A-PDF Split DEMO : Purchase from www.A-PDF.com to remove the watermark

包含新型机构的仿水黾机器人设计及实现

孙天夫[1],李 哲[2],罗 婧[2],梁延德[2*]
(1. 大连理工大学 建设工程学部,辽宁 大连 116024;2. 大连理工大学 机械工程学院,辽宁 大连 116024)

摘要:针对模拟水黾优异的水面驱动方式,基于仿生学原理,研究并适当改进水黾水面行走原理,提出了一种新型水面行走机构。通过运用一种具有超越离合、相位记忆和单向传动功能的新型内棘轮式齿轮机构作为传动控制机构制造了一种水上行走机器人样机,进行了机器人的控制系统软、硬件自主开发。并且在实验室条件下对样机进行了性能测试。实验结果表明,所设计的仿水黾机器人可以很好地实现前进、转弯等运动;此外小的转弯半径是该机器人最突出的优点,从而能够在更窄的航道内灵活地运动。

关键词:仿生;机器人;水黾;超越离合;内棘轮
中图分类号:TH122;TH112;TP242.3;TP242 **文献标志码**:A **文章编号**:1001-4551(2012)01-0038-04

Design and manufacturing of water strider robot based on novel driving mechanism

SUN Tian-fu[1], LI Zhe[2], LUO Jing[2], LIANG Yan-de[2]
(1. Faculty of Infrastructure Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;
2. School of Mechanical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: Aiming at mimicking water strider's excellent performance on water, a novel bionic robot based on the principle that water strider could walk on water surface was introduced. A novel type of gear which combined with an inner ratchet mechanism with a signal pawl was applied to the robot as the transmission driving mechanism. The gear not only could work as an overrunning clutch, but also had the ability of keeping the transmission shaft's phase position. The hardware and software of the robot's control system were developed. Tests to measure performance were executed in laboratory condition. The experimental result indicates that the water strider robot is quite controllable while advancing or turning around on water surface. Moreover, the most marked characteristic of the robot is its very small turning radius, which permits a more flexible movement in a narrower channel.

Key words: bionic; robot; water strider; overrunning clutch; inner ratchet

0 引 言

根据仿生学设计出一种更为优越的水上驱动方式已经成为一个重要的研究方向。其中水黾在水面运动中的完美表现,吸引了多方的注意。水黾是一种生活在池塘和湿地中常见的小型水生昆虫,可以在水面快速划行甚至跳跃。水黾的运动方式有诸多优点,例如:结构平稳性好,不易翻覆[1],水的阻力小,推进效率高,机动性好等。因此,各国很多学者都对水黾的飘浮机理和运动方式进行了深入的研究,利用高精度显微镜观察了水黾腿部的细微结构[2-3]、水黾水面运动规律的研究[4]、水黾腿部疏水性的研究等。但是上述研究都还只是处于探索性的实验阶段,仍有很多问题有待解决。

机器人学者则希望造出具有水黾优点的仿生机器人。美国卡内基梅隆大学的斯汀教授通过压电制动器实现水黾机器人的运动[5];美国麻省理工学院的数学家约翰教授研究依靠弹性变形驱动前进的水黾机器

收稿日期:2011-08-01
作者简介:孙天夫(1985-),男,辽宁沈阳人,主要从事机器人设计、结构数值模拟方面的研究. E-mail:tianfu.sun@foxmail.com
通信联系人:梁延德,男,教授,博士生导师. E-mail:lydjx@dlut.edu.cn

人;哥伦比亚大学的戈德教授制作出了利用电机驱动的水上行走机器人。以上 3 种机器人均模仿生物原形依靠水面张力停留在水面上。日本中央大学研究双电机分别驱动的水上行走机器人和河北工业大学研究的电磁铁驱动水黾机器人[6-7]则依靠腿部浮力停留在水面上。

本研究从功能仿生的角度进行水上行走机器人的研究,提出具有一种全新的推进机构和传动机构,依靠双电机驱动和腿部浮力实现水黾机器人的运动,并进行机器人样机运动模拟、样机制作以及运动效果测试。

1　水黾的漂浮及运动原理

水黾腿部附着着一层朝着同一方向排列的,直径从 3 μm 到几百纳米,长度约为 50 μm 的微细刚毛。这些刚毛在腿表面形成沟槽,使空气能够吸附在这些沟槽中,形成一层稳定的空气膜,阻碍了水的浸润,使水黾的腿具有超疏水性,依靠超疏水性所形成的表面张力,水黾能够在水面上爬行和跳跃。当水黾在水面行走时,利用其长足在水面制造出螺旋状涡流,借助涡流的推力,可以在水面高速推动自身前行。当转向时,水黾一侧的驱动腿不动,另一侧的驱动腿进行划动,从而使水黾两侧受力不均,使水黾转向[8]。

2　仿水黾机器人机械结构设计

2.1　驱动机构设计

本研究选用常用的直流电动机作为水上行走机器人驱动器。为了模拟水黾的运动机理,驱动机构需要实现把电动机的转动输出转化成摆动输出。为了更好地模拟水黾身小腿长的结构特点并提高驱动机构的运动性能,本研究以六杆机构为基础采用运动链法[9]对驱动机构进行设计。六杆机构的基础运动链有瓦特链和史蒂芬孙链两种,根据驱动机构的设计要求,六杆中有机架(与机器人机身相连)、曲柄(电机驱动)、摆杆(运动腿)3 个重要功能件;本研究考虑到运动时的稳定性,曲柄和摆杆都必须通过转动副和机架相连;若有移动副应该和摆杆或者机架相连。可以得到 8 种机构方案。按照 8 种方案 0-1-2 个移动副的分类中每类挑选出两种进行一般化,得到 6 种机构方案,如图 1 所示。

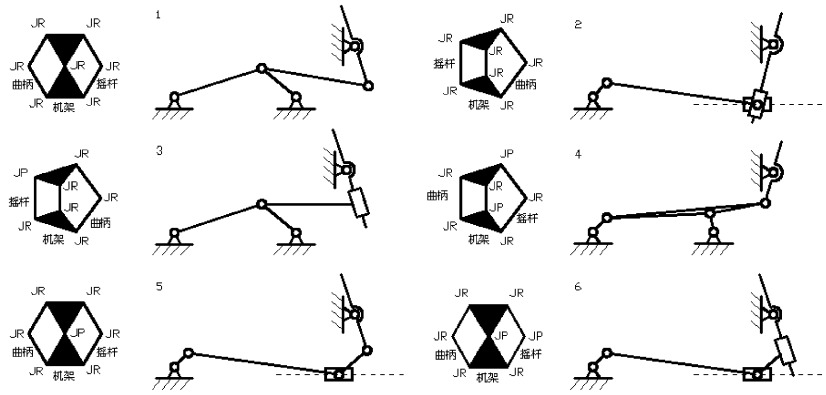


图 1　运动链一般化后的机构方案

JR—转动副;JP—移动副

通过比较可以看出方案 2 的结构最为紧凑,零件相对集中,考虑到水上行走机器人的机构大小对于所需浮力的影响,应采用尽量紧凑的机构。故本研究选择方案 2 作为驱动机构,其简图如图 2 所示,通过结合曲柄滑块机构和摇杆滑块机构将电机的转动输出转化为沿圆弧的摆动。

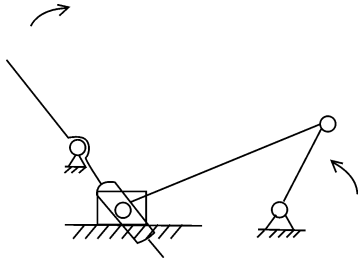
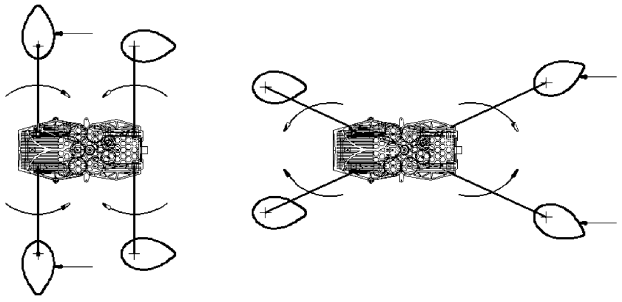


图 2　驱动机构简图

2.2　漂浮及划水机构设计

机器人脚部用气泡型泡沫塑料模拟水黾脚部在水中形成的空腔,为整个机器人提供浮力。脚部与腿部的链接设有弧形限位滑槽,使得脚部可以绕腿部在一定角度内自由转动。当机器人腿部摆动时,机器人脚部会随着腿部在一定角度内摆动,并根据水的阻力调节开合角度。机构前行原理图如图 3 所示,当机器人

前行时,前后两对腿做反向摆动,脚也在水流的作用下相对腿部摆动,当脚部与腿部的转角达到一定角度时,脚部与腿部的限位槽限制脚部继续转动,使脚部受到水流的阻力,从而产生推进机器人向前运动的推进力。如图 3(a)所示,当前后两对腿相向运动时,前部脚受水流推力。如图 3(b)所示,当两对腿相背运动时,后部脚受腿推力。因此,机器人在前进过程中,两对腿轮流提供向前的推力,使机器人前进,当机器人身体一侧的腿静止,而另一侧划水时,则机器人可以实现转弯。



(a)前脚划水　　(b)后脚划水

图 3　机构前行原理示意图

2.3　传动机构设计

机器人的控制电路由一个无线接收模块接收遥控信号[10-13],由译码器译码,通过 C51 单片机控制 4 个电磁继电器组成的四通道遥控开关控制两个电机(电机 M1 和电机 M2)的正传或反转。

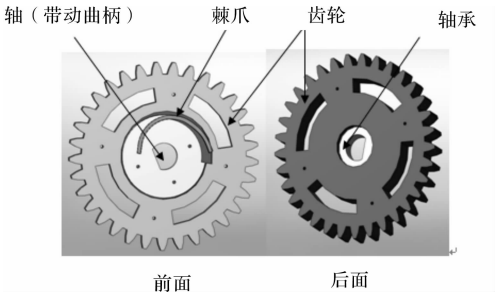
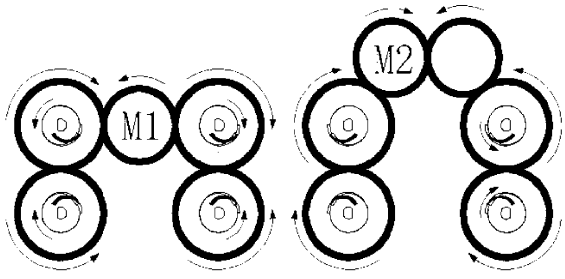


图 4　内棘轮式齿轮机构



(a) 下层内棘轮式齿轮组　　(b) 上层内棘轮式齿轮组

图 5　电机、内棘轮式齿轮机构工作原理

电机 M1 和电机 M2 同时驱动 4 组,每组上下两层内棘轮式齿轮机构,如图 4 所示。由于内棘轮式齿轮机构具有离合功能和单向传动功能,并且能够保持离合前外齿轮转动角度,本研究只要合理布置内棘轮式齿轮机构,就可以通过电机 M1 或电机 M2 的正转或反转带动曲轴,控制机器人前进、左转、右转、静止。电机、内棘轮式齿轮机构装配关系如图 5 所示。每组上下两层内棘轮式齿轮机构装配在同一轮轴上。当电机 M1 正转时,电机通过齿轮带动下层的 4 个齿轮,这时 4 个棘轮处于正向状态,在齿轮的带动下转动并把运动经过轮轴传递给曲柄滑块机构。再由曲柄滑块机构把运动传递给 4 支脚,4 支脚分为前后两组,两组相对反向运动,轮流划水提供推动力,使机械前进。当电机 M2 正转时(如图 5(b)所示),齿轮只能带动上层右边一侧的两个棘轮转动,从而只驱动右侧的两支脚滑水,而左侧的脚静止,致使机械左右两侧受力不均,产生力矩,实现左转向。同理电机 M2 反转时相应实现右转。当电机再次正转时,由于内棘轮式齿轮机构可以保留离合前棘轮的转动角度,左右两侧腿的相位可以自动调节,使对称两只脚分别同步,恢复直行。

3　机器人样机制作

在挑选机器人机体材料时,需要考虑材料的特性,基于它们的密度和抗拉强度来进行选择。由于 4 只脚所能提供的浮力有限,本研究选择具有低密度、高拉张强度的有机玻璃作为本体,碳纤维棒作为腿部构件,并进行了样机的制作。

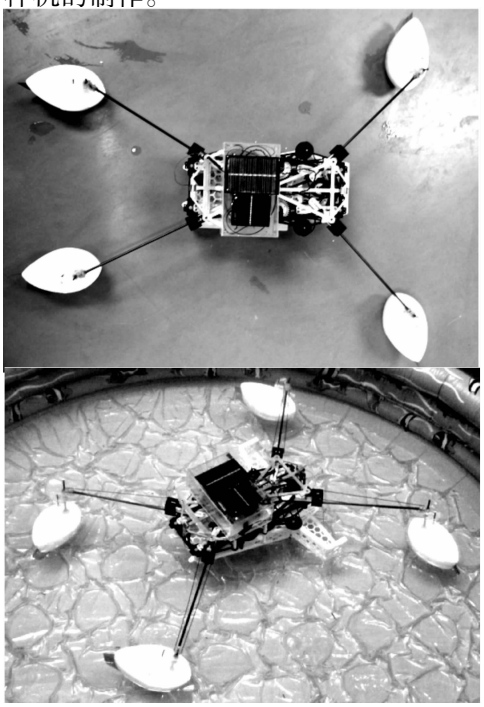


图 6　仿生水上行走机器人样机

通过实体建模、运动分析、加工工艺选择等过程,本研究进行了样机制作。仿生水上行走机器人样机如图 6 所示,具体参数如表 1、表 2 所示。

表 1　电机参数

电压	电机转速	空载电流	堵转扭矩	堵转电流
U/V	n/(r · min^{-1})	I/mA	T/(kg · cm)	I/A
12	26 000	40	3.0	0.52

表 2　机器人机体参数

机体长度/mm	机体宽度/mm	腿长/mm	重量/kg
255	134	160	0.7

4　机器人性能测试

性能测试截图如图 7 ~ 9 所示,根据样机测试,样机能够很好地完成水上行走和转弯动作,获得样机性能参数如下:机器人平均前行速度 v = 200 mm/s;转向角速度 ω = 16.36 rad/s, 转弯半径小于 230 mm;反应时间 t = 0.1 s。

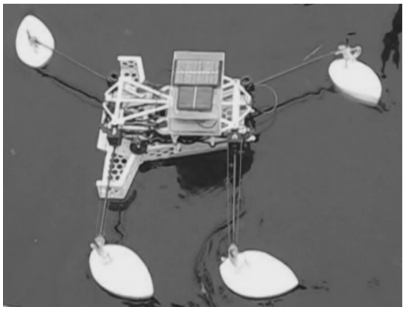


图 7　右转弯截图

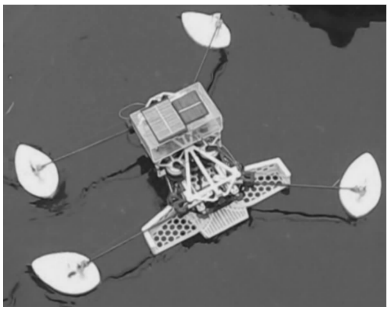


图 8　左转弯截图

5　结束语

本研究基于水黾的水面运动原理,并结合运动链设计理论进行了适当改进,设计出了一种新型的水面行走机构,提出了一种新型的内棘轮式齿轮机构,并进行了样机制造和测试。

测试结果表明,该研究中设计的机器人拥有良好的前行速度和机动性能,可很好地在水中实现前进和

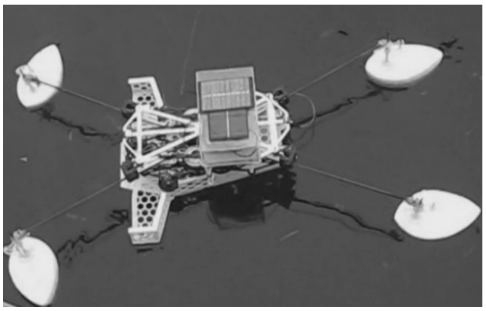


图 9　直行截图

转弯动作,且转弯半径小,响应速度快,负重能力较强。同时 4 只脚形成的稳定面大大提高了机器人的平稳性能和抗翻覆能力,为仿水黾机器人的进一步研究与应用提供了一定的帮助。

参考文献(References):

[1] GHASSEMINIA A S, FARAJ A. Storm resistant boat designing based on the geometry and movement of water strider [J]. **Journal of Bionic Engineering**, 2008(5): 87-90.

[2] SUN Tao-lei, FENG Lin, GAO Xue-feng, et al. Water-repellent legs of water striders [J]. **Nature**, 2004, 432 (7013): 36.

[3] GAO Xue-feng, JIANG Lei. Bioinspired surfaces withspecial wettability [J]. **American Chemical Society Published on Web**, 2005, 38(8): 644-652.

[4] HU D L, CHAN B, BUSH J W M. The hydrodynamics of water striderlocomotion [J]. **Nature**, 2003, 424(6949): 663-666.

[5] SONG Y S, SITTI M. Surface-tension-driven biologically inspired waterstrider robots: theory and exper-iments [J]. **IEEE Transactions on Robotics**, 2007, 23(3): 578-589.

[6] 张兆隆,高铁红,高　勇. 一种仿水黾新型水上行走机器人的研究[J]. 机械传动,2008, 32(3): 18-21.

[7] GAO Tie-hong, CAO Jun-yi, GAO Feng, et al. The Research of a Bionic Robot that Can Walk on Sater Surface based on Water Strider [C]// International Technology and Innovation Conference 2007. Hangzhou: [s. n.], 2007: 214.

[8] 马宝丽. 基于 VB 软件的盘形凸轮机构的参数化设计与运动分析[J]. 轻工机械, 2010(6):56-59.

[9] 颜鸿森. 机械装置的创造性设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.

[10] 罗　成,秦红玲. 六足机器人模块化结构设计[J]. 机电工程,2009,26(6):17-19,23.

[11] 金　波,胡　夏,俞亚新. 新型六足爬行机器人设计[J]. 机电工程,2007,24(6):23-25,36.

[12] 杨壮凌,李春起,卢旭锦,等. 具有救援工作模拟功能的仿生机器人的研制[J]. 机电工程技术,2011,40(5):58-60,108.

[13] 林德龙. 舵机驱动仿生四足机器人设计[J]. 机械,2011,38(2):66-69.

[编辑:张　翔]