

全方位六足步行机的运动设计

钱晋武

摘要 本文对六足步行机的全方位运动步态进行了探讨,提出了基于静态稳定性考虑的最佳步态的选择方案。就横向运动六足步行机的广义三角步态,分析了其静态稳定裕量、爬坡能力、越沟能力等运动性能,并给出了采用广义三角步态的横向运动六足步行机总体几何参数CAD的实例。

根据美国陆军1967年调查,地球上近一半的地面不能为传统的轮式车辆或履带式车辆到达^[1],而很多足式动物却可以在这些地面上行走自如。这给人们一种启示,即足运动方式具有其它地面推进方式所不具备的独特的优越性能。

导致近年来对步行机大量研究的原因,主要在于①试图充分利用足式行走系统在不平地面或松软地面上行走的优越性能,即相当好的机动性、平稳性、能耗有效性及较高的速度^{[1][2][3][4][5]},②协助动物行走机理的研究,③为瘫痪病人或截肢者提供腿椅或人工假腿。

步行机的研究工作在美国、苏联、日本等国最为活跃。尽管实用样机问世的尚少,但很多模型和试验样机的出现为机器人学研究的这个新领域展示了美好的前景。

在众多的静态稳定多足机的研究者中,以研究六足步行机的为数最多(据笔者统计,全世界已有的六足机占所有多足机的50%以上)。这是因为六足步行机具有比较优良的综合性能^{[1][2][6]}。

拥有 $2k$ 足的步行系统,当 $k \geq 3$ 时,腿的对称布置方式大致分成两类:①按运动方向左右对称布置(如昆虫),②按运动方向前后对称布置(如螃蟹)。对于六足的情况,我们分别称它们为纵向运动六足行走系统和横向运动六足行走系统。如果在保持本体主轴方向不变的条件下,行走系统能够沿任意方向运动,则称为全方位行走系统。全方位运动对于在复杂地形或特殊地形上的行走是很有利的。

纵观已有的静态稳定多足步行机,它们的基本控制问题有①如何产生一定的轨迹和速度,②如何决定抬腿和放腿的顺序,③如何确定合适的腿行程以保证预先规定的稳定性要求,④如何监视步行机的静态稳定性,⑤如何控制机身的姿态,⑥如何提高步行机的运动自治性。

多足步行机各足抬、放顺序的确定即所谓步态选择问题。对于一般的地面,以选择规则

周期步态为宜；对于严重崎岖不平的地形，则只能采用自由步态。

以静态稳定裕量作为衡量规则周期步态优劣的指标时，纵向运动六足步行机宜采用波形步态，因为波形步态族的静态稳定性是所有规则对称步态中最优的^[1]。

本文在“全方位步态研究的数值方法”一章内，通过对横向运动和其它方向的全方位运动步行机规则对称步态的静态稳定性分析计算，得出了横向运动和全方位运动的步态优化选择方案。其中基于静态稳定性的横向运动最佳步态被定义为广义三角步态^[8]。此外，对规则对称的全向步态，文中描绘了三维空间 (β, ϕ_3, ϕ_6) 的稳定区域立体图和二维平面 (ϕ_3, ϕ_6) 的等稳定性图线。为合理选择步态参数提供了直观的参考依据。作者编制了全方位运动步态静态稳定性计算的通用程序。这部分工作是开发全方位六足步行机稳定性监控系统的基础。

出于开发海底行走机器人的要求，考虑到海蟹主要采取横向行走方式，作者对横向运动步态进行了更为深入的探讨。在“横向运动广义三角步态运动性能分析”一章中，作者第一次从理论上较系统地研究了广义三角步态的静态稳定性、爬坡能力、越沟能力与步行机总体几何尺寸以及有荷因数之间的关系。此外，还探讨了广义三角步态的承载能力等问题。这部分内容为横向运动六足机总体几何设计作了准备。

在“横向运动六足步行机总体几何参数的 CAD”一章中，作者运用对广义三角步态运动性能分析的结果，按照设计技术要求（静态稳定性、对不平地面的适应能力、工作面积等一系列指标），以几何尺寸最小为设计目标，对六足步行机的腿行程、腿行程间距、腿节距和机身重心高度实施了计算机优化设计，并给出几个设计实例。可以作为海底行走六足步行机设计时的参考。

参 考 文 献

- [1] Waldron, K. J. et al, Configuration Design of the ASV. Int. J. of Robotics Resenarch, 3(2), PP. 37—48, 1984.
- [2] Devianin, E. A. et al, The six—legged walking robot capable of terrain adaptation. Mechanism and Machine Theory, 18(4), pp. 257—260, 1983.
- [3] Hirose, S, A study of design and control of a quadruped walking vehicle. Int. J. of Robotics Research, 3(2), PP. 113—133. 1984.
- [4] Raibert, M. H, et al., Legged Robot. Communication of the ACM, 29(6), PP. 499—514, 1986.
- [5] Song, S. M, Kinematic optimal design of a six—legged walking vehicle. PH. D. dissertation, Ohio State Univ., Columbus, OH., 1984
- [6] McGhee, R. B., et al, Real time control of a hexapod vehicle. In: 3rd Ro—Man—Sy, PP. 323—339, 1978.
- [7] Bessonov, A. P., et al, The analysis of gaits in six—legged vehicle according to their static stability. In: 1st. Ro—Man—Sy, vol. 1, PP. 1—10, 1973

Kinematic Design of a Six—legged Omni—directional Robot

Qian Jinwu

In this paper, the author explores the gait selection problem for a six—legged omni—directional robot from the viewpoint of static stability. For the six—legged laterally—walking robot employing quasi—tripod gaits, such kinematic characteristics as static stability, slope negotiation capability and ditch negotiation capability are studied and a general geometric CAD of the walking robot is demonstrated.