

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2018.06.003

技巧球足球发射机器人设计

于欢,刘泓滨,尹雨枫

(昆明理工大学机电工程学院,云南昆明 650500)

摘要:针对体育行业中足球机器人普遍无法发射带有弧线的技巧球的现状,设计了一款技巧球发射机器人。该机器人采用推杆驱动的举仰机构,通过运动学分析验证了设计方案的可行性;设计了特殊的旋转发生器机构,可产生多种技巧球;对旋转发生器射出的足球进行了动力学及运动学分析,采用多环控制策略,设计了机器人控制系统。实验结果表明:该机器人运动灵活,可以发射带有弧线的技巧球,能够满足对球员的训练需求,具有良好的应用前景。

关键词:足球发射机器人;全方位移动平台;推杆驱动;旋转发生器;多环控制策略;技巧球

中图分类号:TS952.3 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2018)06-0012-03

Design of Technique Ball Launching Robot

YU Huan, LIU Hongbin, YIN Yufeng

(Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

Abstract: In view of the situation that soccer robots are generally unable to launch a skill ball with arc lines in the sports industry, a technique ball launching robot was designed. The robot used a push rod driven lifting mechanism to verify the feasibility of the design scheme through kinematic analysis, and designed a special mechanism, a rotating generator, which could produce a variety of skill balls. The dynamics and kinematics analysis of the football generated by the revolving generator was carried out, and the structure of the robot control system was designed by using the multi loop control strategy. The result shows that this robot is flexible in motion and can emit arc ball. It can meet the training needs of players and has good application prospects.

Keywords: soccer launches robot; omnidirectional mobile platform; push rod driving; revolving generator; multi loop control strategy; skill ball

足球运动是世界公认的第一运动^[1]。近年来很多机器人比赛中都出现了足球机器人的身影,首届机器人世界杯足球赛也于1997年举办^[2],此赛事即为后来的机器人世界杯(Robot World Cup)。足球机器人的种类很多,如仿生人形足球机器人、轮式足球小车等。然而,目前足球机器人大多数停留在比赛对抗及观赏阶段,还没有一款足球机器人真正推广和应用到实际的足球训练中去,主要问题在于机器人实用性差,发球模式单一,无法实现如香蕉球^[3]、电梯球^[4]等技巧球(有旋球)的发球。因此课题组设计了一种新型的技巧球足球发射机器人,对该机器人产生技巧球的

方式及运动轨迹进行了动力学分析。

1 总体机械结构设计

技巧球足球发射机器人主要包括底盘、举仰机构、足球弹射机构和旋转发生器,如图1所示。各部分在功能上有明显区分:机器人可利用其底盘灵活的全方位移动平台在足球场中移动,随时变换位置;在机器人到达确定位置后,底盘上的辅架下降并抵住地面,缓冲发射足球时的后坐力;举仰机构工作,达到合理举仰角度;足球弹射机构内部有弹簧,利用弹射对足球产生冲击力;旋转发生器可使足球旋转,加速到指定速度便可以发射带有弧线的技巧球。

收稿日期:2018-06-06;修回日期:2018-08-31

基金项目:云南省品牌专业建设(机械工程)项目资助。

获奖项目:全国大学生机械产品数字化设计大赛一等奖。

第一作者简介:于欢(1996),男,山东枣庄人,本科,主要研究方向为机械设计、机器人技术。通信作者:刘泓滨(1961),男,云南昆明人,教授,主要研究方向为机器人研究与应用、数字化设计与制造。E-mail:lihong6696@163.com

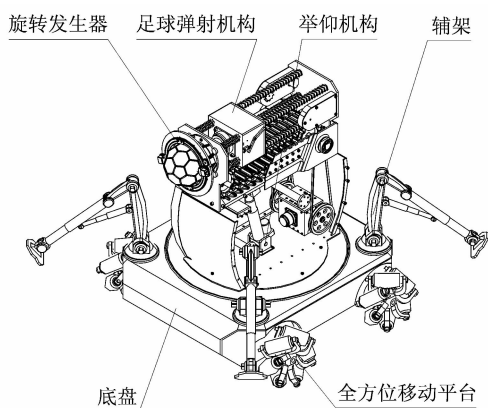


图1 总体结构模型

Figure 1 Overall structure model

2 技巧球的产生方式及运动学分析

2.1 举仰机构的动力学分析

举仰机构主要由气动推杆提供动力,气动推杆安装在底部U型架上并可转动,推杆工作时,推动足球弹射器向上抬升来改变足球发射角度。举仰机构模型如图2所示,运动简图如图3所示。

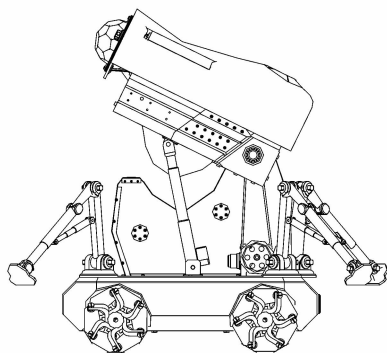


图2 举仰机构模型

Figure 2 Model of lifting mechanism

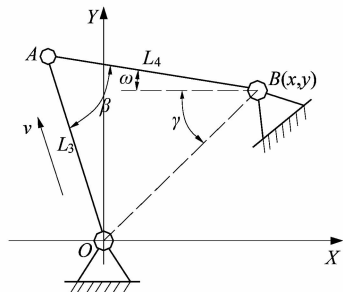


图3 举仰机构运动简图

Figure 3 Motion diagram of lifting mechanism

由图3可知,构件数 $n = 3$, 低副数 $p_l = 4$, 高副数 $p_h = 0$, 根据机构自由度

$$F = 3n - (2p_l + p_h) = 1, \quad (1)$$

得出该机构自由度满足方案。

$$\begin{cases} \beta = \arctan(\sqrt{x^2 + y^2}/L_3), \\ \gamma = \frac{\pi}{2} - \arctan(x/y), \\ \omega + \gamma = \arctan(L_3/L_4). \end{cases}$$

式中: (x, y) 表示 B 点的位置坐标; L_3 为气动推杆的工作长度, 为变量; L_4 为 AB 的长度。

举仰机构举仰角度

$$\omega(L_3) = \arccos \frac{L_3}{L_4} + \arctan \frac{x}{y} - \frac{\pi}{2}. \quad (2)$$

则 A 点轨迹方程 $L(\omega) = y + L_4 \sin \omega$ 可转化为:

$$L(L_3) = y + L_4 \sin \left(\arccos \frac{L_3}{L_4} + \arctan \frac{x}{y} - \frac{\pi}{2} \right). \quad (3)$$

公式(3)可以为接下来发射轨迹的研究提供计算依据。

2.2 技巧球的产生及其轨迹方程

旋转发生器结构如图4所示。旋转发生器以柔性夹持机构为主要机构,其凹陷的橡胶夹持块表面与足球表面的弧线啮合,可将足球固定在发射口处。柔性夹持机构处的电机工作时,足球可在 OYZ 平面中任意旋转。旋转齿轮处的电机工作时,带动旋转齿轮转动,由于旋转齿轮与空心齿轮啮合,使得旋转齿轮以 OZ 轴为中心轴转动,并带动柔性夹持机构跟着转动,实现足球在 OXY 平面中的旋转。上述过程相互配合,可实现足球在三维空间中的旋转。

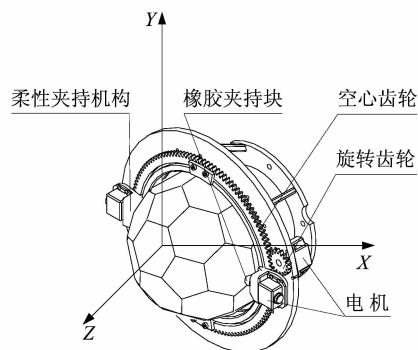


图4 旋转发生器结构模型

Figure 4 Structure model of rotary generator

技巧球的发射角度由举仰机构的抬升角度决定。旋转速度由旋转发生器的电机工作转速决定。旋转球的飞行轨迹为三维空间中的一条曲线,可以近似表示为2个二维曲线的空间矢量和,因此可先分析一个平面上的轨迹方程。文中分析了 OXY 平面的轨迹方程,图5所示为足球在 OXY 平面的运动轨迹。

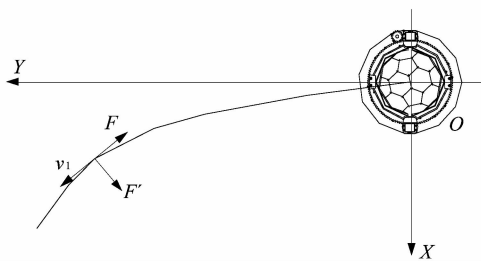


图5 足球在OXY平面的运动轨迹

Figure 5 Trajectory of soccer in OXY plane
流体中运动球体的质量^[5]

$$m = \frac{4}{3} \pi r^3 (\rho_0 + \rho') \quad (4)$$

式中： ρ_0 是球体的密度， kg/m^3 ； ρ' 是流体密度， kg/m^3 ； r 为球半径， m 。

足球在运动中受空气阻力^[6]

$$F = \frac{1}{2} c \rho s v_1^2 \quad (5)$$

式中： c 为空气阻力系数； ρ 为空气密度， kg/m^3 ； s 为物体迎风面积， m^2 ； v_1 为物体与空气的相对运动速度， m/s 。

马格努斯力^[7]

$$F' = \frac{8}{3} \pi \rho \omega a^3 v_2 \quad (6)$$

式中： a 是足球半径， m ； ω 是旋转角速度， rad/s ； ρ 是空气密度， kg/m^3 ， v_2 是来流速度，与足球运动速度大小相等， m/s 。

根据文献[8]，有

$$y_z = 33.96 \frac{v_0}{\omega_0} - \sqrt{(33.96 \frac{v_0}{\omega_0})^2 - x_z^2} \quad (7)$$

式中： v_0 为足球发射速度，由足球弹射机构决定； ω_0 为足球发射初始旋转角速度，由旋转发生器决定； x_z 表示足球在OY轴方向上的位移。

将公式(4)代入公式(7)，可得足球三维空间的旋转轨迹方程为：

$$\begin{bmatrix} y_x \\ y_y \\ y_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 33.96 \frac{v_0}{\omega_0} - \sqrt{(33.96 \frac{v_0}{\omega_0})^2 - x_z^2} \\ \cos \left(\arccos \frac{L_3}{L_4} + \arctan \frac{x}{y} - \frac{\pi}{2} \right) \\ y_x + y_z \\ 33.96 \frac{v_0}{\omega_0} - \sqrt{(33.96 \frac{v_0}{\omega_0})^2 - x_z^2} \end{bmatrix} \quad (8)$$

3 控制系统设计

机器人采用了4个电机分别驱动的 Mecanum 轮

全方位移动平台，控制模式包括电流环、速度环和位置环。光电编码器可将电机的信息（如电机速度、位置）进行反馈，构成伺服电机的速度闭环和位置闭环，以便于实现足球机器人的状态估计。运动控制系统由伺服放大器、运动控制卡和一台工控机组成^[9]，控制系统原理如图6所示。

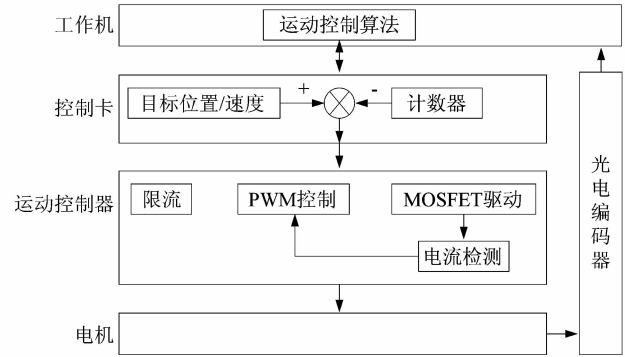


图6 运动控制系统原理

Figure 6 Principle of motion control system

4 结语

课题组设计的技巧球(有旋球)发射机器人，包括机械结构及控制系统设计。机器人采用了全方位移动平台，移动灵活；采用推杆驱动的举仰机构和旋转发生器，为足球的运动轨迹提供了初始条件；对足球运动轨迹的运动学分析，为以后球类发射机器人的智能算法提供了理论依据。该机器人能够发射香蕉球、电梯球等技巧球，满足了对球员接球、传球的训练，具有良好的应用前景。

参考文献：

- [1] 张延安. 我国校园足球未来发展中应当确立的科学发展观[J]. 北京体育大学学报, 2015, 38(1): 107.
- [2] 奇正. 首届机器人世界杯足球赛及其意义[J]. 机器人技术与应用, 1998(1): 2.
- [3] 王伟, 刘欣. 浅谈“香蕉球”的力学原理[J]. 体育科技文献通报, 2008(3): 25.
- [4] 葛惟昆, 贾继莹, 张京雷. 从空气阻力墙理论到足球的“电梯球”技术[J]. 物理, 2016, 45(1): 43.
- [5] 吴军伟, 张社平, 欧阳林, 等. 足球直接任意球运行轨迹的理论研究[J]. 天津体育学院学报, 2005, 20(1): 90.
- [6] 周雨青, 叶兆宁, 吴宗汉. 球类运动中空气阻力的计算和分析[J]. 物理与工程, 2002, 12(1): 56.
- [7] 何家梅, 丁焕常. 旋转球体的运动轨迹[J]. 许昌学院学报, 2005, 24(5): 38.
- [8] 葛隆祺, 叶卫军. 足球旋转球的运动规律[J]. 物理通报, 1999(2): 8.
- [9] 汤思维. 移动机器人实时彩色视觉系统[D]. 上海: 上海交通大学, 2003: 27-32.