

四足滑冰机器人直线运动规律研究*

董金秋, 蒋 蓁*, 彭 为

(上海大学 机电工程与自动化学院, 上海 200072)

摘要:为研究四足滑冰机器人直线滑行运动时关节驱动参数对运动速度的影响,首先建立了机器人运动的物理模型,对运动原理进行了分析;然后采用将 Matlab 理论分析和 ADAMS 运动仿真相结合的方法,绘制了不同驱动参数和腿部关节运动协调参数下的速度曲线。最后,通过对比曲线,总结出了驱动参数和腿部关节协调参数对机器人运动速度的影响规律。研究结果表明,驱动参数和腿部关节协调参数的选择对机器人运动速度影响颇大。该研究为以后机器人的控制研究提供了依据。

关键词:四足滑冰机器人;直线滑行运动;驱动参数

中图分类号:TH122;TP242.6

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2010)11-0115-04

Research on the straightforward motion of quadruped skating robot

DONG Jin-qiu, JIANG Zhen, PENG Wei

(School of Mechatronics Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: In order to display the influence exerted on velocity of quadruped skating robot when skating straightforwardly by different joint driven parameters, a mathematical model was established firstly and the motion principle was given. Velocity curves were investigated under different driven and joint coordinate parameters, using the combined method of analyzing theoretically by Matlab and simulating by ADAMS. The law was concluded by contrasting those curves at last. The research results show that parameters above have an important effect on robot's velocity and the conclusions provide the basis for after controlling.

Key words: quadruped skating robot; straightforward motion; driven parameters

0 引 言

目前移动机器人的研究,只局限于步行和滚动模式。一般来说,步行机器人都采用关节—连杆机构,在松软或者崎岖不平的地面上(例如行星地表)行走时显示了很大的优越性。而采用轮式行进结构的步行机器人在坚硬的地表上行走时,由于没有土壤变形引起的阻力,具有较大的运动速度和能量效率。但是目前轮式机器人的驱动多为主动轮驱动,无论是机械结构还是控制方面的实现都比较复杂。本研究提出了一种新型运动模式机器人—从动轮式四足滑冰机器人,可以在光滑地面(如冰面)上,靠滚轮所受的摩擦力产生

前进动力滑行运动。滑冰机器人在光滑地面上的滑行运动模式,丰富了机器人的运动模式,大大提高了机器人的速度,提高了能量利用率。当从事极地考察活动时,滑冰机器人对环境有较强的适应能力和机动性,具有极大的推广价值。目前国内外这方面的研究,仅有日本的 Roller Walker^[1-3]、上海交大的 ISR^[4-6],但都没有针对滑冰机器人运动规律进行深入详细的研究。

本研究拟通过分析不同腿部驱动参数下对应的速度曲线来获得驱动参数对速度的影响规律。

1 四足滑冰机器人运动原理

滑冰机器人机械结构是由四条腿和躯体组成的对

称结构。在每条腿的末端,各安装有一个滚轮。每条腿有两个自由度—髋关节和膝关节,前者产生大腿的前后摆动,后者产生小腿的内外摆动。滑冰机器人的滑行动作,就是靠大、小腿的协调摆动完成的。机器人在滑行时,滚轮驱动并不是由主动轮驱动,而是利用其受到的法向摩擦力和切向摩擦力的合力来驱动前进的,因此,此处的滚动亦可称作从动轮。从动轮式机构与主动轮驱动相比,去除了转向机构、刹车机构及其它附属机构,大大减轻了机器人自身重量。滑冰机器人机械结构如图 1 所示。



图 1 滑冰机器人模型

2 滑冰机器人两条腿驱动时直线滑行运动规律探索

与常规分析方法不同,本研究直接把关节驱动规律作为研究出发点,采用符合四足哺乳动物肢体运动关系的正弦函数来驱动髋关节和膝关节^[7]。首先考虑机器人只有两条腿驱动时的运动情况。假定后面两条腿的两处关节没有驱动,滚轮方向保持向前。前面两腿的髋关节和膝关节采用相同的控制规律。由于机器人结构对称,侧向摩擦力抵消,最后的合力方向与机身前进方向平行(如图 2 所示)。髋关节处驱动规律为 $\theta(t)$, 膝关节处驱动规律为 $\alpha(t)$ 。为了使机器人的运动协调,假设 $\alpha(t)$ 与 $\theta(t)$ 存在一个相位差 ϕ 。

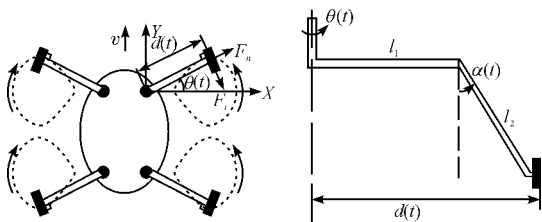


图 2 滑冰机器人腿部等效原理

令:

$$\theta(t) = -\theta_0 \sin(\pi t) \quad (1)$$

$$\alpha(t) = \alpha_0 \sin(\pi t + \phi) \quad (2)$$

则:

$$d(t) = l_1 + l_2 \sin(\alpha_0 \sin(\pi t + \phi)) \quad (3)$$

式中 θ_0 — $\theta(t)$ 的幅值; α_0 — $\alpha(t)$ 的幅值; ϕ —二者的相位差。

法向摩擦力 F_n 和切向摩擦力 F_t 计算公式如下:

$$F_n = -\text{sign}[v \sin \theta(t) + d(t)] \cdot \mu_n \cdot \frac{mg}{4} \quad (4)$$

$$F_t = -\text{sign}[v \cos \theta(t) + d(t) \theta(t)] \cdot \mu_t \cdot \frac{mg}{4} \quad (5)$$

式中 μ_n —滑动摩擦系数; μ_t —滚动摩擦系数。

则机器人所受合力为:

$$F = 2[F_n \sin \theta(t) - F_t \cos \theta(t)] \quad (6)$$

机器人滑行速度为:

$$v(t) = \int_0^t \frac{F}{m} dt \quad (7)$$

相位差 ϕ 对机器人运动协调性有着很大的影响。下面验证 ϕ 取何值时机器人运动最协调。考虑到正弦函数的周期性,在以下实验中,依次取 $\phi = 0, \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{4}, \pi, \frac{5\pi}{4}, \frac{3\pi}{2}, \frac{7\pi}{4}$, 与图 3 中图例由上至下一一对应。

同时赋予 $\theta_0 = 0.4 \text{ rad}$, $\alpha_0 = 0.7 \text{ rad}$ 。在 ADAMS^[8-9] 仿真环境中进行仿真,速度曲线如图 3 所示。

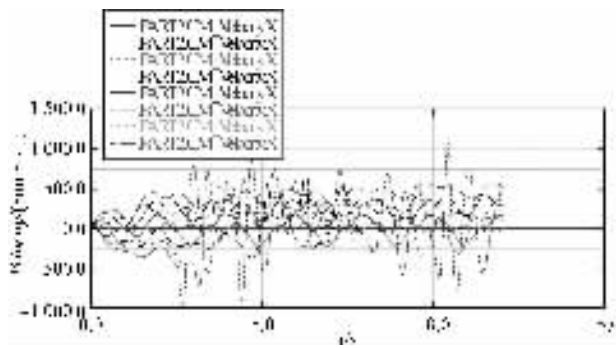


图 3 不同相位时速度曲线

由图 3 看出,当 $\phi = \frac{\pi}{2}$ 时,速度始终为正值且波动

较小。 $\phi = \frac{\pi}{2}$ 时对应的速度曲线如图 4 所示。

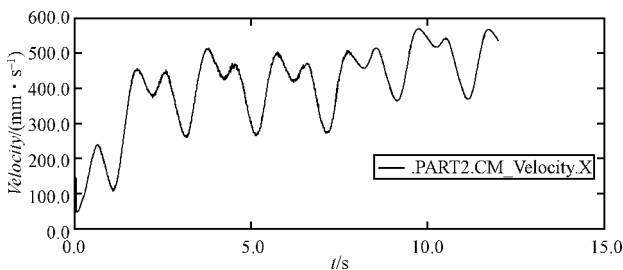


图 4 $\phi = \frac{\pi}{2}$ 时对应的速度曲线

鉴于上面分析相位差 ϕ 时 θ_0 、 α_0 的取值为任意值,不能保证运动速度的最佳值。下面分析当 θ_0 、 α_0 取何值时,速度最大且波动最小。考虑到机器人运动时的姿态及协调性,限制 θ_0 、 $\alpha_0 \in [0.1, 1] \text{ rad}$ 。首先令 $\alpha_0 = 0.1 \text{ rad}$, θ_0 在 $[0.1, 1] \text{ rad}$ 区间内变化。通过

Matlab 计算,所得曲线如图 5 所示。

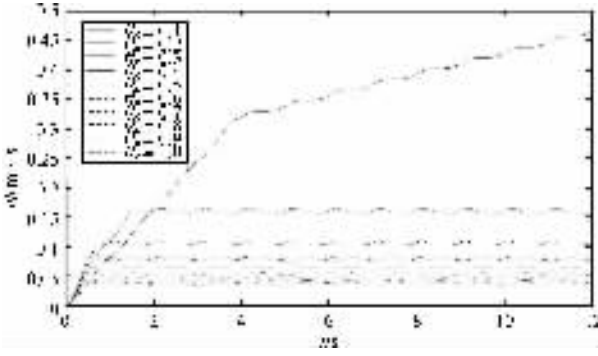


图 5 $\alpha_0 = 0.1 \text{ rad}, \theta_0 \in [0.1, 1] \text{ rad}$ 时速度曲线

通过分析图 5,可以看出,随着 θ_0 的增大,速度变小,但是到达稳定速度的时间变短。然而当 θ_0 过小时,速度不能达到稳定状态。

下面分析速度与 α_0 的关系。为了保证速度最后趋于稳定状态,选取 $\theta_0 = 0.4 \text{ rad}, \alpha_0 \in [0.1, 1] \text{ rad}$,得到 Matlab 仿真曲线如图 6 所示。

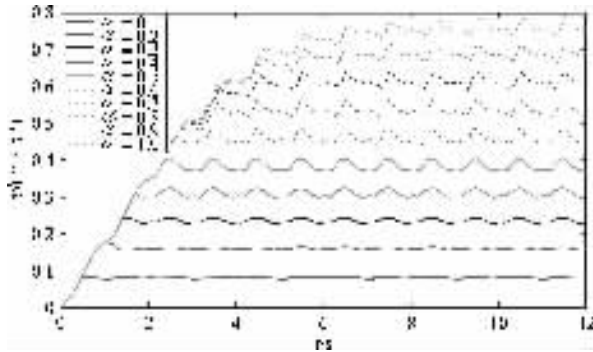


图 6 $\theta_0 = 0.4 \text{ rad}, \alpha_0 \in [0.1, 1] \text{ rad}$ 时速度曲线

由图 6 可知,随着 α_0 的增大,速度稳态值也变大,同时,达到稳态的时间也变长。

3 滑冰机器人四条腿驱动时直线滑行运动规律探索

对滑冰机器人四腿驱动直线滑行运动规律的研究主要集中在前腿与后腿协调运动相位差值对运动速度的影响方面。延用两腿驱动规律中的幅值,后腿与前腿协调运动仅有相位差 φ 一个参数。故选定参数 $\alpha_0 = 0.7 \text{ rad}, \theta_0 = 0.3 \text{ rad}, \phi = \frac{\pi}{2}$ 。探索 φ 取何值时,运动速度最大,动作最为协调。前腿运动规律同上。后腿运动规律为:

$$\theta'(t) = -\theta_0 \sin(\pi t + \varphi) \quad (8)$$

$$\alpha'(t) = \alpha_0 \sin(\pi t + \phi + \varphi) \quad (9)$$

$$d'(t) = l_1 + l_2 \sin(\alpha_0 \sin(\pi t + \phi + \varphi)) \quad (10)$$

切向和法向摩擦力为:

$$F'_t = -\text{sign}[v \cos \theta'(t) + d'(t) \theta'(t)] \cdot \mu_t \cdot \frac{mg}{4} \quad (11)$$

$$F'_n = -\text{sign}[v \sin \theta'(t) + d'(t)] \cdot \mu_n \cdot \frac{mg}{4} \quad (12)$$

4 条腿所受合力为:

$$F' = 2[F_n \sin \theta(t) - F_t \cos \theta(t) + F'_n \sin \theta'(t) - F'_t \cos \theta'(t)] \quad (13)$$

速度计算公式为:

$$v'(t) = \int_0^t \frac{F'}{m} dt \quad (14)$$

同理,依次取 $\varphi = 0, \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{4}, \pi, \frac{5\pi}{4}, \frac{3\pi}{2}, \frac{7\pi}{4}$ 。

Matlab 速度仿真曲线如图 7 所示。

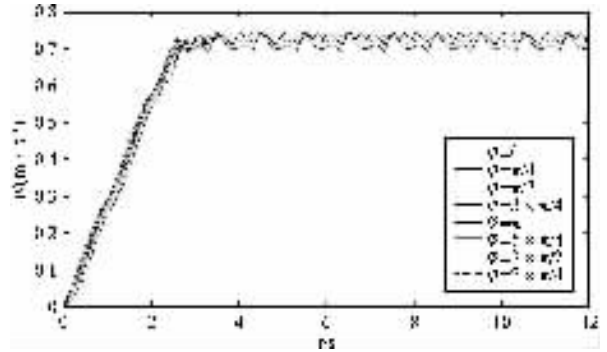


图 7 φ 取不同值时速度曲线

通过图 7 可以看出,在速度稳定状态时只有 4 条曲线,这也就意味着 φ 在区间 $[0, \pi]$ 和 $[\pi, 2\pi]$ 内的点的速度是存在某种对应关系的。仔细对比可见, $\varphi = 0$ 和 $\varphi = \pi$ 的稳态速度曲线是重叠的; $\varphi = \frac{\pi}{4}$ 和 $\varphi = \frac{5\pi}{4}$ 的稳态速度曲线是重叠的; $\varphi = \frac{\pi}{2}$ 和 $\varphi = \frac{3\pi}{2}$ 的稳态速度曲线是重叠的; $\varphi = \frac{3\pi}{4}$ 和 $\varphi = \frac{7\pi}{4}$ 的稳态速度曲线是重叠的。当 $\varphi = 0$ 和 $\varphi = \pi$ 时的速度波动是最大的,故舍弃。由于图 7 结果不是很明显,故借助于 ADAMS 软件进一步验证 $\varphi = \frac{\pi}{4}$ 和 $\varphi = \frac{\pi}{2}$ 的情况,如图 8 所示(虚线为 $\varphi = \frac{\pi}{4}$ 时的速度曲线;实线为 $\varphi = \frac{\pi}{2}$ 时的速度曲线)。从图 8 中可以看出, $\varphi = \frac{\pi}{2}$ 时速度波动较小且与 Matlab 理论计算值极为接近。因此,后腿与前腿的最佳相位差为 $\varphi = \frac{\pi}{2}$ 。

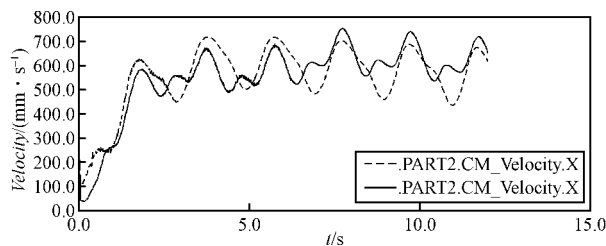


图 8 $\varphi = \frac{\pi}{4}$ 和 $\varphi = \frac{\pi}{2}$ 时速度曲线

4 结束语

本研究通过利用 Matlab 和 ADAMS 理论与仿真并行的方法,总结出了滑冰机器人腿部不同驱动参数对机器人运动速度的影响规律。研究表明,驱动参数对机器人运动性能影响颇大。该研究为机器人的控制提供了依据,为机器人技术的发展提出了一种新的思路,具有极大的科学价值。在此方法的基础上,将继续探索机器人的转弯滑行、原地旋转等动作的实现方式。

参考文献 (References):

[1] HIROSE S, TAKEUCHI H. Study on Roller-Walk: Basic

Characteristics and Its Control [C]//Proc. ICRA. Minneapolis, Minnesota: IEEE, 1996: 3265 - 3270.

[2] ENDO G, HIROSE S. Study on Roller-Walker: System Integration and Basic Experiments [C]//Proc. ICRA. Detroit, Michigan: IEEE, 1999: 2032 - 2037.

[3] ENDO G, HIROSE S. Study on Roller-Walker: Multimode Steering Control and Self-contained Locomotion [C]//Proc. ICRA. San Francisco: IEEE, 2000: 2808 - 2814.

[4] 林风云, 吕恬生, 宋立博. 从动轮式机器人运动规划的研究 [J]. 机床与液压, 2003(6): 232 - 233, 109.

[5] 林风云, 迟 琨, 吕恬生. 一种从动轮式机器人直线滑行运动特性的研究 [J]. 机械设计, 2003, 20(11): 46 - 48.

[6] 赵荣岗, 吕恬生, 徐子立, 等. 溜冰机器人基本特性研究 [J]. 机械科学与技术, 2004, 23(6): 687 - 689.

[7] 张锦荣, 赵 茜. 四足机器人结构设计与运动学分析 [J]. 现代制造工程, 2009(8): 146 - 149.

[8] 何冬青, 马培荪. 四足机器人动态步行仿真及步行稳定性分析 [J]. 计算机仿真, 2005, 22(2): 146 - 149.

[9] 谭小群, 李 军, 赵 茜. 四足机器人仿生机构模型及腿系参数优化 [J]. 设计与研究, 2008(12): 21 - 24.

[编辑: 柴福莉]

量体裁衣 SSD 固态硬盘的电脑升级新时代

在越来越信息化的现在,电脑设备成为了我们吃穿住行之外的另一大要素,作为一个现代人,已经不能离开电脑来获得信息并与朋友交流。但随着时间的推移,电脑更新换代的周期也已逐渐变短,电脑硬件升级也成为了一种新的热潮。

SSD 固态硬盘——购机升级新选择

固态硬盘其实是个专业名词,如果笔者用自己的言语来形容的话,SSD 固态硬盘是一个基于闪存性质的高科技产品,其最新的 SSD 固态硬盘只有一张普通卡牌大小,并且其外形轻薄时尚。固态硬盘最大的特色和优点其实在于其高速度,在运行大型图像处理软件时,SSD 固态硬盘在数据存取时间上仅有普通硬盘的几十分之一。而在普通数据读写的时候,SSD 固态硬盘的速度也比 7200 转的 SATA 接口硬盘快上 3 倍。而在这之外,SSD 固态硬盘也并不惧怕震动,由于内部结构的区别,SSD 固态硬盘并不会像普通硬盘那样,稍有振动就会使数据丢失甚至出现坏道,并且 SSD 硬盘在工作时没有任何噪音。

SSD 固态硬盘由于其制作成本的问题,其价格较为高昂,主流的 64GB 容量价格基本都在千元以上,其中性价比最高的当属金士顿火山 V 系列 64GB。当然比起如今动辄上 TB 的普通硬盘来说,64GB 的容量并不算大,但用户们大可以选择双硬盘的模式,既 SSD 固态硬盘作为 C 盘系统盘,将操作软件和一些对读写性能要求较高的软件装在其中,而类似普通的软件则装在普通的 SATA 接口硬盘中,这样的混搭模式同样可以为你的电脑运作提供十分显著地速度提升,并且这笔花费也只需要几百元就能搞定。

笔记本电脑的良友亲伴

对于相对高端的笔记本电脑用户来说,SSD 固态硬盘能够为其解决许多的困扰问题。首先是速度上的优势,由于笔记本电脑往往用于工作办公,所以其对硬盘的容量并不巨大,而如果购买一块 64GB 甚至 128GB 的 SSD 固态硬盘,也足够运行所有的办公软件和一些文件保存,但 SSD 固态硬盘在给用户带来的速度优势上却是显而易见的。SSD 固态硬盘同时也能带来低热量的卓越优点,一台稳定又低温的笔记本电脑将会是工作办公地最好伴侣。

笔者从自己的实用过程后发现金士顿的 V 以及 V+ 系列的 SSD 固态硬盘有着最为稳定且高速的工作优点,其用户口碑和产品的稳定性一直是同行里最好的。而在 SSD 固态硬盘中,金士顿 SSDNow 火山 V 系列的 64G 版本能够适用于笔记本电脑和台式机的各类运用,而其性价比也是所有 SSD 中最高的一款。如果你想试试时代 SSD 固态硬盘所带来的卓越感受,那选择金士顿的产品将不会让你有后顾之忧。

