

履带式机器人承重减震装置的优化设计

司世才¹, 罗庆生², 葛卓², 李欢飞¹

(1. 北京理工大学机械与车辆学院, 北京 100081; 2. 北京理工大学机电学院, 北京 100081)

摘要: 为了提高履带式机器人在崎岖地面行驶时的平稳性和机动性, 设计了一种承重减震装置, 该装置对小幅高频震动和大幅低频震动都有明显的缓冲吸收效果。通过在 Adams 软件中的运动学和动力学仿真, 以装置上的弹簧最小弹力值为优化目标, 对该装置进行了优化设计, 提升了该装置的使用性能; 为了提高相关设计工作的效率, 以 AutoCAD2010 为依托平台, 利用 ObjectARX2010 对该装置所在子系统进行了二次开发, 采用模块化、参数化、智能化思想, 开发出人机交互友好、参数化驱动图形的相关图形生成库, 既提高了设计效率, 又便于将不同参数下的承重减震装置图形进行比较, 有助于设计者把握设计质量。

关键词: 缓冲吸收; 优化设计; 二次开发; 参数化驱动图形

Research on Design Optimization of Load-bearing Antivibration Device of Tracked Robot

Si Shicai¹, Luo Qingsheng², Ge Zhuo², Li Huanfei¹

(1. School of Mechanical and Vehicular Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2. School of Mechatronics Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: A kind of device which can bear loads and vibration is designed to improve the stability and flexibility of the performance of tracked robot on rugged ground. This device can effectively cushion and absorb low amplitude high-frequency vibration and high amplitude low-frequency vibration. The performance of the device is improved by kinematics and dynamics simulation using Adams, putting minimum elastic force of the spring as the target of optimization. Using AutoCAD2010 as the platform, a secondary development of the subsystem of the set is carried out by the application of ObjectARX2010 to improve the efficiency of the design. A parameter-driven generation library of related graphics with good HCI is developed under the guidance of modularization, parameterization and intellectualization. It contributes to the improvement of design efficiency and the compare of the device graphics under different parameters, which helps the designer guarantee the quality of the design.

Keywords: cushion and absorb; design optimization; secondary development; parameter-driven graphics

0 引言

履带式机器人是一种可在复杂地形条件下执行不同工作使命的机器人。由于履带行走装置对路面单位面积压力小, 附着性能好, 具有良好的稳定性和通过性能, 因而该类型机器人在抢险救灾、军事侦察及反恐防暴等领域有着广泛的应用^[1]。

在面对崎岖复杂的地形地貌时, 履带式机器人在行走过程中受到的地面冲击力较大, 为了提高履带式机器人的稳定性和通过性能, 针对该机器人的运动特点, 笔者设计了一种新型承重减震装置, 在对其工作原理、功能结构、运动特点进行详尽阐述的基础上, 建立其动力学模型, 并利用 Adams 软件对该模型进行仿真分析^[2-3]。仿真结果表明, 该承重减震装置可以大幅度吸收履带式机器人在崎岖地面行驶时的震动和冲击, 提高其稳定性和通过性能。笔者还以装置上的弹簧最小弹力值为优化目标, 对该承重减震装置进行了优化设计, 得出了最优解, 并进而改进了装置的结构布局和减震性能, 提升了其设

计水平。由于在履带式机器人物理样机加工之前, 其零件的形状与尺寸会随着优化设计的进行而需做出改变, 按传统设计模式则需多次修改零件加工图纸, 导致设计效率大为降低。为解决该问题, 笔者以 AutoCAD2010 为依托平台, 使用 VS2010 平台的 C++ 语言编写软件, 利用 ObjectARX2010 对该承重减震装置进行二次开发, 生成相关的参数化驱动图形, 设计者只需在人机交互界面输入相关零件的主要尺寸参数, 便可在 AutoCAD 里得到相应尺寸的工程图形, 大大提高了设计效率, 且便于将最优尺寸下的零件图形和其他尺寸下的零件图形进行直观比较, 有助于设计者把握设计质量。

1 履带式机器人及其承重减震装置

1.1 履带式机器人简介

履带式机器人是一种新型多用途反恐防暴机器人, 它可对人口密集的场所或交通枢纽、信息中心、政府机关等关键场所进行安全保卫和事态防范工作。该机器人长 1.25 m, 宽 0.8 m, 高 0.65 m, 自重 120 kg, 可携带有效载荷 150 kg, 巡航速度为 120 m/min, 最大速度为 180 m/min, 可在草地、沙滩等复杂路面上行走, 攀爬 40° 斜坡, 翻越 30 cm 高障碍。车载无线通讯系统可保障在 3 000 m 范围内进行无线图像信号的可靠传输和运动控制信号的有效传递。

1.2 履带式机器人承重减震装置结构简介

新型反恐防暴机器人的承重减震装置具有承重能力强, 减

收稿日期: 2014-02-10; 修回日期: 2014-04-10。

基金项目: 国家“十二五”预研项目。

作者简介: 司世才(1989-), 男, 山东省单县人, 硕士研究生, 主要从事机器人结构设计、仿真分析、参数优化方向的研究。

罗庆生(1956-), 男, 教授, 博士研究生导师, 主要从事特种机器人技术、机电一体化技术方向的研究。

震效果好, 性价比高等优势。其机械式悬挂系统由 4 个“X”摆臂组件、1 个“V”摆臂组件、弹簧等零件构成。其承重功能由“X”和“V”摆臂上安装的弹簧系统来实现。通过杠杆增力原理, 将摆臂上水平放置的弹簧的弹性力成倍放大, 以提高其主体承重能力和部分减震能力; 通过弹簧变形、“X”和“V”摆臂的摆动可实现多重减震; 该装置利用“X”摆臂将垂直方向的小幅高频颠簸震动转换到水平方向, 并由水平对置的弹簧吸收, 利用“V”摆臂结构特性缓冲吸收大幅低频震动, 对行进中的机器人有非常明显的减震效果。

在该承重减震装置各相关零部件的设计中, 笔者充分考虑了机械限位以提高可靠性及对称化、可替换设计, 将小的功能组件模块化, 方便零件的替换使用和后续的快速维护。该装置与机器人的底部平台连接简单、性能可靠, 可作为一个功能模块快速拆装, 且体积小巧、原理简单、成本低廉, 可广泛用于中小型履带式机器人。

2 承重减震装置的运动学动力学仿真

为了了解并改善新型反恐防暴机器人的运动学、动力学特性, 笔者运用 Adams 软件对该承重减震装置进行了运动学、动力学仿真分析, 主要是模拟其在实际中遇到的压力和地面接触力等情况, 将物理模型在 Solidworks 中创建完成, 然后导入到 Adams 软件中, 在经过简化处理、添加约束、添加接触力等步骤后, 进行仿真模拟并运用 Adams 中的后期处理 (Postprocess) 模块得到指定零部件的特性曲线, 进而进行结果分析, 验证模型的合理性和稳定性。

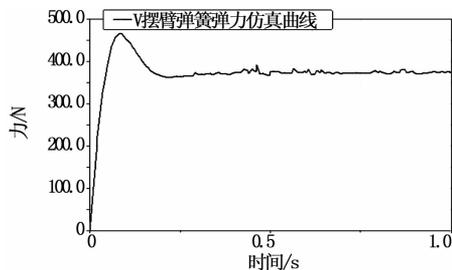


图 1 “V”摆臂弹簧弹力变化示意图

在自身重力下对该装置进行运动学仿真, 仿真结果如下:

(1) “V”摆臂弹簧弹力变化如图 1 所示。

由图 1 可知“V”摆臂弹簧弹力在 0.14 s 时达到最大, 最后趋于平稳, 说明弹簧在平稳后变形达到一个定值。

(2) “X”摆臂弹簧弹力变化如图 2 所示。

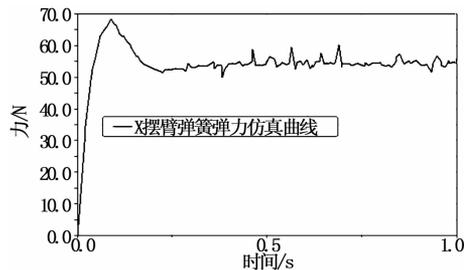


图 2 “X”摆臂弹簧弹力变化示意图

由图 2 可知, 与“V”摆臂弹簧弹力变化相同, “X”摆臂弹簧在 0.14 s 时形变程度达到最大, 此时弹簧弹力最大, 最后趋于平稳, 达到一定值。

通过仿真结果可以看到弹簧产生一定变形, 吸收了一部分外界载荷, 承重架 Y 轴的速度和加速度都趋于 0, 证明该承重减震装置具有良好的自我减震效果。

3 承重减震装置的优化设计

针对该承重减震装置的工作特性, 笔者提出了以该装置在工作时弹簧最小弹力值为主要设计目标, 利用 Adams 进行优化计算, 从而得到效率更高的承重减震装置, 即在设计范围内, 改变“X”摆臂、“V”摆臂、承重轮等零部件的位置关系, 通过 Adams 来获取最终稳定后弹簧的最小弹力值。

3.1 承重减震装置的模型简化

由于优化分析是针对承重减震装置各个部件的整体分析, 为了方便优化工作, 笔者对承重减震装置的模型进行了简化。

该承重减震装置的左右两侧各有两对“X”摆臂, 这两对“X”摆臂是关于 X 轴对称的部件, 为了简化叙述, 笔者以单边“X”摆臂的优化处理为例进行说明。这样, “V”摆臂弹簧的弹性系数便要设定为初始条件的二分之一, 即 25 N/mm, 当然“X”摆臂弹簧的弹性系数仍为 18 N/mm。

3.2 设定变量

要对简化后的模型进行优化分析, 首先要设计变量, 然后用所设计的变量替换模型中各点的坐标。

根据该承重减震装置的特点, 筛选出 5 个影响优化目标的特征点, 如图 3 所示, 因此可以设定 8 个变量, 分别去替换 5 个特征点的横、纵坐标, 如表 1 所示。5 个特征点的初始坐标为: $POINT_1(-180, 0, 0)$ 、 $POINT_2(-70, 0, 0)$ 、 $POINT_3(-125, 45, 0)$ 、 $POINT_4(-155, 110, 0)$ 和 $POINT_5(-95, 110, 0)$ 。

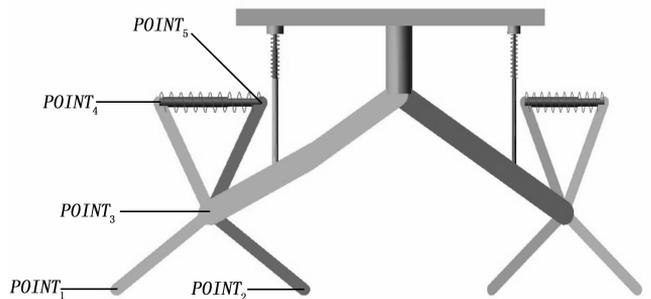


图 3 简化模型特征点

表 1 各点坐标对应变量

	X 坐标	Y 坐标
$POINT_1$	DV_1	DV_3
$POINT_2$	DV_2	DV_3
$POINT_3$	DV_4	DV_5
$POINT_4$	DV_6	DV_8
$POINT_5$	DV_7	DV_8

3.3 各变量对弹簧弹力的灵敏度

灵敏度是指变量对结果的影响程度, 灵敏度越大, 说明变量的改变对结果的影响程度越大。此次优化设定了 8 个变量, 为了观察每个变量对弹簧弹力的灵敏度, 需要进行 8 次仿真, 每次仿真保持 7 个变量的初始值不变, 剩下的一个变量取一定范围内的系列值, 这样便能得到每个变量对弹簧弹力的灵敏度。

仿真结束后 8 个变量对“X”摆臂、“V”摆臂弹簧弹力的灵敏度分别如表 2 和表 3 所示。

表 2 变量对“X”摆臂弹簧弹力的灵敏度一览表

变量	灵敏度	变量	灵敏度
DV_1	0.511 0	DV_5	0.941 7
DV_2	0.511 0	DV_6	0.010 5
DV_3	0.141 4	DV_7	0.010 5
DV_4	0.207 3	DV_8	0.911 9

表 3 变量对 V 摆臂弹簧弹力的灵敏度一览表

变量	灵敏度	变量	灵敏度
DV_1	0.006 5	DV_5	0.063 7
DV_2	0.006 5	DV_6	0.000 1
DV_3	0.273 0	DV_7	0.000 1
DV_4	0.853 8	DV_8	0.012 3

由表 2 可以看出, DV_5 (POINT₃ 点纵坐标)、DV_8 (POINT₄、POINT₅ 点纵坐标) 对“X”摆臂弹簧的影响较大。由表 3 可以看出, DV_3 (POINT₁、POINT₂ 点纵坐标) 与 DV_4 (POINT₃ 点横坐标) 对“V”摆臂弹簧的影响较大。

3.4 综合优化

在得知所列变量对弹簧弹力的影响大小之后, 对弹簧进行综合优化, 得出优化方案。

(1) 对“X”摆臂弹簧的综合优化

对于“X”摆臂弹簧, 通过表 2 可知, DV_5 与 DV_8 对弹簧影响程度最大, 故综合优化时将 DV_5 与 DV_8 同时选入优化参数, 同时赋予两个变量一定范围内的系列值进行优化计算, 并将目标设定为求解最小值。优化结果如图 4 所示。

通过图 4 (b) 可以看到, 当变量 DV_5 取 37, DV_8 取 140 时, “X”摆臂弹簧的弹力可达到较小值, 当 DV_8 取 140.03 时, 弹簧弹力会继续减小, 但是由于承重减震装置设计要求, 当 DV_8 取值大于 140 mm 时, 承重架与“X”摆臂会发生碰撞, 故 DV_8 限定范围在 140 内, 在此范围内, 取 140 时弹簧弹力达到最小值。

(2) 对“V”摆臂弹簧的综合优化

对于“V”摆臂弹簧, 通过表 3 可知, DV_3 与 DV_4 对弹簧的影响程度最大, 故综合优化时将 DV_3 与 DV_4 同时选入优化参数, 同时赋予两个变量一定范围内的系列值进行优化计算, 并将目标设定为求解最小值。优化结果如图 5 所示。

通过图 5 (b) 可以看到, 当变量 DV_3 取 -30, DV_4 取 -115 时, “V”摆臂弹簧的弹力会达到较小值, 当 DV_4 取 -114.99 时, 弹簧弹力会继续减小, 但是由于承重减震装置的设计要求, 当 DV_4 取值大于 -115 时, 两个“X”摆臂不符合动力学规律, 故 DV_4 限定范围在 -115 内, 在此范围内, 取 -115 时弹簧弹力达到最小值。

综合优化结果: 当 DV_3 取 -30, DV_4 取 -115, DV_5 取 37, DV_8 取 140, 其余变量取初始值时, 可使得“X”

摆臂、“V”摆臂弹簧弹力达到最小值。

4 参数化驱动图形的实现

在对承重减震装置进行优化以后, 得出最优参数, 笔者以 AutoCAD2010 为依托平台, 使用 C++ 语言编写软件, 利用 ObjectARX2010 对该承重减震装置所在的子系统进行二次开发, 可实现参数化驱动承重减震装置二维图形的生成, 从而大大提高了设计效率。

除了可以在 Autocad 里使用命令行来调出图形, 笔者还开发出人机交互更方便的交互式菜单栏。ObjectARX 提供了一组专用于菜单栏编辑的类, 基于这些类可以自定义 AutoCAD 的屏幕菜单 (Screen Menu)、下拉菜单 (Popup Menu)。同时, ObjectARX 也提供了一组基于 MFC 的类, 使用这些类开发出了便于设计者输入尺寸参数的对话框。

所谓参数化驱动图形的生成, 就是设计者可以自己输入图形的某几个主要的线条尺寸, 再由这些已知尺寸的线条去驱动

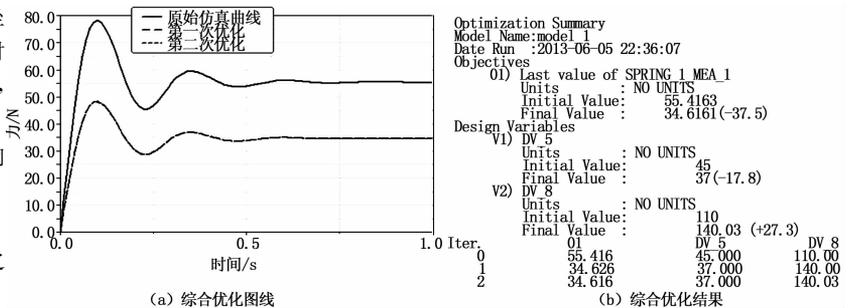


图 4 “X”摆臂弹簧综合优化效果图

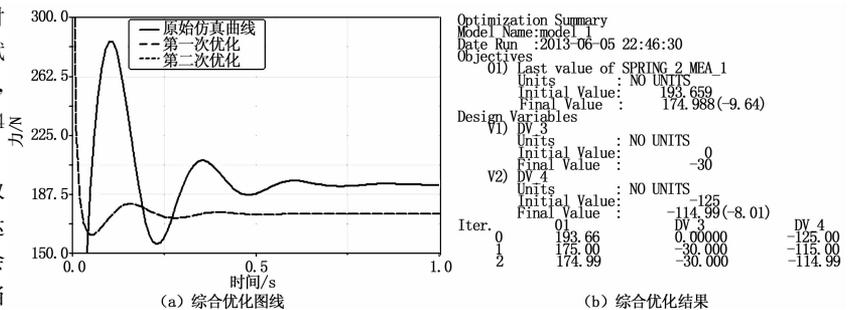


图 5 “V”摆臂弹簧的综合优化效果图

其他线条的生成, 从而得到整个图形。通过对该承重减震装置的优化分析, 得到了 5 个点的最优坐标, 实际上是得到了点和点之间距离的最优值, 即得到了该承重减震装置几个零件的最优尺寸, 设计者通过输入这些尺寸值, 就可以得到符合最优设计的二维工程图形。

在 AutoCAD2010 里加载本应用程序后, 在工具栏上会出现一个新的菜单栏: 承重减震装置菜单栏, 用户可以在 Autocad 的命令行输入承重减震装置调出图形, 也可以单击承重减震装置菜单栏调出图形。以菜单栏为例, 单击承重减震装置菜单栏后, 可以看到有 3 个下拉菜单, 分别是承重减震装置正视图、俯视图、左视图。以正视图为例, 单击正视图后, 会出现承重减震装置正视图的对话框, 对话框包括装置正视图的预览和等待用户输入尺寸数值的编辑栏, 本文选定了 3 个主要尺寸

(下转第 2202 页)

入第一层次, Test04 的低请求数, 高 CPU 利用率需求较低, 被划入第四层次。可知分层调度可以根据客户端情况合理分配资源, 在保证客户端得到良好服务的基础之上, 保证服务高效性。

为验证基于节点监控的调度系统优于常规排队调度系统, 设计实验, 以 1 h 内的服务器平均 CPU 利用率和服务器传输的数据量作为指标, 衡量常规排队、无监控调度以及监控调度三种调度模式的工作效率, 其中无监控调度模式, 单纯根据客户端请求数来进行资源分配。

表 2 结果表明, 对客户端内核运行情况的监视结合分层算法相对于无监控的调度模式以及常规排队模式可有效提高云模拟服务器的系统利用率提高, 降低资源的闲置, 提高云平台的服务能力。

表 2 服务器在不同调度模式下利用情况

模式	服务器 CPU 平均利用率(%)
常规排队模式	24
无监控调度模式	32
监控调度模式	72

通过表 3 的数据可以清晰看出, 监控调度模式有效提升服务器的服务效率, 1 h 内服务器数据传输量达到 6.8 GB, 远高于无监控调度模式与常规排队模式。

表 3 不同调度模式接收服务数据量

模式	服务数据量(GB)
常规排队模式	2.1
无监控调度模式	3.3
监控调度模式	6.8

(上接第 2198 页)

去驱动图形, 用户输入尺寸后, 单击确定, 便可以在 Autocad 里得到承重减震装置的正视图, 如图 6 所示。

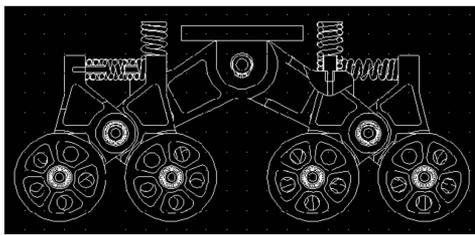


图 6 承重减震装置正视图

5 结语

为了使新型反恐防暴机器人在各种复杂地形条件下都能够平稳行驶, 设计了一种承重减震装置, 通过在 Adams 中的仿真分析, 该承重减震装置对崎岖路面上的行驶震动有明显的缓冲吸收效果。为了提高摆臂弹簧的使用寿命, 以摆臂弹簧最小弹力值为最优目标, 笔者对承重减震装置进行了优化, 得到最优尺寸。笔者又以 AutoCAD2010 为依托平台, 使用 VS2010 平台的 C++ 语言编写软件, 利用 ObjectARX2010 对该承重减震装置所在的子系统进行了二次开发, 可实现参数化驱动图形。ObjectARX 与 MFC 对话框的结合, 使编写的软件留有友

通过对比试验, 监控调度模式在提升平台 CPU 利用率与平台服务数据传输效率上均高于传统的云调度算法, 证明了基于节点进程监控的云平台调度系统具有现实可行性。

5 结束语

本文设计并实现了基于 /proc 节点进程监控的云平台调度管理系统。最后模拟运行调度系统, 证实内核信息采集模块工作良好, 并与常规排队调度和无监控调度进行对比证实了监控调度系统可有效提高服务器的 CPU 平均利用率, 并在固定时间内提供更多的数据服务, 从而证明了基于节点进程监控的云平台调度系统具有现实可行性。

参考文献:

- [1] Sottile M, Minnich R. Supermon: a high-speed cluster monitoring system [A]. Proceedings of Cluster 2002 [C], 2002.
- [2] 段琳琳. 共享平台数据属性重合下的 LDAP 多身份认证 [J]. 科技通报, 2013, 8: 91-93.
- [3] Laadan O, Baratto R A, Phung D B, et al. DejaView: A Personal Virtual Computer Recorder [C], 2007.
- [4] 怀进鹏, 李沁, 胡春明. 基于虚拟机的虚拟计算环境研究与设计 [J]. 软件学报, 2007, 18 (8): 2016-2026.
- [5] 韩燕波, 王桂玲, 等. 互联网计算的原理与实践: 探究网格、云和 Web X.0 背后的本质问题和关键技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [6] 范金阳. 面向虚拟网络的数据包捕获及展现系统的研究与实现 [D]. 北京: 北京航空航天大学, 2011.
- [7] 梁东莺, 高潮. 云计算及其应用 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (8): 1958-1961.
- [8] Richard Stevens W, Stephen A. Rago. UNIX 环境高级编程 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009.

好的人机交互界面, 设计者在对话框中输入最优尺寸, 便可得到承重减震装置的正视图、俯视图、左视图, 大大提高了设计工作的效率。

参考文献:

- [1] 衣勇, 宋雪萍. 机器人仿真研究的现状与发展趋势 [J]. 机械工程师, 2009, (7): 63-65.
- [2] 王月梅, 周义清, 常列珍. 履带车辆的一种动力学建模 [J]. 华北工学院学报, 2005, 26 (3): 164-166.
- [3] 韩宝坤, 李晓雷, 孙逢春. 履带车辆动力学仿真技术的发展与展望 [J]. 兵工学报, 2003, 24 (2): 246-249.
- [4] 郭卫东. 虚拟样机技术与 ADAMS 应用实例教程 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.
- [5] Zhang L, Wang L, Wang F, et al. Gait simulation of new robot for human walking on sand [J]. Journal of Central South University of Technology, 2009, 16 (6): 971.
- [6] 喻涛, 李文蔚. ADAMS 约束问题讨论 [J]. 机械, 2007, 34 (12): 50-51.
- [7] 张帆. ObjectARX 开发实例教程 [Z]. 北京: 智帆高科科技有限公司, 2007.
- [8] 甘辉. 利用 ObjectARX 与 MFC 实现应用程序开发 [J]. 通用机械, 2007, (1): 65-87.
- [9] 李长勋. AutoCAD ObjectARX 程序开发技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.