差对比

O/t	A/ $^{\circ}$	B/ $^{\circ}$	C/ $^{\circ}$
1	0.51	1.21	1.31
2	0.44	1.17	1.33
3	0.38	1.16	1.27
4	0.42	1.13	1.25
5	0.47	1.18	1.28
6	0.43	1.15	1.35
7	0.46	1.22	1.30
8	0.40	1.19	1.24
9	0.48	1.23	1.29

通过表 2 看出,本文所提出的机器人角度优化控制方法控制后机器人踝关节规划角度与实际角度的误差较小,说明控制的精确度较高. 本文所提出的机器人角度优化控制方法对机器人角度识别的精确度较高,保证了控制的精确性.

4 结束语

机器人足球比赛受到了人们的高度关注,通过对足球机器人角度进行控制能够提高足球踢球动作的标准性. 针对当前足球机器人角度控制方法存在的控制精度较低,且控制的及时性较差问题,设计了一种足球机器人角度优化控制软件. 测试结果表明,所提方法能够精确对机器人角度进行控制,且控制的及时性较好.

参考文献:

[1] 周东栋,樊军. 机器人下肢外骨骼系统稳定性分析和步态控制研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2016 (4):8-9.

[2] 王杨,张强,肖晓晖,等. 基于鲁棒建模的气动人工肌肉驱动仿生关节的轨迹跟踪控制[J]. 机器人, 2016, 38(2):248-256.

[3] 卢振利,田铠,刘叔军,等. 足球机器人交互规则控制系统设计[J]. 计算机仿真, 2015, 32(5):368-373.

[4] 王雪竹,李洪谊,王越超,等. 柔性关节机器人高精度自适应反步法控制[J]. 信息与控制, 2016, 45(1):1-7.

[5] 沈伟,孙畅. 液压四足机器人髋关节的鲁棒自适应动态面控制[J]. 北京理工大学学报, 2016, 36(6):599-604.

[6] 曾丽娟,孙杰. 基于 RBF 的水果采摘机器人关节伺服自适应滑模控制[J]. 农机化研究, 2017, 39(9):207-211.

[7] 杜玉红,李兴,赵地,等. 仿人机器人越障步态控制研究[J]. 中国工程机械学报, 2017, 15(1):10-14.

[8] 马莉丽,钟斌. 基于模型分块逼近的三关节机器人鲁棒滑模控制[J]. 西安理工大学学报, 2016, 32(4):437-442.

[9] 林永栋,孙涛. 二轮自平衡机器人姿态控制系统仿真研究[J]. 计算机仿真, 2016, 33(12):323-328.

[10] 彭佳栋,韦巍. 机器人通用控制软件平台的设计与研发[J]. 工业控制计算机, 2016, 29(3):25-26.

作者简介:

林 宁 男,(1970-),硕士,讲师. 研究方向为运动科学教学与训练. E-mail:15210555101@163. com.