

基于 SimMechanics 的爬行式机器人设计与仿真

张昊岳 王引卫 王士槟

(西京学院机械工程学院 陕西西安 710123)

摘要: 为解决在复杂环境中作业困难的问题,设计了爬行式机器人。根据仿生原理对躯干结构进行比对设计;通过步态分析与构建机器人的腿部运动学模型并解算,完成了机械腿步态与结构设计;进行 UG 建模与优化。将优化后模型进行基于 MATLAB/SimMechanics 的建模与仿真。为应用于实际提供依据。

关键词: 爬行式机器人; 结构设计; 运动学求解; 运动仿真; SimMechanics

Design and simulation of a crawling robot based on SimMechanics

Haoyue Zhang, Yinwei Wang, Shibin Wang

School of Mechanical Engineering, Xijing University Xi 'an, Shaanxi 710123

Abstract: To solve the problems of the operation difficulties in the complex environment, crawling robot is designed. The torso structure was designed according to the bionic principle. Through gait analysis and the construction and solution of the robot's leg kinematics model, the gait and structure design of the mechanical leg are completed. UG modeling and optimization were carried out. The optimized model is modeled and simulated based on MATLAB/SimMechanics. It provides a basis for application in practice.

Keywords: Crawling robot; Structural design; Kinematics solution; Motion Simulation; SimMechanics

一、引言

在科学技术不断进步下,爬行式机器人近年获得了广泛的发展,其衍生出来的类型也不断丰富^[1]适合在多障碍复杂地形下使用。国内外在爬行机器人领域均有一定研究,初步实现了行走功能,但有结构冗余、难以完成复杂仿生运动等问题,并且爬行式机器人运动过程分析的研究也较少。

基于此设计了一种应用于多障碍复杂地形六足结构爬行式机器人。通过仿生分析、步态分析与腿部建模求解确定结构。完成 UG 建模设计后对机械整体部分进行基于 MATLAB/SimMechanics 仿真,得到机器人整体工作过程的动画演示以及运动响应规律^[2]。

二、结构仿生分析与设计

2.1 足类昆虫生物的仿生分析与结构构型

爬行式机器人运动足在设计时包括各关节部分尺寸,关节数量与组合方式。参照以天牛为代表的六足爬行式昆虫实体尺寸进行相关运动足与躯体设计。不同昆虫尺寸上存在差异但结构相同。优化后设计为一个足端与三个关节相串联结构,其中各个主要关节连接件的尺寸可以近似为 0.415: 0.391: 0.194^[3],每条腿有三个旋转自由度。六条腿呈类多边形均布。

2.2 步态分析

步态是爬行式机器人在工作时各运动足状态、关节摆动情况的整体描述,对步态进行研究时需要了解其稳定性与周期性的相关内容。稳定性体现运动平缓情况,周期性是一个周期包含的各腿摆动情况。 α 是占空比取 1/2,即三足步态。运动时两组交替实现前进。第一组(ZA、YB、ZC)、第二组(YA、ZB、YC)将动作细分为四

步,见图 1,每完成四步完成一个周期运动。

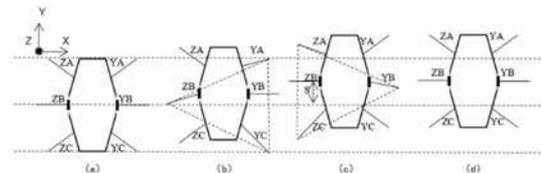


图 1 爬行式机器人步态

设主体宽度为 A,足端间距离为 D,每条腿可运动长度 m,腿高度为 n 设其中心矢量^[4]

以下进行详细分析^[4]:

第一段:此时爬行式机器人处于静止状态,没有机械腿进行运动。均为支撑腿此时的状态如图 1(a),此时各腿的足端位置可表示为:

$$S_{ZA} = [x_0 - \frac{3A}{4} - \frac{\sqrt{3}(n+m)}{2}, y_0 + D + \frac{n+m}{2}, z_0]^T;$$

$$S_{YB} = [x_0 + A + n + m, y_0, z_0]^T;$$

$$S_{ZC} = [x_0 - \frac{3A}{4} - \frac{\sqrt{3}(n+m)}{2}, y_0 - D - \frac{n+m}{2}, z_0]^T;$$

$$S_{YA} = [x_0 + \frac{3A}{4} + \frac{\sqrt{3}(n+m)}{2}, y_0 + D + \frac{n+m}{2}, z_0]^T;$$

$$S_{ZB} = [x_0 - A - n - m, y_0, z_0]^T;$$

$$S_{YC} = [x_0 - \frac{3A}{4} - \frac{\sqrt{3}(n+m)}{2}, y_0 - D - \frac{n+m}{2}, z_0]^T;$$

第二、三、四段分析同上对应余下三图。四段完成一个周期循环。

2.3 运动学求解

通过运动学建模能增进对机构特征理解,能得出各部分尺寸与几何空间的关系。D-H 法是爬行式机器人常用的运动学建模方法^[5]。通过定

义在各连杆部件坐标系,对相应参数进行推导,用变换矩阵推导连杆间关系,得到足端方向,后进行运动学正解分析。设置坐标系,分别关节1、关节2、关节3尺寸,各关节与部件间夹角为。

求解各关节间参数可以得出爬行式机器人机械腿的末端变化矩阵由此可以得出运动学正解结果。

$$\begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\phi_1 \cdot (h_3 \cos(\phi_2 + \phi_3) + h_2 \cos\phi_2 + h_1) \\ \sin\phi_1 (h_3 \cos(\phi_2 + \phi_3) + h_2 \cos\phi_2 + h_1) \\ -h_3 \sin(\phi_2 + \phi_3) - h_2 \sin\phi_2 \end{bmatrix}$$

2.4 爬行式机器人几何建模与装配

装配分为机械腿装配与整体装配,设计时,选择UG进行建模与装配:整体装配需要使用到六条机械腿与一个主体,六条腿分为三组安装在躯干上,为了不影响不同腿部之间的相对运动,腿之间要求有适当的距离,且腿的安装需存在一定的角度。其整体安装效果如图2。



图2 爬行式机器人机械腿与整体装配图

在进行爬行式机器人建模与装配后,对相关运动关节进行动态仿真,在仿真时应应对相关部件进行简化,优化仿真模型,减少无关约束影响。

三、SimMechanics 仿真分析

根据结构设计特征,从 SimMechanics 中选择所需模块。其构成是由五部分组成:初始运行环境块、三维建模块、三维建模块位置坐标系、约束配合位置坐标系、各约束配合绞。

3.1 仿真内容实现过程

仿真包括定义各模块初始位置与相关运动函数,定义初始位置用 Constant 模块,插入一个恒定数值,参数设置三组腿分别定义为 $-1/3*\pi$ 、 $-1/2*\pi$ 、 $-2/3*\pi$,另外三条腿设置值与之相反,完成定义。

定义相关函数时,选择 SINCE WAVE 模块插入电机驱动信号。产生周期性驱动信号波。

在足端添加数模转换模块、模数转换模块、常用运算判断模块以及示波器。常用运算模块的作用是对各函数关系判断或进行相关计算以便产生更合理的拟合运动函数。在进行仿真设计时用到的为 SUM 函数块即求和,在初始运动位置上各足进行正弦函数运动。示波器的作用是直观的显示各足的运动规律。

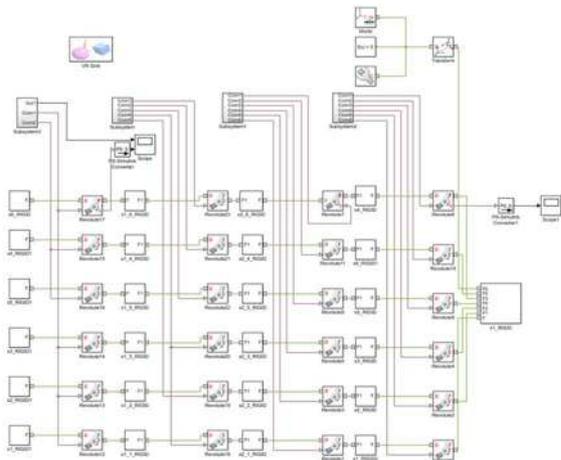


图3 相关模块设置与仿真建模

3.2 仿真结果与分析

在配置完输入函数、初始位置、数模转换、旋转绞配置、示波器并进行连接后整个模拟框图如图3所示:

仿真设计参照第一章分析结果对腿部相关关节进行运动划分。可以在主界面观察到建模装配模型的相关运动情况,符合步态分析结果,运动参数可以通过打开示波器得到,通过改变输出函数的幅值频率,可以加快运动的速度。相关演示结果如下所示。在前面初步拟定三角函数后,需要加入位置限制,调小输出幅值。在实验设计时调整为不同类型函数输入,每种函数取三种不同幅值,在示波器中显示相关位移输出函数,进行分析。

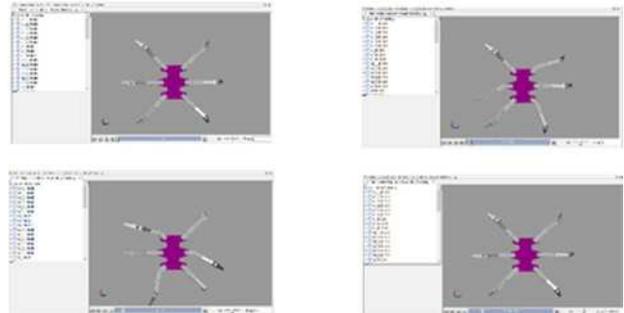


图4 MATLAB中的运动仿真

各个关节输入函数相同,区别是两组机械腿之间的输入相差半个周期,在输入相关运动函数后,点击运行按键, MATLAB 主界面会出现相应的运动仿真动画。运动仿真如图4。

根据仿真动画可以得出,在运动函数输入后,爬行式机器人表现出的运动仿真状态与步态分析过程基本一致,即依次从左到右从上到下对应第一、二、三、四步态分析情况,在进行完一个周期后爬行式机器人进入下一个循环。

四、结语

搜集爬行式机器人相关文献后,对虫类躯干的结构进行分析与选择。在设计时优先考虑了整体结构稳定性、足间运动合理性。对常见的步态进行分析后选择了三足步态。建立了运动学模型并得出了相关解。确定了整体设计方案。利用UG对各个零件进行三维模型建模并优化,后在 SimMechanics 中进行了仿真分析,验证了结构设计的合理性和运动步态的稳定性,为实物制作奠定理论基础。

参考文献:

- [1]王润孝.四足机器人研究现状及核心关键技术[A].全国地方机械工程学学会.2017年第七届全国地方机械工程学学会学术年会暨海峡两岸机械科技学术论坛文集[C].全国地方机械工程学学会:海南省机械工程学学会,2017:5.
- [2]熊金刚,肖志强,刘光挺等.蜘蛛机器人的结构与运动步态仿真分析[J].机械制造,2019,57(01):7-10+17.
- [3]陈媛.六足移动机器人的仿生机构设计与运动学分析[D].河北:河北工业大学,2015:14.
- [4]白颖,蒋庆斌,莫莉萍等.六足仿蜘蛛机器人的结构与仿真分析[J].机电工程,2019,36(07):732-735+743.
- [5]秦宋阳.六足移动机器人的结构与运动学分析[D].浙江工业大学,2020:31-32.