doi: 10.7690/bgzdh.2014.11.011

基于 ADAMS 的某履带式机器人机动性能分析

黄波[1]，李新俊[2]，阚玉红[3]
（1. 中国兵器工业第二〇八研究所保密办公室，北京 102202；2. 中国兵器工业第二〇八研究所三室，北京 102202；
3. 中国兵器工业第二〇八研究所信息中心，北京 102202）

摘要：为研究履带式机器人的机动性能，对某履带式移动机器人进行建模及仿真分析。基于该机器人的三维模型，借助动力学仿真软件 ADAMS 建立该机器人的机动性能分析模型，在此基础上，对其在平地、斜坡和楼梯等路面行驶时的机动性能进行仿真分析。仿真结果表明：仿真结果与理论计算吻合得较好，证明该方法是可信的，能为该机器人的结构改进和运动控制提供依据。

关键词：履带式机器人；ADAMS；机动性能
中图分类号：TP242　　**文献标志码：**A

Mobile Characteristic Analysis of Certain Type Tracked Mobile Robot Based on ADAMS

Huang Bo[1], Li Xinjun[2], Kan Yuhong[3]
(1. *Confidential Office*, *No*. 208 *Research Institute of China Ordnance Industries*, *Beijing* 102202, *China*;
2. *No*. 3 *Research Lab*, *No*. 208 *Research Institute of China Ordnance Industries*, *Beijing* 102202, *China*;
3. *Information Center*, *No*. 208 *Research Institute of China Ordnance Industries*, *Beijing* 102202, *China*)

Abstract: To study the mobile characteristic of tracked mobile robot, the modeling and simulation analysis were done for the virtual prototype of the tracked mobile robot. The virtual prototype model of the tracked mobile robot was built by using dynamic simulation software ADAMS based on the 3D model of a tracked mobile robot. Then the locomotion characteristics of the tracked mobile robot moving on flat, slope and stairs are achieved after the simulation analysis. The simulation result shows that the results are well coincident with theoretical calculation, which confirmed that the reliability of the method, and the method can provide reference for the structural optimization and kinetic control of the robot.

Keywords: tracked mobile robot; ADAMS; mobile characteristic

0　引言

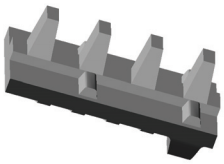
地面移动机器人按照形状可分为车形、仿生形和微型[1]。车形移动机器人又可分为轮式和履带式 2 种。履带式机器人的通行能力强，适合在比较复杂、有突变的路面行驶，经常在战场环境、城市反恐等任务中使用。为实现对机器人在复杂工作环境下的最优控制，须研究其在不同路面行驶时的机动性能。对行走工具机动性能的研究最初源于对汽车和坦克等行驶性能的研究，贝克开创了车辆地面力学[2]，提出了压力-沉陷理论，该理论目前仍然是研究车辆与地面相互作用的基础。笔者以某小型履带式机器人模型为基础，针对其在平地、斜坡以及楼梯等不同路面情况行驶时的运动控制特点，基于 ADAMS 建立该机器人的机动性能分析模型，对其机动性能进行仿真分析。

1　系统建模

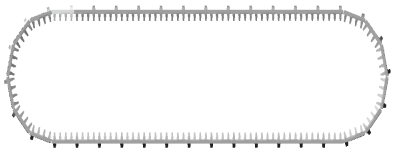
考虑到该机器人的结构比较复杂，笔者先利用 UG 完成该机器人三维装配模型的构建，之后再把三维装配模型通过中间格式导入到 ADAMS 中，并在 ADAMS 中对各个零件设置材料属性，施加约束和零件间的相互作用关系，建立系统的机动性能仿真分析模型。

1.1　履带模型

履带机器人履带实际是一条闭合的可变形带，如果按照实物来建模将很困难，可以对 2 条履带分别进行适当简化，把履带处理为具有惯量的刚体块的链式连接。如图 1(a)或图 1(c)的单块履带之间通过旋转副连接起来，形成图 1(b)闭合的整条主履带或图 1(d)的整条副履带。

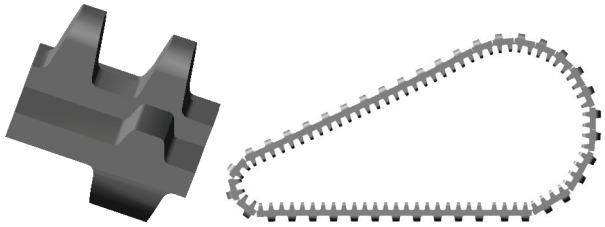


(a) 单个主履带块



(b) 整条主履带

收稿日期：2014-06-19；**修回日期：**2014-07-18
作者简介：黄波(1979—)，男，四川人，工学学士，高级工程师，从事保密管理研究。



(c) 单个副履带块　　(d) 整条副履带

图 1　履带模型

相邻 2 个履带块之前的作用关系可用扭簧来模拟，扭簧为 2 个零件间载荷传递供了一种方法，通过合理设置扭簧的刚度和阻尼，可以建立接近实际情况的履带模型。

1.2　履带－轮模型

履带与履带轮的沟槽进行啮合，其受力比较复杂，采用 Hertz 接触理论来分析[3-4]。即：

$$F = K\delta^{e} + C(\delta)\dot{\delta}$$

式中：F 为法向接触力；K 为 Hertz 接触刚度；d 为接触点法向穿透距离；C 为阻尼系数，通常随 d 呈正比变化；e 为描述力形变的指数。对硬弹簧特性，$e>1.0$；对软弹簧特性，$0<e<1.0$。通过 Hertz 接触理论和零件的材料特性，计算出所需要的参数，再利用 Impact 函数，完成接触力的添加。

1.3　履带－地面模型

当车辆在硬地面(如水泥路面或沥青路面)运行时，可以用接触力来模拟他们之间的相互作用关系。由于在 ADAMS/VIEW 环境下建立履带模型时，履带不但形状不同而且有上百个连接，每一块同时与各个传动轮、负重轮以及地面有力的作用；如果用通常方式一块一块地、一个力一个力地去建模，既费时费力也不准确。笔者基于 ADAMS 进行二次开发，编写条件、循环命令语言实现了履带块之间旋转副、履带块与传动轮、地面接触力的快速施加，同时保证了模型的准确性。

2　仿真分析

根据履带机器人行驶环境以及越障时的机动性能技术要求，建立了平地、斜坡以及楼梯等 3 种路面，分别进行仿真分析。

2.1　履带机器人平地路面行驶的机动性能仿真

为了验证系统建模方法的有效性和准确性，首先分析机器人在硬质平地路面直线行驶时的运动特性。硬质路面与履带之间的相互作用关系采用接触力来模拟，不同材质的硬质路面，只需改变相应的接触参数，如刚性系数、阻尼系数和摩擦系数等即可，笔者以典型的水泥路面来分析。根据驱动电机的功率，计算得到驱动轮传动稳定时的角速度为 2.3 rad/s。因此设定机器人在水平地面上做直线运动，其驱动轮以恒定的角速度 2.3 rad/s 转动。按照理论公式计算，机器人驱动轮的半径为 0.08 m，运动稳定时速度 $v=\omega_R=0.184$ m/s，仿真分析结果如图 2 和图 3 所示。

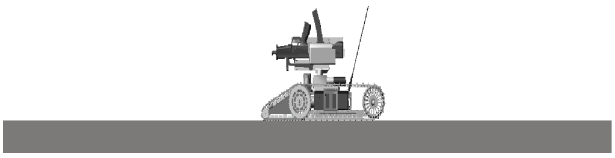


图 2　机器人平地行使时的仿真模型

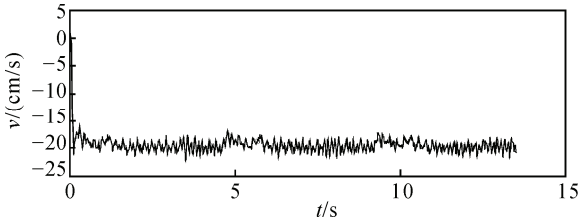


图 3　机器人平地行驶时速度-时间曲线

从图 3 速度-时间曲线可以看出：机器人在水泥路面行驶时的速度为 0.2 m/s，与理论计算的误差为 8.6%，仿真结果与理论计算结果吻合较好，能够进一步用于分析该履带机器人在斜坡、楼梯等路面行驶时的机动性能。

2.2　履带机器人爬坡与爬楼梯的机动性能仿真

建立斜坡(斜坡角度为 31°)与楼梯(台阶高度为 0.18 m，斜坡角度为 31°)2 种路面环境，设定机器人驱动轮仍以 2.3 rad/s 的恒定角速度转动，并编写控制命令，控制副履带爬坡和爬楼梯时其履带臂抬起与放下的动作。

爬坡时机器人运行情况与速度曲线见图 4～图 6。从图中可以看出：机器人开始爬坡时，由于受到坡面的阻碍，其行驶速度较平地行驶时的速度略有下降。爬上坡后，由于系统重力在运动方向的分力与行驶方向相反，使系统的行驶速度进一步降低，仅为 0.075 m/s。

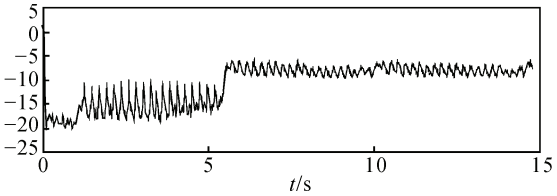


图 4　机器人爬坡时速度-时间曲线

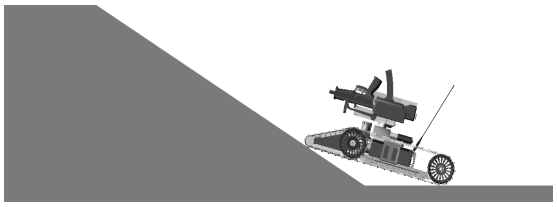


图 5　机器人开始爬坡

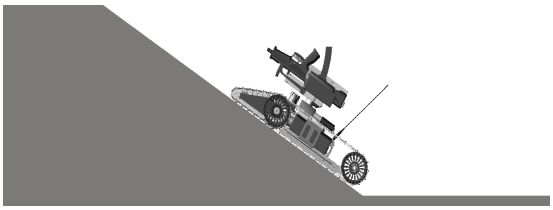


图 6　机器人爬上坡

爬楼梯时机器人运行情况与速度曲线见图 7～图 11。从图中可以看出，机器人开始翻越楼梯时的速度明显下降，仅为 0.1 m/s，这是由于机器人开始爬楼梯时，其副履带受到第 1 级台阶的阻碍，同时系统重力在运动方向的分力与行驶方向相反，致使速度下降明显。机器人翻越楼梯过程中，其行驶速度出现 3 次明显的阶跃性变化，这是由于履带与台阶仅有 1 处发生接触，摩擦阻力减少，同时重力在运动方向的分力与行驶方向相同，引起机器人的行驶速度产生阶跃性变化。

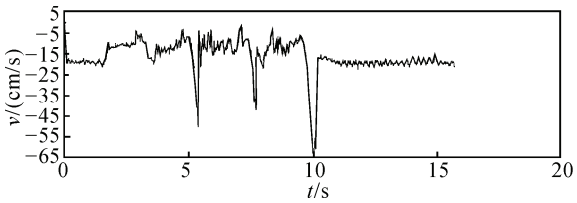


图 7　机器人爬楼梯时速度-时间曲线

图 8　机器人爬楼梯阶段 1

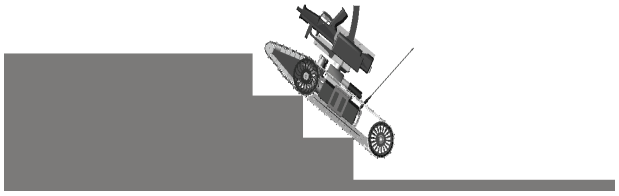


图 9　机器人爬楼梯阶段 2

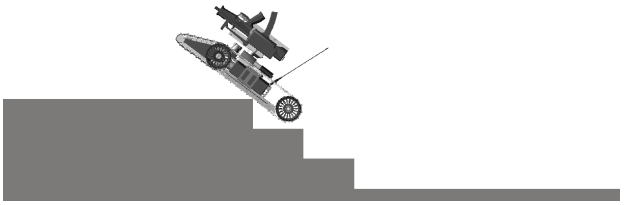


图 10　机器人爬楼梯阶段 3

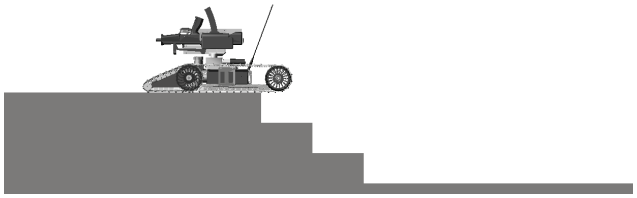


图 11　机器人爬楼梯阶段 4

3　结论

笔者基于 ADAMS 建立了某履带式机器人的机动性能仿真模型，并在模型中加入了控制语句，分析了该机器人在不同路面行驶时的机动性能，为小车的结构设计改进以及控制研究提供了依据。下一步，将进一步完善模型的控制规律，并通过与试验数据的对比分析，对模型进行修正，使其更符合实际情况。

参考文献：

[1] 章小兵, 宋爱国. 地面移动机器人研究现状及发展趋势[J]. 机器人技术与应用, 2005(2): 19-23.

[2] 汤亚锋, 杨庆. 微小型履带式移动机器人与地面交互特性分析[J]. 兵工自动化, 2010, 29(2): 37-39.

[3] Johnson K. L. 接触力学[M]. 徐秉业, 罗学富, 刘信声, 等, 译. 北京:高等教育出版社, 1992: 103-119.

[4] 尚利民, 宫鹏涵, 康小勇, 等. 基于 ADAMS 某自动步枪虚拟样机建模及仿真分析[J]. 兵工自动化, 2013, 32(7): 19-20.