

二、日志详情

1、 提出主题

课题环节			提出主题		
建立日期	2019-01-13	最终日期	2020-01-19	版本次数	1
课题来源	目前世界上有各种各样的动态平衡双足步行机器人，但是没有面向初学者与爱好者的平台或成品，所以希望制作一种动态平衡双足机器人平台。				
期望效果	制作出低成本的动态平衡双足机器人。				

课题环节			提出主题		
建立日期	2019-01-13	最终日期	2020-01-19	版本次数	1
课题来源	初步拟定使用并联结构的双足机器人。				
期望效果	能够在有辅助条件下实现步行模拟。				

2、 文献调研

课题环节			文献调研		
建立日期	2019-01-18	最终日期	2019-07-16	版本次数	1
文献检索关键词	初学者、教育、入门、并联结构、3-RRR、双足、足式、步行				
查阅文献信息	<p>[1] 黄真 孔令富 方跃法, 并联机器人机构学理论及控制[M], 北京: 机械工业出版社, 1997.</p> <p>[2] 许宾彬, 正交 Delta 并联机器人运动学设计与标定仿真[D], 浙江: 浙江理工大学, 2015.</p> <p>[3] 孙中波, 动态双足机器人有限时间稳定性分析与步态优化控制研究[D], 吉林大学, 2016.</p> <p>[4] Missura M, Behnke S. Omnidirectional capture steps for bipedal walking [C]// Humanoid Robots(Humanoids),2013 13th IEEE-RAS International Conference on, 2013.</p> <p>[5] Kim J, Oh J. Realization of dynamic walking for the humanoid robot platform KHR-1.[J]. Advanced Robotics, 2004.</p> <p>[6] Nelson G, Saunders A, Neville N, et al. PETMAN: A Humanoid Robot for Testing Chemical Protective Clothing[J]. Journal of the Robotics Society of Japan, 2012.</p> <p>[7] Vanderborght B, Van Ham R, Verrelst B, et al. Overview of the Lucy Project: Dynamic Stabilization of a Biped Powered by Pneumatic Artificial Muscles[J]. Advanced Robotics, 2008.</p> <p>[8] 纪军红. HIT-III 双足步行机器人步态规划研究[D].哈尔滨工业大学, 2000.</p> <p>[9] Raza J A, Huang Q, Yang J, et al. Motion Planning of Humanoid Robot for Obstacle Negotiation[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2008.</p> <p>[10] 徐凯, 仿人机器人步态规划算法及其实现研究[D].清华大学, 2004.</p> <p>[11] 朱秋国. 仿人机器人结构设计与分析[D].浙江大学, 2011.</p> <p>[12] 印元军, 郭效廷. 双足步行机器人下肢最小机构的设计与实现[J]. 现代计算机, 2015.</p> <p>[13] 付根平, 杨宜民, 李静. 仿人机器人的步行控制方法综述及展望[J]. 机床与液压, 2011.</p> <p>[14] Wakabayashi A, Motomura S, Kato S. Communicative humanoid robot control system reflecting human body movement[C]. Micro-NanoMechatronics and Human Science(MHS), 2011.</p> <p>[15] M. Taherkhorsand I, M. J. Mahmoodabadi, M. Talebipour, et al. Pareto design of an adaptive robust hybrid of PID and sliding control for a biped robot via genetic algorithm optimization[J]. Nonlinear Dynamics, 2015.</p> <p>[16] 朱道宏, 双足机器人步行姿态跟踪控制方法研究[D]. 西安科技大学, 2011.</p> <p>[17] Knight, Will. Agile Robots[J]. Technology Review, 2014.</p> <p>[18] Hauser Helmut, Neumann Gerhard, Ijspeert Auke J, et al. Biologically inspired kinematic synergies enable linear balance control of a humanoid robot[J]. Biological Cybernetics, 2011.</p> <p>[19] Parsa Nassiri Afshar, Lei Ren. Dynamic Stability of Passive Bipedal Walking o Rough Terrain: A Preliminary Simulation Study[J]. Journal of Bionic Engineering. 2012.</p> <p>[20] Zhao Mingguo, Liu Li, Wang Jingsong, etc. Control system design of THBIP-1 humanoid robot[C]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2002.</p> <p>[21] 朱硕迪, 六自由度双足竞步机器人的结构设计及轨迹跟踪[D].哈尔滨理工大学, 2015.</p> <p>[22] Yu-Feng Zhuang, Dong-Qiang Liu, Jun-Guang Wang. Dynamic modeling and analyzing of a walking robot[J]. The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, 2014.</p> <p>[23] Yi Gan, Weiwei Yu, Weiming He, etc. The Research about Prescribed Workspace for Optimal Design of 6R Robot[J]. Modern Mechanical Engineering, 2014.</p> <p>[24] Bo Yin, Zhenning Liang, Wen Hu, etc. A lattice-type reconfigurable robotics system for achieving gaits of chain-type robots[J]. Advanced Robotics, 2014.</p> <p>[25] 张声远, 基于足部感知系统双足仿人机器人稳定性方法的研究[D]. 中国海洋大学, 2014</p>				

	<p>[26] Cela Andres, Yebes J Javier, Arroyo Roberto, et al. Complete low-cost implementation of a teleoperated control system for a humanoid robot [J]. Sensors (Basel, Switzerland), 2013.</p> <p>[27] T. Suzuki, T. Tsuji and K. Ohnishi, Trajectory Planning of Biped Robot for Running Motion, 31st Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society, Raleigh, NC, 2005.</p> <p>[28] L. Hu and Z. Sun, Reinforcement Learning Method-Based Stable Gait Synthesis for Biped Robot, International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, China, 2004.</p> <p>[29] Napoleon, S. Nakaura and M. Sampei, Balance Control Analysis of Humanoid Robot Based on ZMP Feedback Control, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Switzerland, 2002.</p> <p>[30] D. Tlalolini, C. Chevallereau and Y. Aoustin, Human-Like Walking: Optimal Motion of a Bipedal Robot with Toe-Rotation Motion, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 2011.</p> <p>[31] J. Morimoto and C. G. Atkeson, Learning Biped Locomotion, IEEE Robotics & Automation Magazine, 2007.</p> <p>[32] Romdhane, L., Affi, Z., and Fayet, M. Design and singularity analysis of a 3-translational-DOF in parallel manipulator. J. Mech. Des., 2002.</p> <p>[33] Tsai, L. W. and Stamper, R. A parallel manipulator with only translational degrees of freedom. the ASME Design Engineering Technical Conference, Irvine, USA, 1996.</p> <p>[34] Donghyun Kim, Steven Jens Jorgensen, Hochul Hwang, Luis Sentis. Control Scheme and Uncertainty Considerations for Dynamic Balancing of Passive-Ankled Biped and Full Humanoids[C]. the IEEE-RAS 18th International Conference on Humanoid Robots, 2018.</p> <p>[35] Donghyun Kim, Steven Jens Jorgensen, Jaemin Lee, Junhyeok Ahn, Jianwen Luo, Luis Sentis. Dynamic Locomotion For Passive-Ankle Biped Robots And Humanoids Using Whole-Body Locomotion Control[J]. 2019.</p> <p>[36] Miguel Arduengo, Carme Torras, Luis Sentis. A Versatile Framework for Robust and Adaptive Door Operation with a Mobile Manipulator Robot[J]. 2019.</p> <p>[37] Park Hae-Won, Sreenath Koushil, Hurst Jonathan W, Grizzle Jessy W. Identification of a bipedal robot with a compliant drivetrain: Parameter estimation for control design[J]. 2011.</p> <p>[38] Ross Hartley, Josh Mangelson, Lu Gan, Maani Ghaffari Jadidi, Jeffrey M. Walls, Ryan M. Eustice, and Jessy W. Grizzle. Legged Robot State-Estimation Through Combined Forward Kinematic and Preintegrated Contact Factors[J]. 2017</p> <p>[39] Robert R. Playter. Marc H. Raibert. Control of A Biped Somersault in 3D[C]. the Lftomm-jc International Symposium on Theory of Machines & Mechanisms. 1992.</p> <p>[40] Morteza Azad, Roy Featherstone. Balancing and hopping motion of a planar hopper with one actuator[C]. Robotics and Automation ICRA, the IEEE International Conference, 2013.</p> <p>[41] 侯月阳, 吴伟国, 高力扬. 有挠性驱动单元的双足机器人研制与步行实验[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2015.</p> <p>[42] 吴伟国, 侯月阳. 机器人关节用挠性驱动单元研制于负载特性试验[J]. 机械工程学报. 2014.</p> <p>[43] 查望华, 双足机器人运动控制系统的研究[D]. 2016</p> <p>[44] 付成龙, 陈恳, 王健美, 黄元林. 动态步行双足机器人 THR-I 的设计与实现[J]. 2008.</p> <p>[45] 李春光, 刘国栋. 双足机器人自然 ZMP 轨迹生成方法研究[J]. 计算机工程与应用, 2014.</p>
文献综述	<p>仿人机器人是现代研究的热点领域之一，并联机构作为近几年来新兴的研究方向，在仿人机器人领域内鲜有应用。目前仿人机器人关节大都采用串联结构，本文将并联机构应用于机器人腿机构，为仿人机器人设计提供新的思路。</p> <p>本文采用新型 3-UPS 六自由度并联机构作为双足仿人步行器的单腿机构，介绍了机构构型，求解出该机构的位置正反解解析表达式，对位置正解进行了验证。</p> <p>给出了该机构虎克铰、球铰、杆长、杆件干涉等约束，采用几何法绘制了杆长约束的定姿态工作空间三维图。并采用三维球坐标边界搜索法，绘制了多组工作空间边界图及截面图。绘制了机构各参数对工作空间体积大小的影响曲线图，为机构参数的选取提供了依据。</p> <p>根据隐函数求导方法求解出了该机构的速度传递雅克比矩阵，定义了一般速度传递性能评价指标，并通过螺旋理论求解出了机构的力传递雅克比矩阵，绘制出多组速度传递灵巧度指标及力承载能力指标在工作空间内的分布图。</p> <p>针对影响双足机器人步行稳定性的因素，导出反映机器人静态稳定性和动态稳定</p>

性的重心和 ZMP 的计算公式, 得出判别步行稳定性的条件。

参考人类身体比例选取了一组机器人下肢设计参数, 建立了双足仿人步行器的三维实体模型及虚拟样机, 根据人类步行特征, 规划了一种机器人行走步态, 并进行了步态仿真, 得出各驱动输入位移及速度曲线, 为后续设计工作提供了依据。

本课题研究的机器人是用于本科生机器人教学和竞赛。为了丰富教育机器人平台的产品库, 减少设计周期、增加使用期限, 降低维修和研制成本, 对教育机器人进行模块化结构设计, 设计并制造了双足教育机器人实体样机, 并利用双足机器人模块搭建了仿人机器人、四足机器人和六足机器人, 使用者仍然能够自己的需求搭建出其他类型的机器人。

为了完善双足教育机器人的主要功能, 对双足机器人进行步态规划: 规划双足机器人步行过程中的关键姿态, 并在仿真软件中完成对各关键姿态的拟合, 得到稳定的机器人步行姿态。利用仿真得到的结果完成对实体样机的步行调试, 实现了双足教育机器人的平稳步行。

随着科技的发展, 人们对生活质量的要求日益提升, 因此在很多情况下对于机器人的需求日益增多, 因为机器人可以代替人类完成各种复杂、繁琐、危险等恶劣环境下的工作任务。机器人的应用也越来越广泛, 包括娱乐、服务、医疗、军事等多方面, 因此机器人的发展是未来一个重要的领域。但由于机器人本身造价高、材料要求严格、技术难度大、安全性等诸多因素的限制, 使机器人的实际学习、研究、运用没有那么广泛便捷, 只是小范围的研究运用。在这种情况下, 运用 MATLAB 这一工具, 对机器人运动进行建模仿真研究, 是一种便捷的研究机器人的方式和手段。本文基于 MATLAB 仿真软件, 对单关节机器人和双足机器人展开研究。

本文首先对一个单关节机器人进行了建模仿真研究, 单关节机器人作为所有机器人的基本组成部分, 可以做为双足机器人的上肢或者下肢的一部分, 比如下肢中的膝关节加大腿或者膝关节加小腿。并对单关节机器人进行了轨迹规划, 建立机械结构模型、电气结构模型、控制结构的数学模型, 并在 MATLAB 中实现仿真研究。

其次是对双足机器人的研究, 双足机器人作为一类与人类形态最为接近的机器人, 由于它与人类下肢的相似性, 有多个自由度, 相比于其他类型的机器人更为灵活, 增加了运动的多变性, 因此成为了可以最大限度替代人力工作的机器人。在单关节机器人研究的基础上, 进一步对双足机器人展开研究讨论。对其进行完整的正逆运动学分析并建立数学模型, 规划其运动轨迹, 在 MATLAB 中实现仿真研究, 使机器人可以按照设定的轨迹实现平稳步行运动。

最后在双足机器人匀速运动的基础上, 考虑到机器人实际运动的多种情况, 进行了匀加速运动的仿真分析。最后为了机器人能够实现平稳运动, 不仅仅考虑到重心的上下移动, 在双足机器人的腰部增加一个重心调节器, 通过调节器的左右移动进行调节机器人的稳定性, 并且利用 MATLAB 建模仿真结果分析, 机器人可以实现稳定行走, 这样的理论建模仿真研究为后续的样机实现奠定了基础。

双足机器人具有人类的相似点, 涉及力学、材料、机械和计算机科学等多个学科, 是一个前沿的研究热点。双足机器人的步态规划与控制是其中一个重要的研究方向。本文主要针对双足机器人的步态规划与反馈调整开展研究。并在本课题组研制的高度约为 73cm 的小型舵机双足机器人与虚拟样机上进行了相关实验分析。

在样机研制过程中, 优化了机械结构, 搭建了软件系统。根据双足机器人样机, 建立了其七连杆模型与解耦的侧向与前向平面运动学模型。建立了简化的桌子一小车模型, 采用预观控制方法计算出机器人的质心运动轨迹。通过增加预观准备期与双足支撑期, 对 ZMP 规划轨迹进行优化。针对桌子一小车模型与实际双足机器人在侧向平面中的质心误差较大的问题, 提出了侧向平面质心补偿模型, 对机器人的质心轨迹进行补偿。利用三次样条曲线插值方法规划出机器人的踝关节轨迹, 最后通过逆运动学模型计算出各个关节角度。

利用安装在足底的压力传感器 (F' SR) 反馈出机器人受不平衡力后的质心偏移量, 重新规划 ZMP 轨迹, 采用预观控制方法生成质心轨迹, 再计算出髌关节中心轨迹, 计算出关节余度曲线, 调整机器人步态。利用平行安装于脚底的惯性测量单元 (IMI J) 检测出俯仰角与翻转角, 根据反馈的众度信息, 调整踝关节两个舵机的角度, 使机器人脚掌处于水平的姿态。

在 ADAMS 仿真环境中建立了实体机器人的虚拟样机, 搭建了 MATLAB-ADAMS 联合仿真环境, 实现了 MATLAB 与 ADAM 的数据通信。在虚拟样机中开展了定步长与不同步长切换步行仿真实验以及受不平衡力条件下步态调整仿真实验; 在实体机器人中进行了步行实验与受不平衡力条件下步态调整步行实验以及脚掌调平实验。实验结果表明了此

	<p>步态规划方法与侧向平面质心补偿模型的有效性、机器人受不平衡力条件下步态调整与脚掌调平的有效性。</p> <p>等</p>
--	---

3、 过程记录

课题环节			过程记录		
建立日期	2019-07-18	最终日期	2020-07-18	版本次数	1
实施日期	2019-07-18				
实验目的	进行 matlab 仿真				
实验设备与材料	电脑				
实验步骤	在 matlab 上对并联结构双足机器人进行建模 对建模进行仿真				
实验结果	能够初步实现 matlab 仿真，验证了结构可行性。				

课题环节			过程记录		
建立日期	2019-07-19	最终日期	2019-07-22	版本次数	1
实施日期	2019-07-19~2019-07-22				
实验目的	进行材料的选择与购买				
实验结果	完成材料的选择与购买				

课题环节			过程记录		
建立日期	2019-07-22	最终日期	2019-08-12	版本次数	1
实施日期	2019-07-22				
实验目的	进行样机的初步制作				
实验设备与材料	金属加工工具，3d 打印机，电脑				

实验步骤	进行基座部的打印，腿部的金属件加工，定制 pcb 印刷，所有零件的安装
实验结果	成品初步成型

课题环节			过程记录		
建立日期	2019-08-13	最终日期	2019-08-25	版本次数	1
实施日期	2019-08-13				
实验目的	对样机进行实验				
实验设备与材料	样机，记录设备				
实验步骤	采集不同足部位置下的舵机角度，尝试进行软件编写与模拟步行				
实验结果	获得数据，成功进行步行模拟				

课题环节			过程记录		
建立日期	2019-08-27	最终日期	2020-01-31	版本次数	1
实施日期	2019-08-27				
实验目的	编写文章				

4、 课题总结

课题环节			课题总结		
建立日期	2019-10-01	最终日期	2020-01-31	版本次数	1

课题开始日期	2019-10-01
课题结束日期	2020-01-31
课题摘要	<p>目前为止，还没有出现适合初学者、针对足式机器人爱好者的动态平衡双足机器人平台。本课题设计并制作了一种模块化的双足机器人平台，双足机器人采用创新性的三连杆并联结构。整体结构简单，材料易得，加工简便，并且在机器人的控制，运动，反馈系统中都设置了拓展接口，基于 curie nano 微控制器，兼容 arduino。适于足式机器人初学者对动态平衡双足机器人的探究与实验。本文提供了硬件与软件部分的模块化设计结果。</p>
引言	<p>人类作为世界上最高级的灵长类动物，始终梦想着研制出与人类外形相似，拥有高智能和强灵活度的机器人，从而服务于人类日常的工作及生活。其中，人类在机器人行走结构研究过程中，始终致力于研制具有和人类一样步行结构的机器人，而且两足步行更是步行机器人研究中的重点。</p> <p>双足机器人是一门与仿生学、多刚体动力学、多传感器融合技术以及控制工程等多学科相结合的交叉学科，是机器人研究领域中的一个重要分支。双足行走方式具有高度的灵活性，于轮式、爬行式和履带式等移动机器人相比，有着更好的环境适应性，在日常服务、危险环境作业等领域具有广阔的应用潜力。所有对双足步行机器人行走规划及其控制研究不仅具有很高的学术价值，而且具有相当的现实意义。</p> <p>国内外大学一直在对双足机器人进行深入的研究，比如波士顿动力的 Atlas、俄勒冈州立大学 Cassie 的双足机器人，但是它们的结构都是极其复杂的，控制理论和程序也相对比较特殊，而且市面上能买到的双足机器人多数是平底慢速走动的机器人，和仿人行走相差甚远，因此一般的双足机器人爱好者没有办法去深入研究，高昂的价格也限制了研究者更深的去接触这个领域。为了使大家有一个平台，我致力于构架一套结构简单，易加工的双足机器人模型，帮助双足机器人爱好者们一起去研究改进行走算法，使其能达到较快的行进速度，使双足机器人能让更多的人去进行研究，使中国的双足机器人行进速度优于世界水平。</p>
结论概述	<p>分析国内外双足机器人结构设计，了解各种结构的发展进程和优缺点，吸取经验和优秀算法；</p> <p>建立基于 DELTA 并联结构的双足机器人的系统，学习相关知识，收集必要的资料；</p> <p>运用 Fusion 设计双足机器人，完成和验证结构的完整性和可行性；</p> <p>采用 3D 打印外壳、大扭力舵机做动力、轻质钛管做骨架，搭建硬件系统；</p> <p>主板采用 Arduino 101 nano，编写调试 C++ 程序，实现对腿部位置的精确控制；</p> <p>通过对机器人腿部建模进行动作分解和联调，实现双足机器人的独立行走；</p> <p>未来尝试采用软件仿真和机器学习，以便更好地完成双足行走动作。</p>
参考文献	<p>[1] 黄真 孔令富 方跃法, 并联机器人机构学理论及控制[M], 北京: 机械工业出版社, 1997.</p> <p>[2] 许宾彬, 正交 Delta 并联机器人运动学设计与标定仿真[D], 浙江: 浙江理工大学, 2015.</p> <p>[3] 孙中波, 动态双足机器人有限时间稳定性分析与步态优化控制研究[D], 吉林大学, 2016.</p> <p>[4] Missura M, Behnke S. Omnidirectional capture steps for bipedal walking [C]// Humanoid Robots(Humanoids),2013 13th IEEE-RAS International Conference on, 2013.</p> <p>[5] Kim J, Oh J. Realization of dynamic walking for the humanoid robot platform KHR-1.[J]. Advanced Robotics, 2004.</p> <p>[6] Nelson G, Saunders A, Neville N, et al. PETMAN: A Humanoid Robot for Testing Chemical Protective Clothing[J]. Journal of the Robotics Society of Japan, 2012.</p> <p>[7] Vanderborght B, Van Ham R, Verrelst B, et al. Overview of the Lucy Project: Dynamic Stabilization of a Biped Powered by Pneumatic Artificial Muscles[J]. Advanced Robotics, 2008.</p> <p>[8] 纪军红. HIT-III 双足步行机器人步态规划研究[D].哈尔滨工业大学, 2000.</p> <p>[9] Raza J A, Huang Q, Yang J, et al. Motion Planning of Humanoid Robot for Obstacle Negotiation[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2008.</p> <p>[10] 徐凯, 仿人机器人步态规划算法及其实现研究[D].清华大学, 2004.</p> <p>[11] 朱秋国. 仿人机器人结构设计与分析[D].浙江大学, 2011.</p> <p>[12] 印元军, 郭效廷. 双足步行机器人下肢最小机构的设计与实现[J]. 现代计算机, 2015.</p>

- [13] 付根平, 杨宜民, 李静. 仿人机器人的步行控制方法综述及展望[J]. 机床与液压, 2011.
- [14] Wakabayashi A, Motomura S, Kato S. Communicative humanoid robot control system reflecting human body movement[C]. Micro-NanoMechatronics and Human Science(MHS), 2011.
- [15] M. Taherkhorsand I, M. J. Mahmoodabadi, M. Talebipour, et al. Pareto design of an adaptive robust hybrid of PID and sliding control for a biped robot via genetic algorithm optimization[J]. Nonlinear Dynamics, 2015.
- [16] 朱道宏, 双足机器人步行姿态跟踪控制方法研究[D]. 西安科技大学, 2011.
- [17] Knight, Will. Agile Robots[J]. Technology Review, 2014.
- [18] Hauser Helmut, Neumann Gerhard, Ijspeert Auke J, et al. Biologically inspired kinematic synergies enable linear balance control of a humanoid robot[J]. Biological Cybernetics, 2011.
- [19] Parsa Nassiri Afshar, Lei Ren. Dynamic Stability of Passive Bipedal Walking on Rough Terrain: A Preliminary Simulation Study[J]. Journal of Bionic Engineering, 2012.
- [20] Zhao Mingguo, Liu Li, Wang Jingsong, etc. Control system design of THBIP-1 humanoid robot[C]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2002.
- [21] 朱硕迪, 六自由度双足竞步机器人的结构设计及轨迹跟踪[D]. 哈尔滨理工大学, 2015.
- [22] Yu-Feng Zhuang, Dong-Qiang Liu, Jun-Guang Wang. Dynamic modeling and analyzing of a walking robot[J]. The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, 2014.
- [23] Yi Gan, Weiwei Yu, Weiming He, etc. The Research about Prescribed Workspace for Optimal Design of 6R Robot[J]. Modern Mechanical Engineering, 2014.
- [24] Bo Yin, Zhenning Liang, Wen Hu, etc. A lattice-type reconfigurable robotics system for achieving gaits of chain-type robots[J]. Advanced Robotics, 2014.
- [25] 张声远, 基于足部感知系统双足仿人机器人稳定性方法的研究[D]. 中国海洋大学, 2014.
- [26] Cela Andres, Yebes J Javier, Arroyo Roberto, et al. Complete low-cost implementation of a teleoperated control system for a humanoid robot [J]. Sensors (Basel, Switzerland), 2013.
- [27] T. Suzuki, T. Tsuji and K. Ohnishi, Trajectory Planning of Biped Robot for Running Motion, 31st Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society, Raleigh, NC, 2005.
- [28] L. Hu and Z. Sun, Reinforcement Learning Method-Based Stable Gait Synthesis for Biped Robot, International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, China, 2004.
- [29] Napoleon, S. Nakaura and M. Sampei, Balance Control Analysis of Humanoid Robot Based on ZMP Feedback Control, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Switzerland, 2002.
- [30] D. Tlalolini, C. Chevallereau and Y. Aoustin, Human-Like Walking: Optimal Motion of a Bipedal Robot with Toe-Rotation Motion, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 2011.
- [31] J. Morimoto and C. G. Atkeson, Learning Biped Locomotion, IEEE Robotics & Automation Magazine, 2007.
- [32] Romdhane, L., Affi, Z., and Fayet, M. Design and singularity analysis of a 3-translational-DOF in parallel manipulator. J. Mech. Des., 2002.
- [33] Tsai, L. W. and Stamper, R. A parallel manipulator with only translational degrees of freedom. the ASME Design Engineering Technical Conference, Irvine, USA, 1996.
- [34] Donghyun Kim, Steven Jens Jorgensen, Hochul Hwang, Luis Sentis. Control Scheme and Uncertainty Considerations for Dynamic Balancing of Passive-Ankled Biped and Full Humanoids[C]. the IEEE-RAS 18th International Conference on Humanoid Robots, 2018.
- [35] Donghyun Kim, Steven Jens Jorgensen, Jaemin Lee, Junhyeok Ahn, Jianwen Luo, Luis Sentis. Dynamic Locomotion For Passive-Ankle Biped Robots And Humanoids Using Whole-Body Locomotion Control[J]. 2019.
- [36] Miguel Arduengo, Carme Torras, Luis Sentis. A Versatile Framework for Robust and Adaptive Door Operation with a Mobile Manipulator Robot[J]. 2019.
- [37] Park Hae-Won, Sreenath Koushil, Hurst Jonathan W, Grizzle Jessy W. Identification of a bipedal robot with a compliant drivetrain: Parameter estimation for control design[J]. 2011.
- [38] Ross Hartley, Josh Mangelson, Lu Gan, Maani Ghaffari Jadidi, Jeffrey M. Walls, Ryan M. Eustice, and Jessy W. Grizzle. Legged Robot State-Estimation Through Combined Forward Kinematic and Preintegrated Contact Factors[J]. 2017.
- [39] Robert R. Playter, Marc H. Raibert. Control of A Biped Somersault in 3D[C]. the Lfomm-jc International Symposium on Theory of Machines & Mechanisms. 1992.
- [40] Morteza Azad, Roy Featherstone. Balancing and hopping motion of a planar hopper with one actuator[C]. Robotics and Automation ICRA, the IEEE International Conference, 2013.

- | |
|---|
| [41] 侯月阳, 吴伟国, 高力扬. 有挠性驱动单元的双足机器人研制与步行实验[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2015. |
| [42] 吴伟国, 侯月阳. 机器人关节用挠性驱动单元研制于负载特性试验[J]. 机械工程学报. 2014. |
| [43] 查望华, 双足机器人运动控制系统研究[D]. 2016 |
| [44] 付成龙, 陈恳, 王健美, 黄元林. 动态步行双足机器人 THR-I 的设计与实现[J]. 2008. |
| [45] 李春光, 刘国栋. 双足机器人自然 ZMP 轨迹生成方法研究[J]. 计算机工程与应用, 2014. |