

一种移动机器人机构的建模和仿真研究

李荣华, 褚金奎, 李庆瀛, 王洪青

LI Rong-hua, CHU Jin-kui, LI Qing-ying, WANG Hong-qing

1.大连理工大学 精密与特种加工教育部重点实验室, 辽宁 大连 116023

2.辽宁省微纳米技术及系统重点实验室, 辽宁 大连 116023

1.Key Laboratory for Precision and Non-traditional Machining Technology of Ministry of Education, Dalian University of Technology, Dalian, Liaoning 116023, China

2.Key Laboratory for Micro/Nano Technology and System of Liaoning Province, Dalian, Liaoning 116023, China

E-mail: lironghua705@163.com

LI Rong-hua, CHU Jin-kui, LI Qing-ying, et al. Research on model and simulation for mobile robot mechanism. *Computer Engineering and Applications*, 2008, 44(28): 208-210.

Abstract: The application of the virtual prototype technology can create the virtual model and make the dynamic simulation for a mobile robot mechanism. An improving 3D mechanism model of the mobile robot is created using SOLIDWORKS and the modularization design method is adopted. The dynamic simulation for two levels shock absorber in the robot mechanism is made using ADAMS and the effect compares with the simulation effect of one level shock absorber before improving. The result shows that two levels shock absorber can solve the question of the joint between four wheels of the mobile robot and the ground at any moment more effectively than one level shock absorber and has better shock absorption effect, therefore makes the robot's movement capability and adaptability on the environment more optimistic.

Key words: mobile robot; virtual prototype; virtual model; dynamic simulation

摘要:应用虚拟样机技术对移动机器人机构进行虚拟建模和动态仿真。运用 SOLIDWORKS 软件, 采用模块化的设计方法, 建立了移动机器人改进后的三维机构模型; 运用虚拟样机仿真软件 ADAMS 针对改进后的二级减震机构进行动态仿真, 并与改进前的一级减震机构仿真效果进行比较, 结果表明二级减震机构比一级减震机构能够更加有效地解决四轮移动机器人轮胎与路面随时贴合问题, 并具有很好的减震效果, 增强了机器人的运动性能和环境适应能力。

关键词:移动机器人; 虚拟样机; 虚拟建模; 动态仿真

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2008.28.068 文章编号: 1002-8331(2008)28-0208-03 文献标识码: A 中图分类号: TP242.6

1 引言

虚拟样机技术涉及多体系统运动学与动力学建模理论及其技术实现, 是先进建模技术、多领域仿真技术、信息管理技术、交互式用户界面技术和虚拟现实技术的综合应用。ADAMS 是一种虚拟样机仿真软件, 它的应用范围非常广泛, 贾长治等人首先将 ADAMS 引入故障评估研究^[1], 并在国防武器装备中得到应用^[2-4]; 文献[3-4]是 ADAMS 在航空航天中的应用。但 ADAMS 中的三维造型工具比较简单, 因此在复杂零部件的造型和装配时, 需要利用建模软件辅助建模。文献[5]在 CATIA 中建立了起落架的数字样机模型, 然后利用 ADAMS 虚拟样机软件对某型小车式起落架进行仿真分析; 李团结等则使用 UG NX 进行建模, 研究了一种具有稳定平台的、非完整的全向滚动球

形机器人的虚拟样机建模和运动仿真^[6]; 文献[7]是在 ATV 提供的模型库的基础上, 建立了某车辆的多体系统动力学模型。

尚建忠等论述的月球车属于轮式移动机器人^[8], 性能较好, 但机构相对复杂; 一般轮式机器人采用两个主动轮和一个随动轮的驱动方式, 这种机构的缺点是车体前后不对称, 环境的适应能力较差; 如果采用左右驱动轮和前后随动轮的机构, 就会使性能得到改善, 但是带来的问题就是轮胎与地面随时贴合问题。针对上述问题曾设计了一种车架一级减震机构, 但该机构在驱动轮被抬高时车体稳定性能很差。本文应用虚拟样机技术在原有机器的基础上设计了一种改进的车架二级减震系统, 并综合功能性、可操作性、外观等方面设计了一套完整的轮式移动机器人机构。

基金项目:国家自然科学基金(the National Natural Science Foundation of China under Grant No.50775017); 国家重点基础研究发展规划(973)(the National Grand Fundamental Research 973 Program of China under Grant No.2006CB300407)。

作者简介:李荣华(1983-), 男, 博士研究生, 研究方向为计算机仿真、机器人视觉; 褚金奎(1965-), 男, 博士生导师, 研究方向为微机械电子系统、微能源、智能机器人及微机器人; 李庆瀛(1986-), 男, 硕士研究生, 研究方向为智能机器人的研究; 王洪青(1985-), 男, 硕士研究生, 研究方向为智能仪器控制方向。

收稿日期:2007-11-19 **修回日期:**2008-03-11

本文首先基于SOLIDWORKS软件进行虚拟建模, 采用模块化设计方法, 模拟和预估所设计机构的外观、可装配性及可加工性等方面可能存在的问题, 减少样机的试生产过程; 然后通过ADAMS与SOLIDWORKS软件的接口模块产生中性文件, 将由SOLIDWORKS软件产生的零部件模型转换到ADAMS中进行虚拟动态仿真分析, 得到一组最佳系统参数。改进后的二级减震机构与改进前的一级减震机构仿真结果进行比较, 结果表明二级减震机构比一级减震机构能够更加有效地解决四轮移动机器人轮胎与路面随时贴合问题, 并具有很好的减震效果, 增强了机器人的运动性能和环境适应能力。

2 基于SOLIDWORKS的虚拟建模

机器人系统在采用一级减震机构时, 可整体旋转的两随动轮之间由一根拉伸弹簧弹性连接, 可以根据路况调整随动轮的高度; 但传动层和下位机层为刚性连接, 驱动轮的高度无法调整, 环境适应能力较差。

本文在原有减震机构的基础上进行改进设计。可整体旋转的两随动轮之间由一根拉伸弹簧弹性连接, 该机构为第一级减震, 与改进前的机构相同; 下位机层和传动层之间通过压缩弹簧进行弹性连接, 压缩弹簧安装在压缩弹簧套筒内, 该机构为第二级减震, 这是对机构的重要改进, 机构简图如图1所示。根据路况, 下位机层和传动层间的距离可在一定范围内调整, 同时随动轮可以整体自适应旋转, 通过这两种减震方式互相配合来调整四轮的高度, 使轮胎与路面很好地贴合, 并缓冲路况对机器人车体造成的冲击。

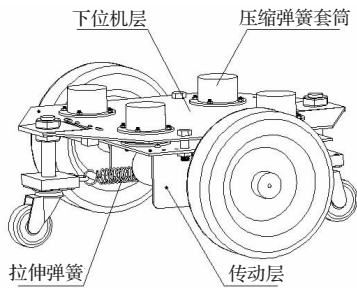


图1 二级减震机构简图

以二级减震机构为平台, 基于SOLIDWORKS软件, 综合功能性、可操作性、外观等方面设计了一套完整的轮式移动机器人机构。整体可分成独立的三部分, 即传动层、下位机层、上位机层, 如图2所示。传动层包括驱动电机和传动机构; 下位机层为车身主体部分, 采用八面形设计, 使外型更加协调, 便于传感器安装, 增加了避障传感器探测方向, 其中包括电池安装空间、

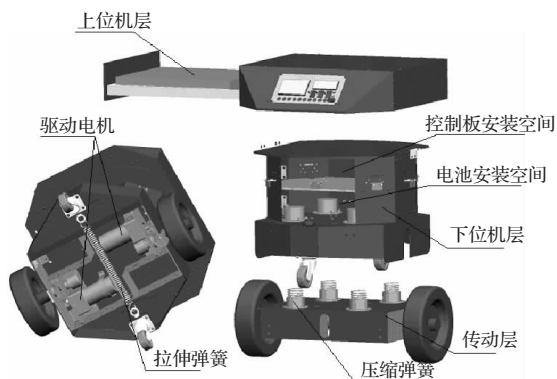


图2 机器人机构分解图

下位机控制板安装空间, 预留避障传感器安装位置, 通过SOLIDWORKS软件设置零件透明度, 在图2中可以看到车体内部的电池安装空间和控制板安装空间; 侧拉式上位机层使操作更加方便, 而且顶部位置可以用来安装其它一些必要的传感器设备, 节约了机器人空间; 控制面板安装在上位机层上, 使操作更加人性化。

3 基于ADAMS的动态仿真

ADAMS/View提供的模型数据交换接口有Parasolid、STEP、IGES、SAT、DXF和DWG等格式, 由于三维建模是在SOLIDWORKS软件中完成的, 将其保存为Parasolid格式的文件, 然后利用ADAMS提供的CAD模型数据接口, 直接导入该模型, 即完成了仿真系统模型的创建。

基于ADAMS软件对上一章介绍的二级减震机构进行动态仿真, 得到一组最佳系统参数, 并与改进前的一级减震结构仿真效果进行比较。

3.1 运动约束和驱动力矩的添加

根据机器人的实际运行环境设置机器人的各种约束信息, 包括电机输出轴与电机齿轮之间的旋转副、减速传动系统的齿轮副、随动轮与车架之间的旋转副、以及车轮与地面之间的接触等。选择Coulomb(库仑法)确定滑动摩擦系数, 根据该方法, 仿真系统中所设置的摩擦力各参数如表1所示。

表1 摩擦力参数表

静态系数 μ_s	动态系数 μ_d	静滑移速度 $v_s/(mm/s)$	动滑移速度 $v_d/(mm/s)$
0.8	0.5	100	1000

二级减震机构中的压缩弹簧和拉伸弹簧均为线性弹簧阻尼器, 系统线性弹簧阻尼器作用在有一定距离的两个部件上。选择第1个部件为作用部件, 第2个部件为反作用部件, 施加在两个部件上的力分别为作用力和反作用力, 两者大小相等, 方向相反。线性弹簧阻尼器的力学模型如图3所示。

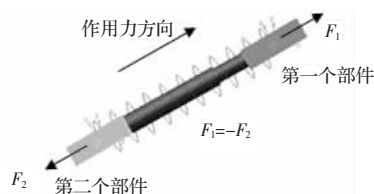


图3 线性弹簧阻尼器力学模型

ADAMS/Solver通过下式计算弹簧力 F :

$$F = -C \cdot \frac{dR}{dt} - K(R - R_0) + F_0 \quad (1)$$

式(1)中: C 为粘滞阻尼系数; K 为弹簧刚性系数; R 为弹簧两端的相对位移; dR/dt 为弹簧两端的相对速度; R_0 为弹簧两端的初始相对位移; F_0 为弹簧的预作用力。

3.2 动态仿真结果分析

从式(1)可以看出, 当 $C=0$ 时, 弹簧阻尼器变为一个没有阻尼的纯弹簧; 当 $K=0$ 时, 弹簧阻尼器变为一个纯阻尼器。本系统仿真的减震弹簧认为是没有阻尼的纯弹簧($C=0$), 通过仿真, 得到弹簧的一组最佳弹性系数 K 列于表2。

确定机器人的电机功率。根据机器人的设计要求, 驱动极限为以 1 m/s 的速度爬 20° 的陡坡。首先在电机输出轴与电机齿轮的旋转副上添加旋转驱动, 设置驱动速度值 1 m/s , 环境为

表2 弹簧参数表

	弹性系数 $K/(N/mm)$	预紧力 F_0/N
拉伸弹簧	1.2	120
压缩弹簧	5	40

20°的陡坡。仿真完毕后,在后处理模块中得到此时驱动轮所需的功率为 99.58 W,该功率作为电机选择的依据。

在相同路面环境下,比较二级减震机构和一级减震机构的运动效果。图 4、图 5 分别为改进前一级减震机器人和改进后的二级减震机器人在爬 12°斜坡时 4 个车轮轴的轨迹曲线和路面模型曲线。在图 4、图 5 中,“—”表示路面模型曲线,“○”表示前方随动轮轮轴的轨迹曲线,“×”表示后方随动轮轮轴的轨迹曲线,“-----”表示左右驱动轮轮轴的轨迹曲线。

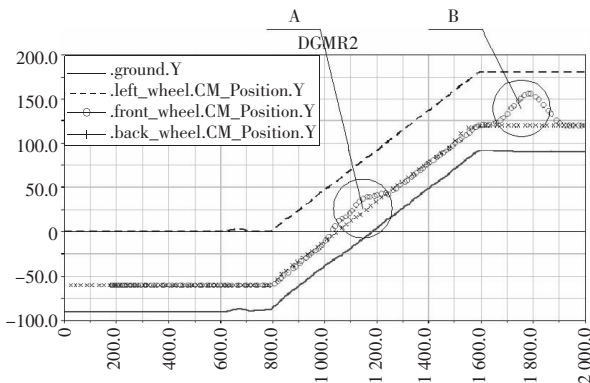


图4 改进前爬坡状态下车轮轴的轨迹曲线和路面模型曲线

从图中可以看出,改进前的机构运动轨迹在 A、B 两处波动较大,而改进后的机构运动轨迹在 C、D 两处波动很小。曲线表明,在路面模型曲线为纯折线的环境突变情况下,二级减震机构比一级减震机构能够更加有效地解决四轮移动机器人轮胎与路面随时贴合问题,增强了机器人的环境适应能力。

4 结论

本文针对一种新型机器人机构进行虚拟建模和动态仿真,得到以下结论:

(1)基于 SOLIDWORKS 软件进行虚拟建模,采用模块化的设计方法,使机器人满足外形美观、便于拆卸的要求;

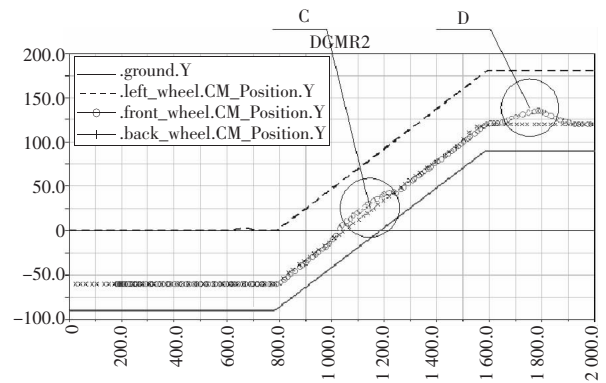


图5 改进后爬坡状态下车轮轴的轨迹曲线和路面模型曲线

(2)基于 ADAMS 软件针对改进后的二级减震机构进行动态仿真,得到一组弹性系数 K 的最佳值和机器人的驱动功率;

(3)仿真结果表明,二级减震机构比一级减震机构能够更加有效地解决四轮移动机器人轮胎与路面随时贴合问题,并具有很好的减震效果,增强了机器人的运动性能和环境适应能力。该机构结构简单,性能可靠。

参考文献:

- 贾长治,王兴贵,解璞,等.基于 ADAMS 的装备故障仿真及评估研究[J].系统仿真学报,2001,13(6):781-784.
- 杜中华,王兴贵,马吉胜.基于虚拟样机技术的某型火炮开门过程动力学特性研究[J].机械工程学报,2004,40(6):123-126.
- 尚建忠,罗自荣,张新访.两种轮式月球车悬架方案及其虚拟样机仿真[J].中国机械工程,2006,17(1):49-51.
- 何柏岩,王树新.航天器帆板展开过程动力学建模与仿真[J].计算机辅助设计与图形学学报,2006,18(2):319-323.
- 侯赤,万小朋,赵美英.基于 ADAMS 的小车式起落架仿真分析技术研究[J].系统仿真学报,2007,19(4):909-913.
- 李团结,朱超.基于虚拟样机技术的球形机器人运动仿真研究[J].系统仿真学报,2006,18(4):1026-1029.
- 尹华兵,范华春,魏来生.基于虚拟样机技术的某车辆性能仿真研究[J].系统仿真学报,2004,16(10):2289-2292.
- Järviuoma M, Kortelainen J. ADAMS/simulink simulation of active damping of a heavy roller, Research Report No BTUO57-031129[R]. Finland: VTT (Technical Research Centre of Finland), 2003:3-31.
- 周红仁,敬忠良.机目标跟踪[M].北京:国防工业出版社,1991:50-70.
- Fishler MA, Bolles RC. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography[J]. Communications of the ACM, 1981, 24(6):381-395.
- Wu FC, Hu ZY. A study on the P5P problem[J]. Journal of Software, 2001, 12(5):768-775.
- Hu ZY, Lei C, Wu FC. A short note on P4P problem[J]. Chinese Journal of Automation, 2001, 27(6):770-776.
- Hu ZY, Wu FC. A note on the number of solutions of the non-coplanar P4P problem[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(4):550-555.
- Haralick RM, Lee C-N, Ottenberg K, et al. Analysis and solution of the three point perspective pose estimation problem[C]. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Hawaii, 1991:592-598.

(上接 207 页)

参考文献:

- 黄玉明.目标飞行器位置姿态的光学测量[J].宇航学报,1993,14(1):97-103.
- 林来兴,李灿.交会对接逼近阶段 CCD 相机的测量方法[J].宇航学报,1994,15(2):24-34.
- 费蔚春.飞行器交会对接相对位置和姿态的估计方法[J].系统工程与电子技术,2004,26(9).
- 王保丰,李广云,于志坚,等.飞行器自主交会对接逼近阶段单台 CCD 测量方法研究[J].宇航学报,2007,28(1).
- 朱仁璋,林彦.航天器交会最终逼近段相对姿态估计与控制[J].北京航空航天大学学报,2007,33(5).
- 张志勇,张靖,朱大勇.一种基于视觉成像的快速收敛的位姿测量算法及实验研究[J].航空学报,2007,28(4).
- 郝颖明,朱枫,欧锦军,等.目标位姿测量中的三维视觉方法[J].中国图象图形学报,2002,7A(12).