

六足步行机动力学和运动学研究

王 斌

摘要: 本文对六足步行机的受力情况进行分析,并在此基础上分析腿部的受力情况。对步行机和腿建立动力学方程,并对其不同的行走方式,对动力学方程求解。以两种准则,求步行机的最佳步距。文中研究了不同的步态,其步行机的最优能量分配。考虑速度对稳定性的影响,研究步行机行走时和转弯时的稳定性。

一、引 言

对于步行机的研究,由于较其它传统车辆,具有更优越的越野能力,以及更好的适应不平坦地面的能力,因此,受到各国研究人员的普遍重视。对于六足步行机的研究,近年来发展也是很快的。六足步行机较其它步行机有其自身的突出优点,即实现静态行走比较容易,因此,其控制也就相对简单了。虽然对六足步行机的研究,已得到了很多理论上和实用上的成果,但是,目前有实用价值的步行机还未出现。这就说明对步行机的研究,还有很多方面研究的很不够。本文提出对以往研究的不深和没有涉及的问题进行探讨。主要对六足步行机的各种受力情况进行研究,并在此基础上,分析腿部的受力情况,并对其动力学特性进行分析。以能耗最小为标准,对六足步行机的能源分配进行分析,使能量具有最优的分配。最后,对以往六足步行机,运动学方面尚存的一些课题进行研究。

二、六足步行机力分析

三角步态是六足步行机在较平坦地面行走时,较实用的一种快速行走步态。当步行机以三角步态行走时,其每一时刻,支撑相的腿只有三个,也就是六足步行机静态行走时,腿部受载最大的情况。在此情况下,地面对足端的反力 F_i 满足平衡方程:

$$\sum F_i = G \quad \sum F_i x_i = 0 \quad \sum F_i y_i = 0$$

其中 G 为步行机总重量。 x_i, y_i 分别为足端相对机体坐标系的两个坐标。对于步行机以三角步态行走,无论是纵向,还是横向行走, F_i 都可由上面三个方程确定。很明显, F_i 的大小只和 x_i, y_i 有关, x_i 和 y_i 的合理选择,可使三个立足相的足端最大地面反力 F_i 趋于相等。对于以其它步态行走,每一瞬间,支撑相的腿的数目要多于三个,因此,只由三个平衡方程不能求得支反力。必须补充必要的条件。本文采用 $\min F_{i_{\max}} - F_{i_{\min}}$ 的方法,对以上情况,选择不同的行走方式进行研究。利用上面的结果,对于具体结构的腿,可进行腿部的受力分析。本文对缩放式的腿进行分析,得到 K (缩放比)对腿部受力的影响关系。

注: 本文作者的导师为于东英

三、动力学分析

这部份首先对不同的行走方式，建立运动学方程，并以此为基础，对步行机和腿进行动力学研究。对于不同的用途，分别利用拉格朗日方程和刚体动力学方程，建立步行机和腿的动力学方程。设计步行机时，由于要进行强度校核，利用刚体动力学方程，建立的动力学方程，能够对各杆间的约束反力求解。对于步行机行走时，进行控制，只需对其作动器式关节的输出力和力矩进行求解，利用由拉格朗日方程所得到的动力学方程，求解更有效和实用。在此我们分别得到了两种方程的求解方法。

四、最佳步距和最优能量分配

步行机行走时，对于不同跨步大小，其能量消耗是不同的。这部分首先对关节式和缩放式腿的步行机，其步距对能耗的影响进行研究。分别选择动力源输出的力和力矩的最大值，在一个行走周期内为最小为准则，和选择行走同样的距离时，所需能量最小为准则，求得最佳步距 R_{min} 。六条腿的动力源分配，对于步行机的能耗是有影响的，并且，当步行机采用不同的步态行走，其能量的分配是不一样的。我们对六足步行机各种行走方式，及其在各种地形情况下的行走，其能量分配进行研究。得出使能量具有最优分配条件下各种参量应满足的相互关系。

五、六足步行机的稳定性和运动学研究

以往对步行机的稳定性的研究，都没有考虑步行机行走速度，对步行机稳定性的影响。很显然，当行走速度很低时，即使由传统方法确定的稳定裕量很小，当步行机受到扰动时，其倾翻的可能性是很小的。反之，当行走速度很大时，情况就大不一样了。利用能量守恒原理，对步行机采用各种步态行走时，可得到速度和步行机稳定性的关系。并可得到当步行机具有静态稳定裕量 S 时，使步行机受扰后不翻倒，其行走的最大速度 v_{max} 。当步行机转弯时，其倾翻有两种可能，一是由切向速度 v 受扰后引起的，另一个是由于转弯时，产生离心力，可能使步行机产生倾翻。当步行机以速度 v 行走并转弯时，转弯半径为 r ，其离心力 $F = m \frac{v^2}{r}$ ，利用这个关系式，对不同的步态行走，可得使步行机不倾翻的最小转弯半径 r_{min} 。最后，对步行机横向行走时，其运动性能进行研究，求得其横向行走时，最大的跨越台阶高度 h_{max} 。

参 考 文 献

- [1] V. R. Kumar and K. J. Waldron; Trends and Developments in Mechanisms, Machine, and Robotics 1988 Vol. um. three
- [2] K. J. Waldron; IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. RA-2, No. 4, December 1986
- [3] S. M. Song and K. J. Waldron; Journal of Mechanisms Transmission and Automation in Design, March, 1987, Vol. 109/21

- [4] T.T.Lee, C.M.Liao and T.K.Chen, IEEE Journal of Robotics and Automation, 4, August 1988
- [5] D.C.Yang and Y.Y.Lin, Mechanism and Machine Theory, Vol.22, No.4.1987
- [6] M.Hung and K.J.Waldron, Proc.of 1987 IEEE Int.Conf.on Robotics and Automation.

Research on the Dynamics and Kinematics of Six-legged Walking Machine

Wang Bin

Abstract

This paper analyses the force distribution of six-legged walking machine, Then making use of the results, We analyse the force imposed on the legs. The paper sets up the dynamic equations of the walking machine. And we solve the equations under all kinds of walking way. Making use of two criteria, the paper acquires the optimal stroke of walking machine. The paper also presents researchs on the optimal distribution of energy of walking machine in all kinds of gaits. Considering velocity influence on the stability, this paper discusses the stability of walking machine, when legged locomotion walking and turning.