

仿阿米巴机器人结构与转弯机理分析

孙恒辉 骆敏舟 董翔 钱荣荣

(中国科学院合肥物质科学研究院, 安徽 合肥 230031)

摘要 对阿米巴变形虫运动以及其中的受力情况进行了分析,得到了变形虫在尾部收缩力作用下的运动规律.基于仿阿米巴机器人尾部收缩和皮肤翻转的运动特征,采用弹簧和阻尼系统,设计了一种仿阿米巴机器人的运动机构,分析了仿阿米巴机器人与外界某一平面同时接触的2条带状皮肤应具有不同的速度,以实现转弯运动,并讨论了一种不同带状皮肤具有不同速度的实现方法.

关键词 仿阿米巴机器人; 弹簧-阻尼系统; 转弯运动; 运动规律; 尾部收缩

中图分类号 TP24 **文献标志码** A **文章编号** 1671-4512(2011)S2-0018-03

Amoeba-like robot mechanism designing and turning method analyzing

Sun Henghui Luo Minzhou Dong Xiang Qian Rongrong

(Hefei Institute of Physical Science, Chinese Academy of Science, Hefei 230031, China)

Abstract The situations of motions and forces to amoeba were analyzed when it were moving. The kinematics characteristics of amoeba under the effect of tail contracting force were got. Based on the kinematics characteristics of amoeba-like robot including the movement of tail contracting and skin turning over, a new mechanism for Amoeba-like robot was designed, which was applied with the spring and damping systems. To reach the turning movement, the velocities of the two strip-skins of Amoeba-like robot, which contact to the same plane outside, should be different. A way to achieve the different velocities of the different strip-skins were discussed at last.

Key words Amoeba-like robot; spring-damping systems; turning movement; kinematics characteristics; tail contracting

对机器人驱动和运动方式的研究一直是移动机器人研究的重点之一^[1-2].传统的移动机器人一般由电机驱动履带运动,存在着机构尺寸大、响应慢、效率低等缺陷.在一些非结构性环境下,诸如管道检测、人体医疗检查、倒塌狭小空间搜救等,影响了移动机器人作业的成功率,因而有必要为移动机器人研制出特殊的、更高要求的驱动方式^[1-3].

尾部收缩和皮肤翻转模型^[4],比较成功地解释了阿米巴变形虫的运动机制,以此为基础研制的仿阿米巴机器人依靠尾部收缩产生的压力迫使内部皮肤翻转为外部皮肤,通过外部皮肤与外界

摩擦力来实现机器人的运动.仿阿米巴机器人内部皮肤翻转为外部皮肤的运动方式^[5-6],使其具有进入狭窄管道进行检查的能力,而可转弯的仿阿米巴机器人将具有更多的优势.

1 阿米巴变形虫基本运动机理

阿米巴变形虫的运动是基于皮肤运动机制(SL, skin locomotion)^[4-7]实现的.如图1所示,阿米巴变形虫运动依赖于从细胞本身伸展出来的伪足部分,是保证其变形和运动前进的主要功能器件.阿米巴变形虫的细胞质在内质管中向前流

收稿日期 2011-06-15.

作者简介 孙恒辉(1983-),男,助理研究员, E-mail: sunhenghui@iim.ac.cn.

基金项目 国家自然科学基金资助项目(60875069, 61005075); 国家高技术发展研究计划资助项目(2007AA041502-3); 2009年合肥物质科学研究院院长基金资助项目.

动,使伪足突出体外,运动时其整个皮肤都用来作翻转运动,通过体态变化及界面的摩擦力实现整个细胞的运动。

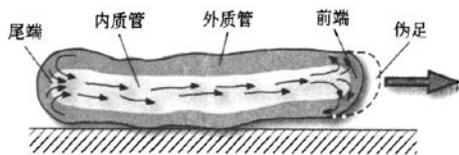


图 1 阿米巴的运动机制

利用不同的颜色表示不同的皮肤工作区域,图 2 描述了仿阿米巴机器人的运动过程。图 2(a)表示机器人的初始状态,当机器人的左端的外部受到一定的径向收缩压力 F 时,内层皮肤向右运动,外层皮肤向着左边移动,于是机器人运动到图 2(b)状态,再施加压力,机器人运动到图 2(c)状态,这时内外皮肤正好轮换位置,机器人依靠向前产生的变形向前运动。

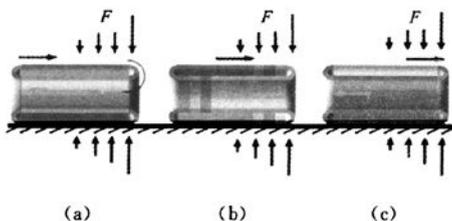
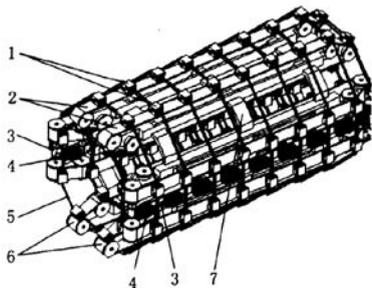


图 2 仿变形虫机器人的运动过程

2 仿阿米巴机器人结构设计

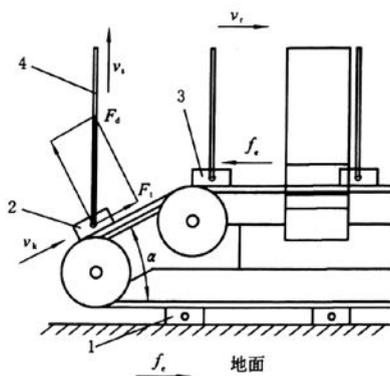
基于仿阿米巴机器人尾部收缩和皮肤翻转的运动特征,设计了一种仿阿米巴机器人的运动机构。如图 3 所示,仿阿米巴机器人由主架、电机、节点、绳、带状移动皮肤、放置电机的带状皮肤组成,绳两端固定在电机转轴上,绳不间断地穿过带状移动皮肤上的节点,节点与带状移动皮肤固定。



1—节点; 2—带状移动皮肤; 3—放置电机的带状皮肤; 4—电机; 5—带状移动皮肤; 7—主架。

图 3 仿阿米巴机器人基本结构示意图

如图 4 所示,处于位置 2 的第 1 层电机旋转起一部分绳,使得绳的长度以速度 v_k ,从初始



1—节点位置 1; 2—节点位置 2;
3—节点位置 3; 4—绳。

图 4 仿阿米巴机器人运动示意图

长度 l_0 缩短到长度 l_1 ,绳由此产生向中心的紧缩力 F_d ,紧缩力 F_d 沿带状皮肤斜面的分力 F_t 克服带状皮肤与外界平面的阻力 f_c ,拉动节点以速度 v_k 运动。若定义位置 2 到位置 3 的直线与地面的夹角为 α ,紧缩力 F_d 和分力 F_t 之间的关系可表示为 $F_d = F_t \cos \alpha$ 。

节点和带状皮肤是相互固定的,因此节点的速度 v_k 等于带状皮肤的速度 v ,带状皮肤进一步推动整个机器人以速度 v_r 运动。当第 1 层电机和节点由外层运动到内层,即由位置 2 运动到位置 3 时,第 2 层电机和节点将由位置 1 运动到位置 2。此时,第 1 层绳的长度已经达到最小,机器人的驱动功能将由运动到第 1 层电机和节点原先位置的第 2 层电机和节点完成,以进行连续的尾部收缩和皮肤翻转运动。

在仿阿米巴机器人与某一平面接触的 2 条带状皮肤上交叉布置节点,如图 5 所示,此时绳 1 和绳 2 只与各自节点中的中心推杆相互作用,并因穿过另一个节点的光孔而与该节点无干涉。

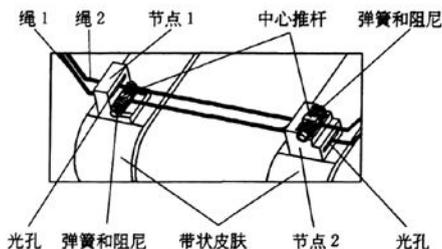


图 5 转弯运动机构

由于节点固定在带状皮肤上,因此节点外壳的速度即为带状皮肤的速度。采用矩阵形式,定义弹簧的弹性系数为 K ,阻尼系数为 C ,变速节点中有 2 根弹性系数为 $K/2$ 的弹簧。图 6 模型中带状皮肤 1 的速度 v_1 和带状皮肤 2 的速度 v_2 可表示

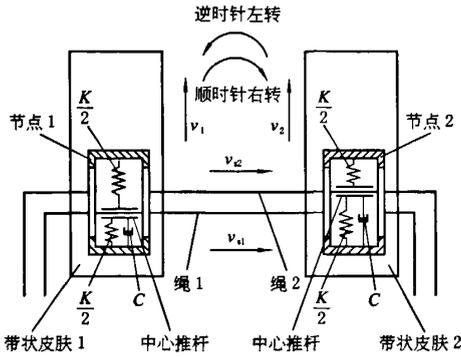


图 6 转弯基本机理

为节点外壳速度 v_k 、中心推杆速度 v_p 的关系式为

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Omega_1(t) \\ \Omega_2(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{p1} \\ v_{p2} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

式中: A_{11} 、 A_{12} 、 A_{21} 和 A_{22} 表示与初始状态有关的某一常数; $\Omega_1(t)$ 和 $\Omega_2(t)$ 表示与节点特征参数相关的函数。

3 转弯机理分析

参考式(1),令带状皮肤 1 和 2 的初始状态一致,则 2 条带状皮肤的速度 v_1 和 v_2 可表示为

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Omega_{11} \\ \Omega_{22} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_p \\ v_p \end{bmatrix}, \quad (2)$$

式中 B_{12} 、 B_{21} 和 B_{22} 是与初始状态有关的常数。此时 $v_1 = v_2$, 仿阿米巴机器人将作直线运动。

取绳 1 的速度 $v_{s1} = v_s$, 引起中心推杆的速度为 v_p , 绳 2 的速度 $v_{s2} = 0$, 引起中心推杆的速度为零, 带状皮肤 1 和 2 的速度 v_1 和 v_2 可表示为

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Omega_1 \\ \Omega_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_p \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

式是 B_{11} 是与初始状态有关的常数, 此时 $v_1 \neq 0$, $v_2 = 0$, 参考图 6, 仿阿米巴机器人将顺时针右转。

取绳 1 的速度 $v_{s1} = 0$, 引起中心推杆的速度为零, 绳 2 的速度 $v_{s2} = v_s$, 引起中心推杆的速度也为 v_p , 带状皮肤 1 和 2 的速度 v_1 和 v_2 表示为

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ B_{21} & B_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Omega_1 \\ \Omega_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ v_p \end{bmatrix}, \quad (4)$$

此时 $v_1 = 0$, $v_2 \neq 0$, 参考图 6, 仿阿米巴机器人将

逆时针左转。

本文设计了一种仿阿米巴机器人结构, 对采用绳收缩为驱动方式的仿阿米巴机器人, 讨论了在某一平面上的 2 条带状皮肤实现 $v_1 = v_2$, $v_1 < v_2$, $v_1 > v_2$ 不同速度的方法, 是实现仿阿米巴机器人前进、左转、右转的前提条件。

本文提出的转弯方法为进一步研究仿阿米巴机器人的运动方式及其控制策略打下了基础, 并为履带式移动机器人提供了一种可供参考的转弯方法, 具有一定推广意义。

参 考 文 献

- [1] Phee L, Menciassi A, Accoto D, et al. Analysis and development of locomotion devices for the gastrointestinal tract[J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2002, 49(6): 613-616.
- [2] Kassim I, Ng W S, Feng G, et al. Review of locomotion techniques for robotic colonoscopy[C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation. New York: IEEE, 2003: 1086-1091.
- [3] 刘金国, 王越超, 李斌, 等. 灾难救援机器人研究现状、关键性能及展望[J]. 机械工程学报, 2006, 42(12): 218-245.
- [4] Hou Jiping, Luo Minzhou, Mei Tao. The design and control of amoeba-like robot[C]// 2010 International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCSM). Taiyuan: ICCASM, 2010: 88-91.
- [5] Cameron I, Rinaldi R A, Kirby G, et al. Amoeba proteus displays a walking form of locomotion[J]. Cell Biology International, 2007, 31(8): 759-762.
- [6] Yokoi H, Nagai T, Ishida T, et al. Amoeba-like robots in the perspective of control architecture and morphology/materials[C]// 2001 International Workshop on Morpho-functional Machines. Tokyo: Morpho-Functional Machines, 2003: 99-129.
- [7] Nagai T, Yokoi H, Kakazu Y. Development of a morpho-functional machine: design of an amoeba-like reconfigurable robot[J]. Advanced Robotics, 1999, 13(3): 269-270.

仿阿米巴机器人结构与转弯机理分析

作者: [孙恒辉](#), [骆敏舟](#), [董翔](#), [钱荣荣](#)

作者单位: [中国科学院合肥物质科学研究院, 安徽合肥 230031](#)

引用本文格式: [孙恒辉](#). [骆敏舟](#). [董翔](#). [钱荣荣](#) 仿阿米巴机器人结构与转弯机理分析[会议论文] 2011