

气动人工肌肉驱动器驱动六足爬行机器人的步态选择和结构设计

张之璐, 彭光正, 朱智乾, 范伟

Pace Layout Selecting and Mechanical Structure Designing in Hexapode Runner Utilizing Pneumatic Muscle Actuators

Zhang Zhi-lu, Peng Guang-zheng, Zhu Zhi-qian, Fan Wei

(北京理工大学信息科学与技术学院 SMC 气动技术中心, 北京 100081 电话: (010)68912921 - 204)

摘要: 气动人工肌肉设计简单并具有独特的仿生性, 该文应用气动人工肌肉驱动器设计了一个六足爬行机器人, 从仿生学角度对这个机器人进行了步态规划。文章对机器人的三角步态选择和两层板式机械结构的设计作了详细介绍。

关键词: 六足爬行机器人; 气动人工肌肉; 步态选择; 仿生学

中图分类号: TH138 文献标识码: B 文章编号: 1000-4858(2004)04-0029-02

1 引言

气动人工肌肉驱动器(简称 PMA)是一类基于生物肌肉原理设计开发出的驱动器, 它具有如下特点: ① 动作平滑, 响应快, 可以实现极慢速运动; ② 安装维护简便, 高度灵活, 柔性, 甚至可以沿弯角安装; ③ 输出力/自重比高, 节能、高效; ④ 无滑动部件, 无摩擦, 能使机构运动更接近于自然生物运动。由于它具有新颖和广泛的应用前景, 许多研究者尝试把它应用于仿生机器人中, 因此我们用气动人工肌肉作为驱动器设计了这个六足爬行机器人。

我们研究这样的步行机构是为了更好地了解生物的行走机理, 并最终使机器人在极限环境下代替人工作业。而与轮式或履带式机器人相比, 足式机器人具有的机动性更好, 可以跨越较大障碍及通过松软地面。由于其立足点离散, 可以通过控制算法在地面上选择最优的支撑点, 因此能耗也较少。在地形复杂的林场、采石场和矿山以及节能要求高的水下资源开发、战地侦察、警戒等应用领域, 足式机器人具有更明显的优势。

其可能的应用领域还有核电站监视与维护作业; 管道探伤和维修; 遥控救灾、灭火; 爆炸物处置以及沼泽、沙漠地区勘探等。

2 六足爬行机器人步态选择

在生物界, 无论是两足、四足、六足、八足的动物在运动中产生力的模式都十分相似。跑动时, 它们都可以用两组相互间隔的腿跳起, 步行机构采用这种步态时, 体侧每一侧上各腿的迈步动作形成一种由后向前的波形式, 因此成为波形步态, 波形步态具有性质 $\phi_{2m+1} = (m \cdot \beta)_{\text{mod}k}$, 其中 $m = 1, 2, \dots, k-1; \frac{3}{2k} \leq \beta < 1, k \geq 2$ 。

式中: ϕ_{2m+1} 为足相对相位的集合; m 为一组自然数; β 为有荷因数, 即支撑相时间与足运动周期的比值; k 为足的对数。

自然界四足动物在低速行走时采用波形步态; 六足昆虫在所有速度范围内都采用波形步态; 八足动物也常采用波形步态。前人的研究表明, 波形步态是纵向运动六足步行机对称步态中纵向稳定裕量最大的。

而 $\beta = 1/2$ 时的步态称为三角步态, 即运动时将六足分为两组, 每组三足并呈三角形分布, 交替支撑迈步。三角步态对六足步行机非常重要, 可以保证一半足抬离地面时还能提供三角支撑, 并可以在保持机器人静态稳定条件下允许较快的行走速度, 因此在这个六足爬行机器人中我们选择了三角步态。步态如图 1 所示。

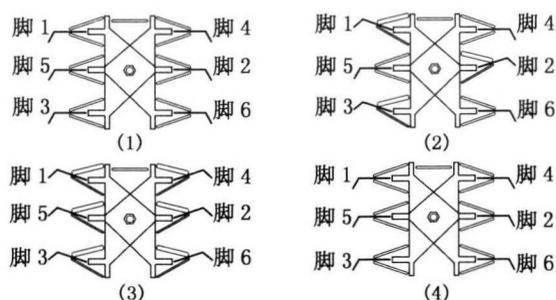


图 1 机器人步态

(1) 初始状态, 各脚着地;

(2) 脚 1, 2, 3(A 组)的前向与上举 PMA 充气, 后

收稿日期: 2003-09-08

作者简介: 张之璐(1982—), 女, 江苏省南京市人, 大学本科, 主要从事人工智能与机器人方面的工作。

向 PMA 放气。A 组脚上举、前摆后落下(俯视图上只标出了控制前后向运动的一对 PMA);

(3) 脚 4,5,6(B 组)的前向与上举 PMA 充气,后向 PMA 放气。B 组脚上举、前摆后落下;

(4) 所有前向 PMA 放气,A、B 组脚同时后摆,机器人前移,完成一个运动周期。

这种三角步态的设计,不仅保持了机器人最大的静态步行稳定性和一定的跨越障碍的能力,也使得机器人在爬行摆腿的过程中摆动腿不对身体造成干扰,从而方便控制,增加了运动过程中的稳定程度。

3 机械结构设计

图 2 是一个运动控制模型。控制系统产生命令激活机械系统。机械系统作用于外界环境。外界环境被以多种方式感知并反馈到中枢神经系统。可见根据实际使用场合设计的恰到好处的机械结构限制可在运动控制中起到“第二思维”的作用,直接与外部环境形成反馈环。

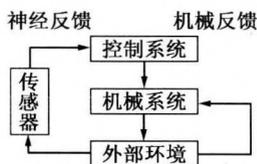


图 2 运动控制模型

1) 整体结构

我们设计的这个机器人身体部分由两块完全对称、独立的铝合金板材上下叠放而成,在两者的中部以螺钉连接,以便两板能够做自由的相对运动(绕螺钉转动)。

A、B 两组腿分别安装在板的两层上,每一层上三足的安装位置正好满足稳定支撑身体的需要,并且与行进时的步态对应,即位于两层板上的两组腿分别交替支撑地面,以完成稳定直线行走的任务。

2) 转向机构

在转向方面,一般的爬行机器人都是以腿部动作时序来完成机器人转向的,这不仅时序复杂,而且转向过程中机器人身体不稳定。因此我们针对气动人工肌肉的驱动特点设计了以身体为核心的转向机构,即在两板前方增加一根连结的 PMA,需要转向时,这根 PMA 充气,两层板即以螺钉为轴产生相对移动,运动方向随之改变。这样不仅可以实现稳定转向,而且转向时机器人基本是在原地做转动,转动方向由 PMA 充气起始时刻决定,角度由充气总时间决定,腿部动作与直线行走无异,不用专门去设计复杂的时序。试验的结果也表明这种结构是适合于气动人工肌肉驱动的爬行机构的转向运动的。

3) 腿部结构

为了实现机器人姿态的空间可控性,使之能够随着地势的变化调整身体姿态,我们确定每条腿 3 个自由度,机器人大腿与身体的连接处有两个自由度,大腿和小腿的连接处有一个自由度。

本机器人采用的是某国 Shadow 机器人公司生产的 McKibben 气动人工肌肉,它的主要技术指标为:

PMA 直径 6 mm;重量 10 g,无压自然状态下长度 90 mm;无压受拉最长时长度 110 mm;最大收缩后长度 80 mm;最大拉力 70 N。

但气动人工肌肉也有一定的局限性,相对来说,它从无压受拉最长长度到收缩后的最短长度之间的行程比较短。这样使得机器人腿部运动范围受到一定影响。实际试验中,我们所设计的机器人运动指标为:

小腿关节摆动范围 + 15 度;大腿关节横向摆动范围 ± 10 度;大腿关节纵向摆动范围 + 15 度。图 3 是设计安装完成后的机器人实物照片。

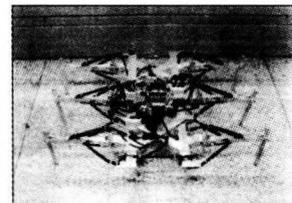


图 3 六足爬行机器人实物照片

4 结束语

本文对我们使用气动人工肌肉 PMA 设计制造的这个六足爬行机器人的步态和机械结构进行了详细介绍,我们的设计目标是在保证系统可靠性和预定功能实现的基础上,尽量简化设计,使其更有可能运用在生产生活中。

但由于气动人工肌肉自身的非线性和变直径,其精确的数学模型很难得到,所以实现气动人工肌肉的伺服控制,以提高机器人的适应性和行走的平稳性,是当前研究的一个热点。

参考文献:

- [1] T.M.Kubow, R.J.Full. The role of the mechanical system in control: a hypothesis of self-stabilization in hexapedal runners [J]. The Royal Society 354, 1999: 849 - 561.
- [2] D.L.Jindrich, R.J.Full. Many-legged maneuverability: dynamics of turning in hexapods [J]. The Journal of Experimental Biology 202, 1999: 1603 - 1623.
- [3] 范伟,彭光正,等. 气动人工肌肉驱动器在六足步行机器人中的应用 [J]. 机器人技术与应用, 2003(1).
- [4] 钱晋武. 地壁两用六足步行机器人步态运动学研究 [D]. 北京航空航天大学, 1993.