

文章编号:1001-5132 (2009) 02-0301-04

一种机器人支撑臂的力学分析与距离选优

俞国强, 王钢明, 陈佳丽

(宁波大学 工学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 采用 Adams 虚拟样机仿真技术对一种机器人的主要构件进行建模, 分析了模型前后支撑臂的受力情况; 分别建立了 7 种前后两臂之间不同距离的模型, 通过数据对比, 优选出使电机功率输出最小的两臂间距离。

关键词: 机器人; 支撑臂; Adams 建模; 选优

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A

随着工业的发展, 机器人逐渐在各行各业中替代人从事各种危险作业, 高校和相关科研机构正在积极地研发各种功能的机器人^[1-5]。程军^[3]、杜志江^[4]、刘彦武^[5]分别对异构双腿机器人, 双足机器人和机器人承载能力等进行了分析和仿真。哈尔滨工业大学、北京航空航天大学对机器人的研究已经取得了许多成果, 并做出了足球机器人、仿生六足机器人等高技术机器人。

作者研究的机器人是一种多功能实验型机器人, 能够完成渡过壕沟、翻越矮墙和进行管道清淤、排障等多种作业。在原始设计中遇到的问题是在实际的越障过程中, 由于设计以及其他客观因素的影响, 支撑臂无法将车身成功支撑起来。因此在改进设计中, 在既不改变支撑臂的长度, 也不使用更大功率电机的前提下, 在动力学软件 Adams 中建立了反恐机器人的动力学模型, 寻求优化机器人前后臂的距离, 从而通过改变力臂的长度来减小马达转矩, 使之能够成功地将机器人举起, 实现越障功能。

1 动力学数值计算数据流程

多体系统的动力学分析是根据牛顿定理, 给出自由物体的变分运动方程, 再运用拉格朗日乘子定理, 导出基于约束的多体系统动力学方程。集成约束方程的动力学软件 Adams 可自动建立系统的动力学微分 - 代数方程, 如(1)式。对于动力学微分 - 代数方程, Adams 根据机械系统特性, 选择不同的积分算法^[6-7]。

$$\begin{aligned} M(q, t)\ddot{q} + \Phi_q^T(q, t)\lambda - Q(q, \dot{q}, t) &= 0, \\ \Phi(q, t) &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

其中, $q, \dot{q}, \ddot{q} \in R^n$ 分别是系统位置、速度、加速度向量; $\lambda \in R^m$ 是拉格朗日乘子; $t = R$ 是时间; $M \in R^{n \times n}$ 为机械系统惯性矩阵; $\Phi_q \in R^{m \times n}$ 为约束雅可比矩阵; $Q \in R^n$ 为外力向量; $\Phi \in R^m$ 为位置约束方程。

这类数学模型就是微分 - 代数方程组, 也称为欧拉 - 拉格朗日方程组, 其方程个数较多, 但系数矩阵呈稀疏状, 适宜于计算机自动建立统一的

模型, 并进行处理.

对于刚性系统, Adams 软件采用变系数的向后微分公式(BDF)刚性积分程序, 它是自动变阶、变步长的预估校正法, 并分别以 Index3、SI2、SI1 积分格式, 在积分的每一步采用了修正的 Newton-Raphson 迭代算法.

对高频系统 Adams 用坐标分离法, 将微分 - 代数方程减缩成用独立广义坐标表示的纯微分方程, 然后分别利用 ABAM(Adams Bash-forth Adams Moulton)方法或龙格 - 库塔(RKF45)方法求解.

2 机器人的工作原理及力学建模

反恐机器人在翻越围墙的过程中, 主要利用 4 个支撑臂将整个车身支撑起来. 首先是装在前 2 个支撑臂上的马达驱动使其两前臂跨过围墙, 然后开启后 2 个支撑臂上的驱动马达, 使 2 个后支撑臂将整个车身抬起来, 然后通过位于车身上的履带在围墙上进行爬行, 使整个车身通过围墙, 机器人实物模型如图 1 所示.



图 1 反恐机器人实物模型

在用 Adams 建模前必须对实际的反恐模型进行简化. 由于 Adams 在进行运动学、动力学求算时, 只考虑零件的质心和质量, 而对零件的外部形状不予考虑, 因此在模型中精确地描述出复杂的零件外形, 实际意义不大, 关键是机器人的 4 个支撑臂与车身的连接情况应尽可能符合实际情况. 机器人简化模型如图 2 所示, 各部分质量及尺寸数据见表 1.

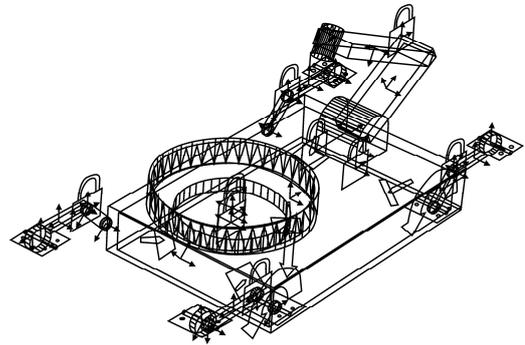


图 2 反恐机器人虚拟样机

表 1 机器人各部分质量及尺寸

| 名称 | 长/mm | 宽/mm | 高/mm | 半径/mm | 质量/kg |
|------------|------|------|------|-------|-----------|
| 车身 | 300 | 200 | 50.0 | | 2.000 0 |
| 大载物盘 | | | 30.0 | 80.0 | 0.400 0 |
| 小载物盘 | | | 15.0 | 55.0 | 0.009 0 |
| 机械手第 1 节 | 50 | 50 | 50.0 | | 0.300 0 |
| 机械手第 2 节 | 115 | 40 | 15.0 | | 0.189 0 |
| 机械手第 3 节 | 155 | 40 | 8.0 | | 0.250 0 |
| 抓手 | | | 32.0 | 11.0 | 0.033 0 |
| 支撑臂 1(4 根) | 40 | 5 | 12.3 | | 0.047 0 |
| 支撑臂 2(4 根) | 70 | 5 | 12.3 | | 0.038 0 |
| 轮子(4 个) | | | 7.0 | 12.5 | 0.009 4 |
| 总质量 | | | | | 约 3.557 0 |

对机器人前后支撑臂铰链处的力和力矩进行仿真测量, 结果见图 3~图 6.

从图 3 可以看出, 0~2.25 s 前, 虽然小车支撑臂未与地面接触, 但由于车身和支撑臂相对电机有一定质量, 则当电机转动时容易引起整个模型的震动, 表现在 0~2.25 s 间曲线是上下波动的. 在 2.25 s 左右时, 前支撑臂与地面接触, 使该铰链处所受的力产生大的突变, 在图 3 中表现为垂直上升的直线. 在 2.25 s 以后, 前支撑臂处所受的力随着时间的增加而缓慢减小, 这是由于当支撑臂从接触地面开始, 到将小车完全抬起来的过程中, 轮子与地面间的摩擦力变小了, 使得撑起小车所需的力也相对变小.

从图 4 可以看出, 后支撑臂在铰链处所受的力与前支撑臂情况非常相似, 但是力的大小变化趋势与前支撑臂相反.

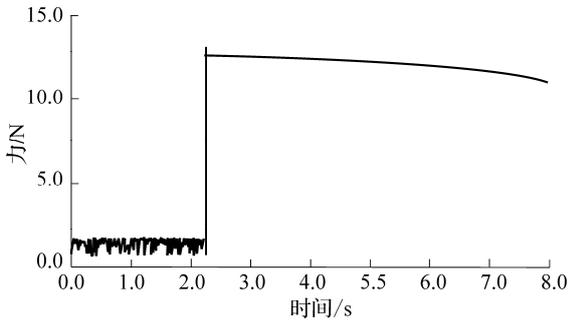


图3 前支撑臂与车身铰接处测得的受力情况

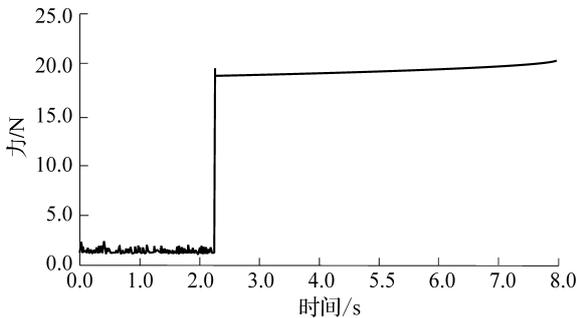


图4 后支撑臂与车身铰接处测得的受力情况

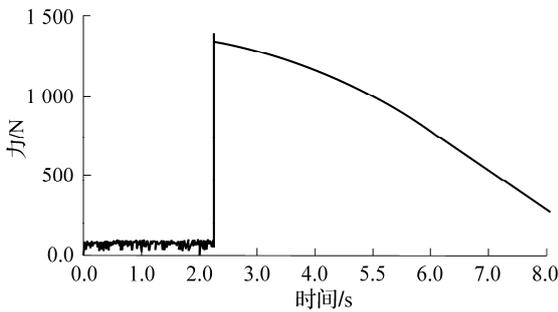


图5 前支撑臂与车身铰接处测得的扭矩变化

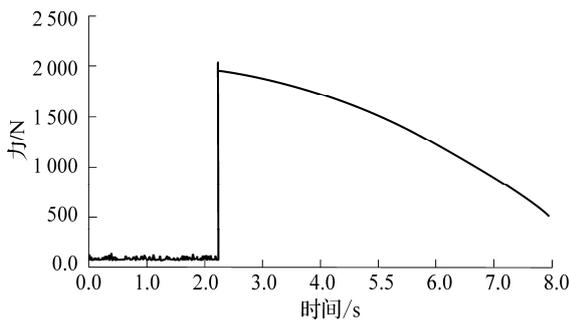


图6 后支撑臂与车身铰接处测得的扭矩变化

从图 5 可以看出, 2.25 s 左右时, 前支撑臂与地面接触, 使该铰链处所受的扭矩产生大的突变, 在图中表现为垂直上升的直线. 2.25 s 以后, 前支撑臂处所受的扭矩表现为随时间的增加而有规律地减小. 这是因为在测量扭矩时主要的因素是 z 轴, 当小车刚接触地面时, 支撑臂的力作用点和测量

的铰链处的距离最大. 根据 $T = FS$ (F 代表铰链处所受的力, S 代表距离 z 轴的距离), 从图 3 可以看出, F 虽然有变化, 但不是很大, 而 S 的变化相对明显, 所以呈现出的一条曲线类似于二次函数曲线.

从图 6 可以看出, 后支撑臂与车身铰接处测得的扭矩变化与前支撑臂类似, 由于车体重心偏后, 所以扭矩的数值要明显大于前支撑臂, 这与图 3 和图 4 反映的后支撑臂受力值大于前支撑臂的情况对应.

3 支撑臂的位置优选

对两臂之间的起始距离为 235 mm、前臂位置不动的情况进行分析, 将前后两支撑臂的力和扭矩分别进行比较, 结果见表 2 和表 3(因为机器人是左右对称的, 因此只取一边的铰链进行分析). 表中 -10 代表两支撑臂间距离减小 10 mm, 10 代表两支撑臂间距离增加 10 mm, 以下所测数据均为 0~8 s 之间的平均数.

表 2 前后支撑臂在各自铰链处所受的力

| 序号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|
| 位置/mm | 30 | 20 | 10 | 0 | -10 | -20 | -30 |
| F 前/N | 7.30 | 7.30 | 5.81 | 7.10 | 7.03 | 7.55 | 8.00 |
| F 后/N | 9.90 | 10.50 | 8.67 | 10.43 | 9.87 | 10.16 | 10.30 |

综合前后臂力的大小, 从表 2 可以看出, 点 3 处, 也就是两臂间距离为 245 mm 时前后铰链处所受的力最小.

表 3 前后支撑臂在各自铰链处所受的扭矩

| 序号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 位置/mm | 30 | 20 | 10 | 0 | -10 | -20 | -30 |
| T 前/(N·mm) | 561 | 559 | 446 | 544 | 545 | 580 | 592 |
| T 后/(N·mm) | 751.0 | 790.0 | 656.4 | 780.0 | 754.0 | 767.0 | 788.0 |

同样, 综合考虑前后两支撑臂铰链处所受扭矩的大小. 从表 3 可以看出, 点 3 处, 也就是两臂间距离为 245 mm 时, 前后支撑臂铰链处所受的扭

矩最小. 因此认为当两臂间距离为 245 mm 时, 前后支撑臂铰链处所受的扭矩和力均最小, 由此得出使电机功率输出最小的两臂间距离.

4 结论

利用Adams软件建立了一种机器人的虚拟样机模型, 并对机器人的支撑臂进行了分析和优选, 得出了使马达功率最小的两臂间的距离. 利用该方法可以对一般的机械结构进行动态下的可视化仿真和优化, 可为相似问题的解决提供借鉴.

参考文献:

- [1] 王海英, 尤波, 孙晓波, 等. 移动机器人灵巧手的优化设计[J]. 石油化工高等学校学报, 2007, 20(3):5-7.
- [2] 陈旭, 高峰. 集中空调通风管道清扫机器人[J]. 轻工机械, 2007(8):119-122.
- [3] 程军. 异构双腿行走机器人的联合仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2007(21):4 953-4 955.
- [4] 杜志江. 基于虚拟样机技术的双足机器人运动仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2007(19):4 454-4 456.
- [5] 刘彦武. 基于 adams 的并联机器人承载能力仿真[J]. 制造业自动化, 2007(7):79-81.
- [6] Caselles V, Kimmel R S. Geodesic active contours[J]. International Journal of Computer Vision, 1997, 22(1):61-79.
- [7] Ambrosio L, Tortorelli V M. Approximation of functional depending on jumps by elliptic functional viaconvergence comm[J]. Pure and Appl Math, 1990, 43(8): 999-1 036.

An Optimal Distance Selection and Mechanic Analysis for Robot Crutches

YU Guo-qiang, WANG Gang-ming, CHEN Jia-li

(Faculty of Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: In this research, the main components of the robot are built using the Adams virtual prototype simulation. The forces and torques on the front and rear crutches are analyzed. Seven kinds of distances between front and rear crutches are simulated and investigated. The resultant parametric values are compared, and the optimal one from the seven clutche distances is selected, which achieves the minimal motor power consumption.

Key words: antiterrorism robot; crutch; Adams model; distance selection

CLC number: TP391.9

Document code: A

(责任编辑 史小丽)