应用契贝谢夫四杆机构的四足机器人仿真分析

韶关学院 物理与机电工程学院　翁杰弟 余彦峰 刘烁超 李湘勤

摘要：通过SolidWorks软件建立契贝谢夫四杆机构的三维模型，对运动轨迹进行拟合，确定出较适合进行步行的运动轨迹。在此基础上，创建四足机器人模型并导入ADAMS以添加对应的约束，然后在理论悬空时和实际接触地面时两种情况进行仿真、图表处理，最后得到足的运动轨迹、加速度和动能变化曲线。这些曲线分析的结果证明了契贝谢夫四杆机构应用四足机器人的可行性。可见，利用虚拟样机进行仿真为多足机器人步态规划的研究提供了一种良好的试验方法。

关键词：SolidWorks；ADAMS；契贝谢夫四杆机构；四足机器人；仿真分析

中图分类号：TH111,TH122　文献标志码：A　文章编号：

The Simulation Analysis of the Quadruped Robot used Chebyshev four-bar linkage

WEI Jiedi, YU Yanfeng, LIU Shuochao, LI Xiangqin

(Shaoguan University, College of physics and electrical engineering, Shaoguan 512005, China)

Abstract: SolidWorks software was used to establish the three-dimensional model of the four-bar chebyshev mechanism, and the motion trajectory was fitted to determine the motion trajectory suitable for walking.On this basis, a four-legged robot model was created and imported into ADAMS to add corresponding constraints. Then, simulation and graph processing were carried out in both theoretical suspension and actual contact with the ground. Finally, the trajectory, acceleration, and kinetic energy change curves of the foot were obtained.The results of the curve analysis prove the feasibility of the four-legged robot applied to the four-bar mechanism of chebyshev.It can be seen that simulation with virtual prototype provides a good experimental method for gait planning of multi-legged robot.

Key words: SolidWorks; ADAMS; Chebyshev four-bar mechanism; quadruped robot; The simulation analysis

一、引言

在机械设计制造方面常运用仿真技术来做出新的突破，所谓仿真技术就是通过计算机仿真软件在计算机上建模，然后通过各种接受装置接收各类动能形态参数分析来优化样机方案。其中在CAD/CAM/CAE技术及多体系统动力学基础上发展起来的系统级的产品建模、仿真与分析技术，综合了取得突破性进展的多领域物理系统建模与仿真技术，形成了功能化虚拟样机技术。虚拟样机技术可使设计人员在各种虚拟环境中真实的模拟产品整体的运动及受力情况，快速分析多种设计方案，进行对物理样机而言难以进行或根本无法

基金项目：广东省大学生科技创新培育专项资金（pdjha0452）

投稿邮箱 | cadcam@idnovo.com.cn
IMCHINA@idnovo.com.cn

进行的试验，获得系统的最佳设计方案为止[1-4]。用虚拟样机替代物理样机验证设计时，不但可以缩短开发周期，而且设计效率也得到了提高。

本文通过三维建模软件 SolidWorks 建立四足机器人三维模型，将建立的三维模型导入到动力学软件 ADAMS 虚拟仿真平台中构建四足机器人的虚拟样机模型，实现四足机器人进行静力和动力学仿真研究，以期获得四足机器人在运动中的各项运动学和力学参数。

二、契贝谢夫连杆机构

契贝谢夫 (Chebyshev) 机构是一类特殊的四杆机构，当连架杆或机架的长度发生变化时，会引起连杆的运动轨迹发生相应改变[5]。图 1 是契贝谢夫机构的结构简图，连杆 3 与连杆 2 和连杆 4 一端铰接，连杆 2 和连杆 4 另一端分别铰接在机架 1 上，C 为连杆上的一点。通过调整杆 AB、BE、ED、AD 和 EC 的长度可使 C 点的轨迹发生变化。在实际中用解析法困难较大，且计算量巨大，直观性差，利用仿真软件快速、高效求解该构件的各项参数，并根据分析结果优化设计。

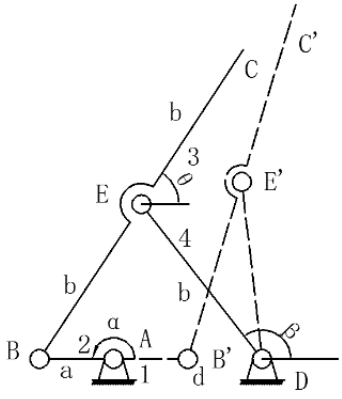

图 1 契贝谢夫四杆机构简图

三、基于 ADAMS 和 SolidWorks 的四足机器人运动仿真

ADAMS/View 可以进行简单的三维建模，但对于连杆较多的机构进行建模、定位、添加约束时，容易出错，也很繁琐 [5]。因此，利用 SolidWorks 辅助进行三维建模。根据杆长条件先设定 BE = DE = 100，对机构进行建模，仿真拟合运动轨迹，对比不同长度比例下的迈步轨迹曲线，最终设定 BE:DE:AD:AB=1:1:0.8:0.4 为机构的杆长比例，此时具有较好的迈步轨迹曲线。利用上述杆长比例关系确定其他两杆的长度。利用各杆长数据进行建模仿真得到机构的运动轨迹近似于半月形，有一段较为平缓的运动，两边的运动轨迹对称，可较真实地模拟动物的迈步动作。

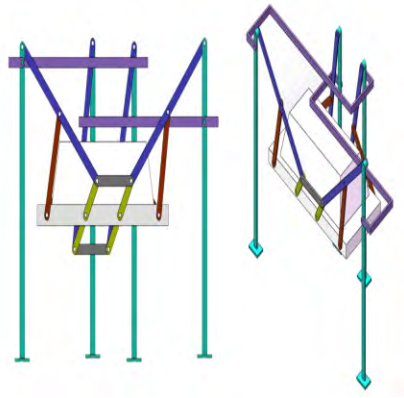

图 2 四足机器人三维模型

根据已确定的各杆长尺寸，建立四足机器人的三维模型，如图 2 所示。将模型导入到 ADAMS，调整工作环境使模型置于恰当的工作界面中，然后添加约束并对约束命名，如图 3 所示。

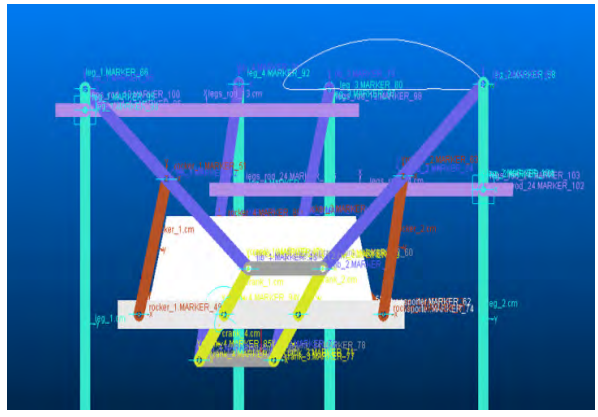

图 3 ADAMS 环境下的四足机器人模型

四、运动仿真

四足机器人机构设计后进行相应的仿真分析，包括机器人的理论悬空运动仿真和实际接触地面运动仿真时的轨迹、足部加速度和动能分析。

1. 四足机器人理论悬空运动仿真分析

在曲柄上添加一个驱动电机，并设定以 60 deg/s 的驱动使曲柄匀速转动，设定好仿真时间为 24s，步数为 500。

选取右前足上的一点做出它的运动轨迹。如图 4 所示是足部的运动轨迹。测量右前足的 X 方向和 Y 方向的位移，速度，加速度，角速度和角加速度变化曲线。

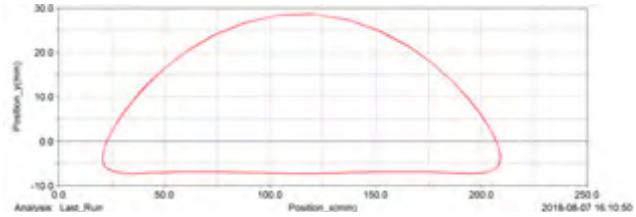

图 4 机构腿部运动轨迹

从图 4 的运动轨迹可以看出，机构运行时腿部做踏步动作。X 方向的位移范围为 [20.9293,209.0723]，因此 X 方向腿部的行程为 188.142mm，即步长为 188.142mm。Y 方向的位移范围为 [−7.2477,28.7108]，因此 Y 方向腿部的行程为 35.9585mm，即步高为 35.9585mm。速度的变化范围为 [15.4076,204.606]mm/s，加速度的变化范围为 [0.3651,318.1257]mm/s^2。从图 5 可以看出，腿部在 6s 时速度和加速度波动不大，保证了机构在在地面步行时较为平稳。在 4.16 ~ 6.08s 时速度和加速度波动很大，保证了机构在地面上方抬步时速度快，效率高。

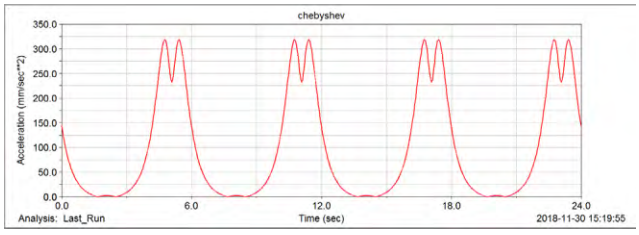

图 5机构腿部线加速度

2. 四足机器人实际接触地面运动仿真

在上述的基础上，用 ADAMS 的建模功能在四足机器人的足底部添加一块较大的地面并添加固定副，然后删除在 transporter 上的固定副，如图 6 所示。

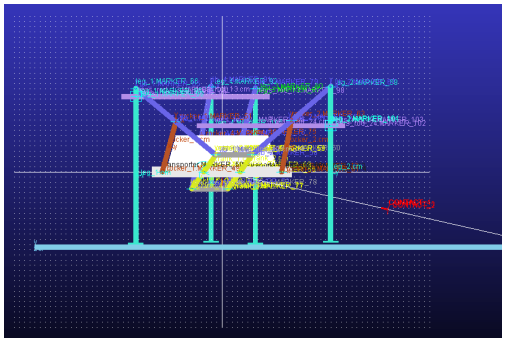

图 6 ADAMS 环境下的四足机器人模型和地面

由于实体接触运动需要有接触力即摩擦力才能实现运动，由可知，需要添加静摩擦系数和重力加速度。设定构件的密度，并根据体积自动求出质量。同样在曲柄上添加一个驱动电机，并设定以 60 deg/s 的驱动使曲柄匀速转动，设定好仿真时间为 24s，步数为 500。选取 leg_2 上的一点做出它的运动轨迹。测出腿部的加速度如图 7 所示，并做分析对比。

从图 7 中可看出四足机器人的腿部速度基本呈现周期性的变化，与在理论悬空中运动的图 5 对比，在 2.9s 和 5.9s 的时候速度突然极具增加，这是由于机器人自身的重力对对侧的腿和该腿产生的重力加速度，对地面产生碰撞所引起的速度和加速度的突变。对机器人的行走影响不大，但对机构会产生较大的冲击振动，可在腿部加吸振缓存的装置减小该弊端。

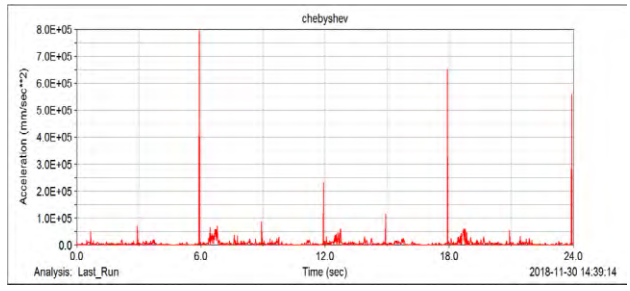

图 7 实际接触地面时腿部的加速度

选取机架 transporter 的质心做出其此次仿真的运动轨迹，并测量出质心的加速度、角速度，处理完后的图像如图 8 所示 ，并做图像分析对比。从图 8 中可看出四足机器人的机架速度和加速度同样基本呈现周期性的变化，在 1.924 ~ 3.081s 之间发生了较大的速度和加速度的突变，在 3.081s ~ 4.865s 时机架的速度和加速度变化不大，运行较为平稳，速度平均为 44.56mm/s，加速度平均为 56.32mm/s^2。同样引起该机构的速度和加速度突变的原因也是机器人整体的重力加速度和对地面的刚性冲击振动。在机器人运载物品时会有冲击振动，但总体来说能够较为平稳的运送。

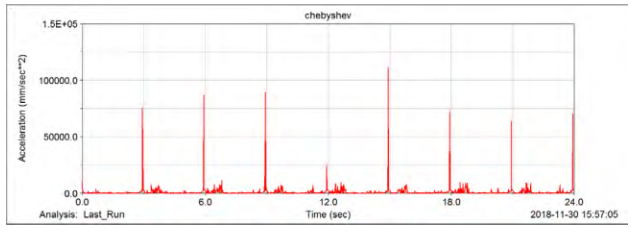

图 8 实际接触地面时机架的加速度

投稿邮箱 | cadcam@idnovo.com.cn
IMCHINA@idnovo.com.cn

五、分析结果

由两次在不同的运动仿真中的对比，在理论情况下契贝谢夫机构所组成的四足机器人能够实现近似动物迈步的运动，迈步平稳，速度、加速度、角速度和角加速度都呈现有规律的周期性变化。而在实际接触地面的运动仿真中，由于机械结构的刚性、重力和接触碰撞，不能像动物般通过自身的柔性和重心的调节来消除该四足机器人做直线运动时的速度、加速度、角速度和角加速度的突变。

六、结论

本文使用了三维建模软件 SolidWorks 对运用契贝谢夫机构的四足机器人进行了建模，减少了在 ADAMS 中的直接建立虚拟样机模型的工作量。并用动力学仿真软件 ADAMS，通过对模型的导入，添加约束和驱动，模拟仿真了四足机器人在理论悬空时和实际接触地面时的两种不同的运动情况。并绘制出其在这两种不同情况下的运动轨迹、加速度曲线，并通过对比分析，发现实际接触地面时图像的突变，并分析原因提出减小突变的方法。从而证明了在地面行走的可行性。也证实了利用 ADAMS 使得运动仿真可视化强、数据精确，可有效地对产品进行设计分析。

参考文献

郭浩 . 仿真技术在机械设计制造过程中的应用［J］工业技术 ,2017,36:59-60

张习强 , 张庆 . 含间隙机构的动力学仿真与分析 [J]. 机械制造与自动化 ,2014,43(01):121-123.

田浩 , 寇伟 , 白争锋 . 间隙对平面机构运动特性的影响分析 [J]. 机械设计与制造 ,2010(02):17-18.

何亚银 . 基于虚拟样机仿真的机构动平衡研究 [D]. 西北工业大学 ,2006.

肖晓萍 , 李自胜 . 契贝谢夫四连杆机构的优化设计与应用［J］, 机械设计与制造 ,2011,9:63-65.

《智能制造》杂志征稿通知

一、征文范围

1. 数字化设计与制造
2. 智能设计理论、方法及系统
3. 自动化与现代制造系统
4. 机器人技术及应用
5. 虚拟设计与虚拟样机
6. 网络化控制与制造技术
7. 绿色设计与绿色制造中的智能技术
8. 智能加工、智能检测与控制
9. 数字企业与数字化工厂
10. 制造系统建模、运行、控制、优化与调度
11. 先进制造模式与战略
12. 制造信息与知识处理
13. 数控技术与数字化装备
14. 现场总线与无线传感网技术

注：以上内容范畴供参考，围绕智能制造全领域，具体题目请自拟。

二、论文遴选、刊录出版和基本要求

1.《智能制造》编辑部组织编委会有关专家，对投稿进行审查、遴选，择优刊登。审查遴选期限为自编辑部收到稿件后的三个月。对于刊登的论文，编辑部提供正式录用通知。

2. 论文内容必须是作者未正式发表过的研究成果，论文主题与智能制造相关，投稿作者须恪守学术道德规范，文责自负，严禁一稿多投及中途撤稿。论文字数 4000 ～ 7000 字。

3. 论文应包括以下项目：论文题目；作者简介（200 字以内，包括姓名、工作单位、通信地址、电话、手机、电子信箱等）；中文摘要、关键词、标题和正文、参考文献。

编辑部投稿联系方式

联系人：张友苹

联系电话：010-68993880-293

邮箱：imchina@idnovo.com.cn