

基于相位调整法实现蛇形机器人避障功能的研究^①

卢振利^② * * * * * 刘超* 谢亚飞* * * 徐惠钢* 单长考* 许仙珍* 李斌**

(* 常熟理工学院电气与自动化工程学院 常熟 215500)

(** 中国科学院沈阳自动化研究所机器人学国家重点实验室 沈阳 110014)

(*** 中国矿业大学信息与电气工程学院 徐州 221116)

(**** 阿威罗大学电子和信息通信工程研究所 阿威罗 3810-193, 葡萄牙)

摘要 为了提高蛇形机器人在实际环境中的实用性, 研究了蛇形机器人的避障功能, 并提出了一种基于相位调整的蛇形机器人避障方法。该方法用安装在蛇形机器人头部的红外避障传感器模块检测前方是否有障碍物, 若有障碍物, 则用相位调整法改变蛇形机器人每个关节的步态相位来控制蛇形机器人的蜿蜒运动以实现转弯, 从而避开障碍物。而且应用红外传感器来感知障碍物的几何特性, 若感知到大型障碍物, 机器人蜿蜒运动行进采用顺障策略实现避障功能, 若感知到小型障碍物, 采用绕障策略。该研究可为推进蛇形机器人的实用化提供技术储备。

关键词 蛇形机器人, 避障, 相位调整, 蜿蜒运动

0 引言

动物的各种复杂运动方式给仿生机器人的研究带来了很大的启发, 蛇形机器人就是受生物蛇的运动机制的启发研制而成的一种无肢仿生机器人^[1-4]。随着机器人学的兴起, 特别是仿生机器人的活跃, 蛇形机器人的研究、研制及实用化已成为仿生领域的研究热点。蛇形机器人在灾难救援、战场上扫雷、爆破、管道维修以及星际探测等领域有着广阔的应用前景^[5-11]。

蛇形机器人典型步态中的蜿蜒运动是一种有规律的周期运动, 是蛇形机器人通过各个关节模块之间有规律性的振荡而产生的一种运动形态。振荡波形通常是根据地面环境的不同而改变的, 当蛇形机器人前进方向存在障碍物时, 蛇形机器人无法按正

常的蜿蜒运动曲线运动, 这时蛇形机器人需根据障碍物的情况及时改变振荡波形或者运动状态, 避开障碍物继续前进。蛇形机器人要真正走向实际应用, 首先要解决在复杂环境中如何运动以及如何实现适应环境的避障功能, 即解决蛇形机器人在有障碍物的环境中怎样避免与障碍物发生碰撞以实现无碰撞的运动。由于蛇形机器人采用多模块相互串联连接而成, 具有较多的自由度, 所以可以利用较多的自由度与细长的身体来完成各种躲避障碍物的动作^[12-14]。本文在研究蛇形机器人应用蛇形曲线实现蜿蜒运动的基础上, 提出了一种基于相位调整的蛇形机器人避障方法, 该方法利用漫反射式避障传感器模块探测前方有无障碍物, 遇到障碍物时通过用相位调整法改变蛇形机器人每一个关节的步态相位来控制蛇形机器人蜿蜒运动实现转弯, 从而避开障碍物。

^① 国家自然科学基金(61473283), 机器人学国家重点实验室开放基金(2014-008), 校新引进教师科研启动项目(XZ1306)和葡萄牙科技部 CIENCIA 2007 基金资助项目。

^② 男, 1974 年生, 博士, 硕士生导师; 研究方向: 机器人智能控制; 联系人, E-mail: zhenlilu@cslg.cn
(收稿日期: 2015-03-15)

1 具有避障功能的蛇形机器人系统

为研究蛇形机器人的实用性,设计了蛇形机器人样机如图1所示。该机器人应用红外传感器实现障碍物探测,红外避障传感器如图2所示。蛇形机器人控制系统架构图如图3所示。

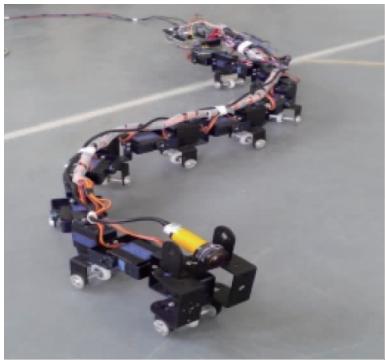


图1 蛇形机器人本体



图2 避障传感器

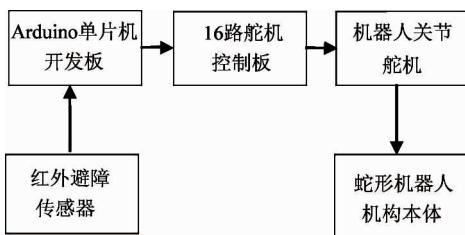


图3 系统架构图

通过将红外传感器集成到单片机实现自主障碍物探测和避障,该传感器相关参数见表1。

表1 避障传感器 E18-D80NK 参数

直流电压(V)	5
电流(mA)	100
距离(mm)	30~800
直径(mm)	17
传感器长度(mm)	45
引线长度(mm)	450

2 用相位调整法实现蛇形机器人转弯的数学表达

用相位调整法可使蛇形机器人不论是在直线蜿蜒运动中还是在转弯过程中都保持蛇形曲线的波形,而且能够一次性准确执行转弯角^[15]。蛇形机器人蜿蜒直线运动时,可以结合相位调整法实现转弯功能,公式如下:

$$\beta_i(s) = -2\alpha(\sin(kn \times \pi/N))(\sin(2kn \times \pi \times S/L + 2kn \times \pi \times i/N - kn \times \pi/N)) + k1 \times unit_len \quad (1)$$

公式(1)中 $\beta_i(s)$ 为关节 i 的弧度; α 为蛇形曲线起始弯角; Kn 为 S 波个数; N 为关节数; L 为机器人长度; $k1$ 为蛇形机器人转弯系数, $unit_len$ 为蛇形机器人每一节的长度。其中弧度转换为角度公式如下:

$$\theta(i) = \beta_i(s) \times 180/\pi \quad (2)$$

蛇形机器人关节舵机旋转脉冲数计算公式如下:

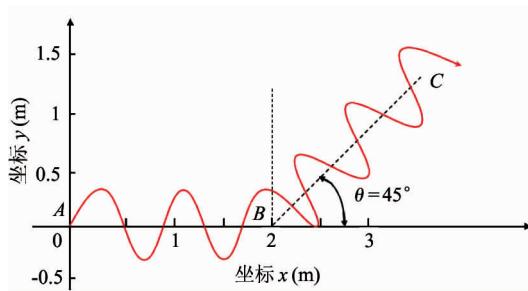
$$Position[i] = \theta(i) \times 100/9 + 1500 \quad (3)$$

3 用相位调整法实现蛇形机器人转弯的试验

在蛇形曲线其它参数给定的情况下(如表2所示)改变 $k1$ 的值,可以实现蛇形机器人不同角度的转弯。蛇形机器人 45° 转弯的运动轨迹和关节角度变化如图4所示。

表 2 蛇形曲线公式参数表

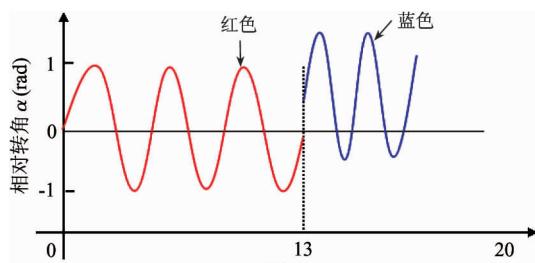
$\alpha (^\circ)$	0.8
Kn	1.0
N	8
$L (mm)$	1140
$unit_len (mm)$	130.0



(a) 蛇形机器人运动轨迹示意图

具体试验如下：

在图 4 中,路线 AB 段 $k_1 = 0$,蛇形机器人沿着中心直线蜿蜒运动;在路线 BC 段 $k_1 = 0.004$ 时,蛇形机器人实现 45° 转弯。试验结果如图 5 所示。



(b) 关节角度变化

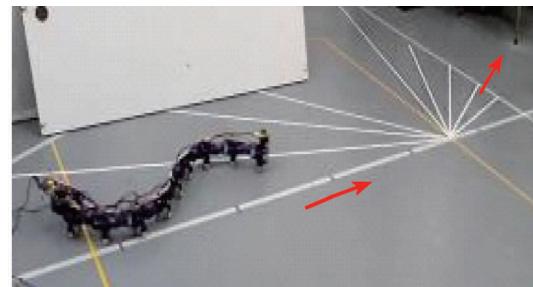
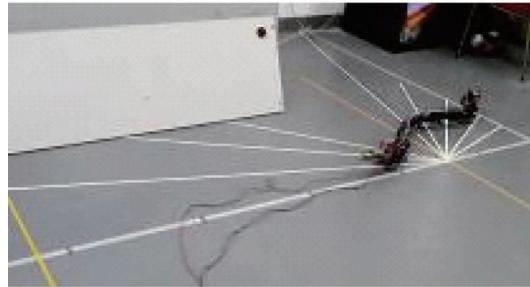
图 4 蛇形机器人 45° 转弯(a) $t=9s$ (b) $t=13s$ (c) $t=16s$ (d) $t=19s$

图 5 试验结果

通过试验可得,蛇形机器人实现不同角度转弯对应的 k_1 值如表 3 所示。

表 3 蛇形机器人实现不同角度转弯对应的 k_1 值

$\theta (^\circ)$	15	30	45	60	75	90
k_1	0.003	0.0036	0.004	0.005	0.0107	0.01502

4 蛇形机器人避障策略的实现

在蛇形机器人头部装一个 E18-D80NK 红外光电开关传感器(漫反射式避障传感器模块),用来检测其前方是否有障碍物。蛇形机器人在其前进方向遇到障碍物时,利用相位调整法来改变蛇形机器人蜿蜒运动规划下每一个关节的相位,达到控制机器人蜿蜒运动中避开障碍物的目的。

为实现避障,蛇形机器人要探测障碍物的几何尺寸。蛇形机器人头部关节安装的红外避障传感器左右分别旋转45°,若在45°角位置红外传感器探测到前方无障碍物,则认为是遇到小型障碍物,执行绕

过障碍物策略;若在45°角位置红外传感器探测到前方仍有障碍物,则认为是遇到大型障碍物,执行转弯90°后沿着障碍物边缘继续蜿蜒前行策略。其具体的避障算法流程如图6所示。

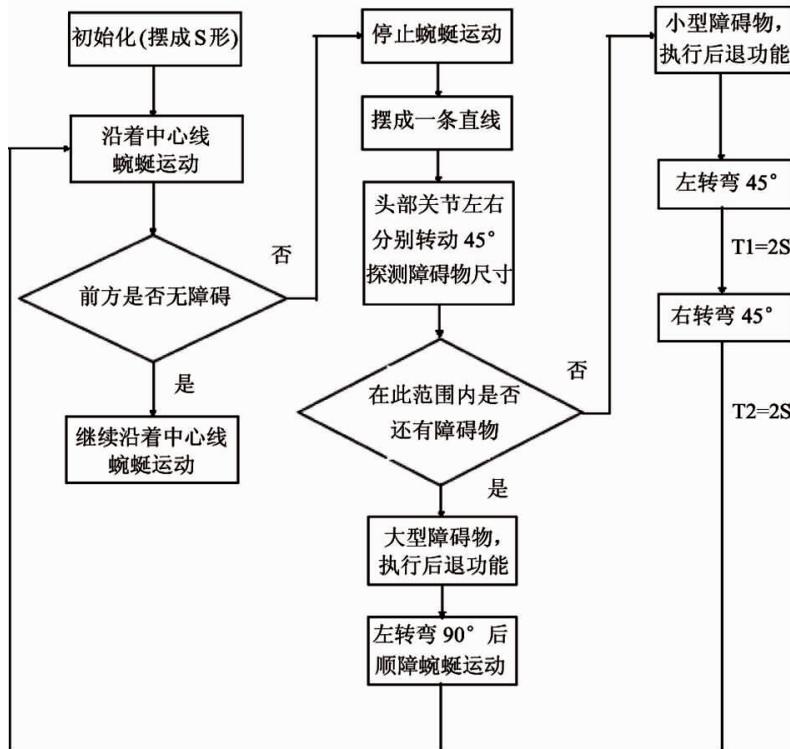


图6 蛇形机器人避障策略流程图

4.1 小型障碍物避障

蛇形机器人实现小型障碍物避障策略,蛇形机器人的运动轨迹如图7所示,红色路线AB段 $k_1 = 0$,蛇形机器人沿着中心直线蜿蜒运动;红色路线BC段,探测到障碍物,停止运动,拉成一条直线后头部关节左右分别转动45°探测障碍物尺寸;蓝色路线CB段 k_1 仍等于0,蛇形机器人摆成S形后退一

段距离,为使蛇形机器人有足够的空间转弯;蓝色路线BD段 $k_1 = 0.004$,蛇形机器人左转弯45°;蓝色路线DE段 $k_1 = -0.004$,蛇形机器人右转弯45°;蓝色路线EF段 $k_1 = 0$,蛇形机器人绕过了障碍物按原始运动方向继续蜿蜒运动。

具体试验如下:

蛇形机器人在前进方向遇到小型障碍物后依次完成以下几个动作:(a) $k_1 = 0$,沿着中心线蜿蜒运动;(b)遇到障碍物停止运动;(c)把身体拉成一条直线;(d)蛇形机器人头部关节左转45°;(e)右转45°;(f)根据结果判定为小障碍物,把身体回到原位;(g)摆成S形后退;(h) $k_1 = 0.004$ 左转弯45°;(i) $k_1 = -0.004$ 右转弯45°;(j) $k_1 = 0$,继续沿着原来的中心线蜿蜒运动。过程如图8所示。

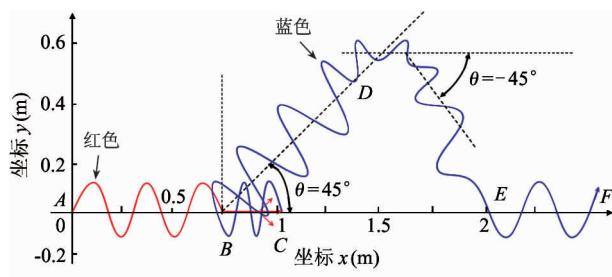


图7 蛇形机器人运动轨迹示意图

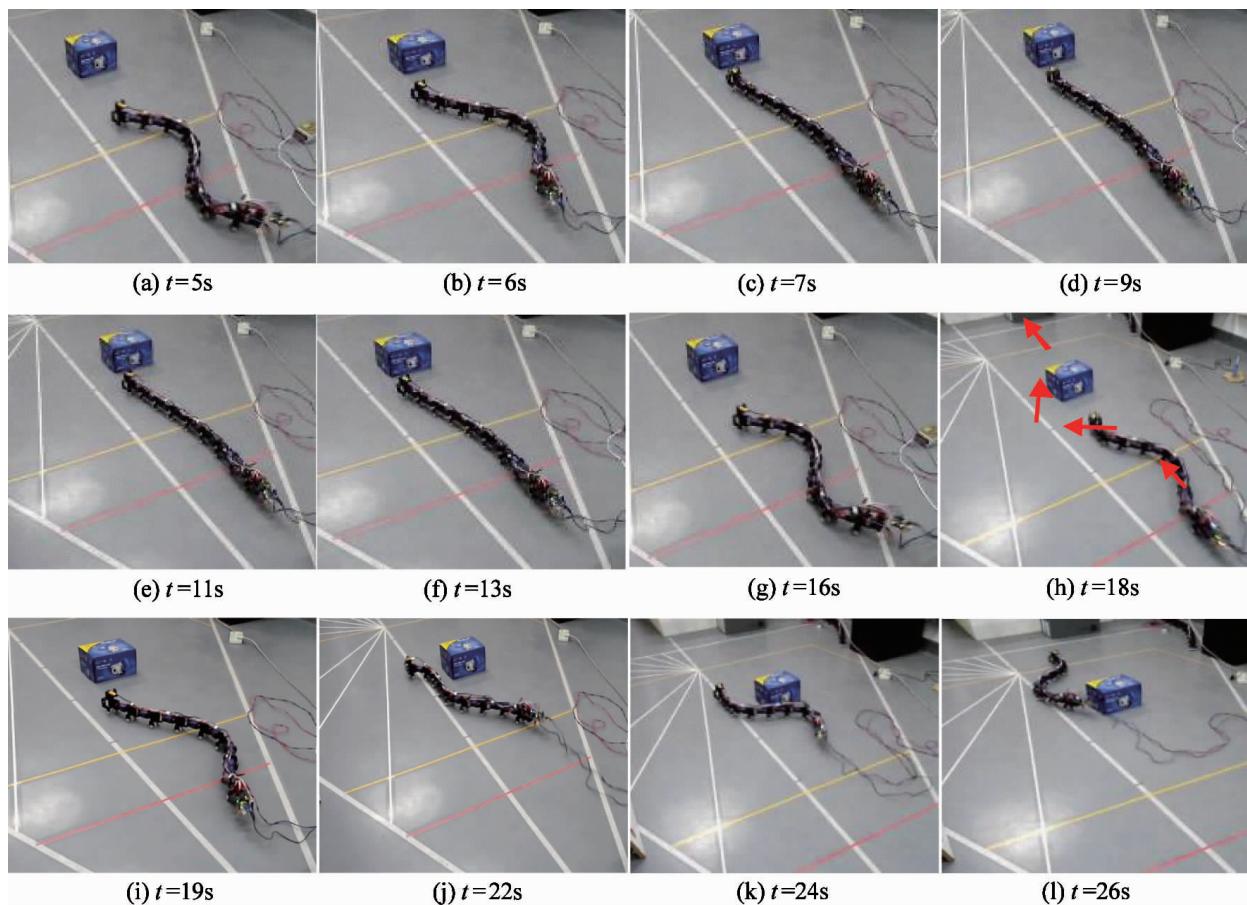


图 8 试验结果

4.2 大型障碍物避障

蛇形机器人实现大型障碍物避障策略,其运动轨迹如图 9 所示。红色路线 AB 段 $k_1 = 0$, 蛇形机器人沿着中心直线蜿蜒运动;红色路线 BC 段,探测到障碍物,停止运动,拉成一条直线后头部关节左右

分别转动 45° 探测障碍物尺寸;蓝色路线 CD 段 k_1 仍等于 0, 蛇形机器人摆成 S 形后退一段距离,使蛇形机器人有足够的空间转弯;蓝色路线 DE 段 $k_1 = 0.01502$, 蛇形机器人转弯 90° 后再使 $k_1 = 0$, 顺着障碍物蜿蜒运动。

具体试验如下:

蛇形机器人在前进方向遇到大型障碍物后依次完成以下几个动作:(a) $k_1 = 0$, 沿着中心线蜿蜒运动;(b) 遇到障碍物停止运动;(c) 把身体拉成一条直线;(d) 蛇形机器人头部关节左右转动 45° ;(e) 确认为大型障碍物,采取顺障碍策略,将身体回到原位;(f) 摆成 S 形后退;(g) $k_1 = 0.01502$ 左转弯 90° ;(h) $k_1 = 0$, 沿着障碍物边缘蜿蜒运动。试验结果如图 10 所示。

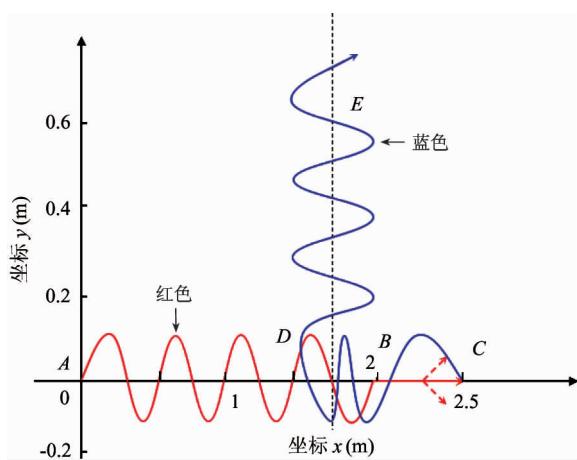


图 9 蛇形机器人运动轨迹示意图

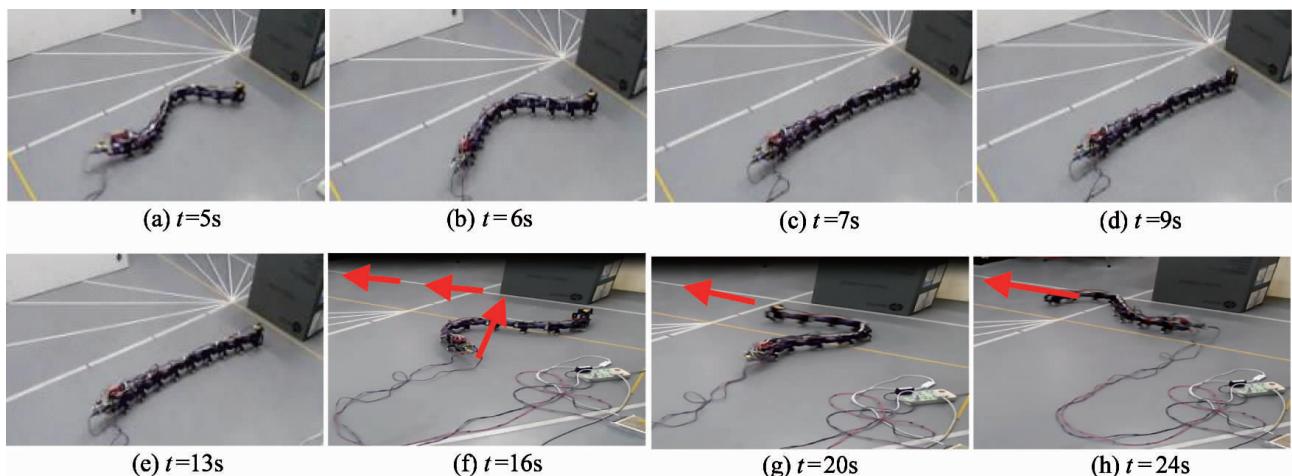


图 10 试验结果

5 结 论

本文面向蛇形机器人的实际应用环境,进行了蛇形机器人的避障研究,提出了通过相位调整改变蜿蜒运动的方向实现避障功能的方法。通过特定环境下蛇形机器人蜿蜒运动试验得出了转弯角度与相位调整法参数转弯系数的关系,应用红外传感器探测障碍物的几何尺寸,根据结果选择绕障蜿蜒运动或者顺障蜿蜒运动策略实现避障功能。由于在算法中设定了遇到障碍物后必须先后退一段距离再采取对应相位调整策略,为转弯提供了足够空间。试验成功实现了避障功能。

参考文献

- [1] 李斌,叶长龙. 蛇形机器人的扭转运动研究. 中国机械工程, 2005, 16(11): 941-945
- [2] 卢亚平,宋天麟. 仿生蛇形机器人的设计及研究. 《微型机与应用》,2013,32(18):70 -76
- [3] 宋天麟,王立军. 蛇形机器人的研究与开发. 电工技术与自动化,2005,34(6):120-121
- [4] 李永梅,张卫芬,迟英姿. 一种 PR 结构蛇形机器人的结构优化设计. 电子机械工程,2015,31(1):61-64
- [5] 王雪,连晓峰,陈天华等. 蛇形机器人蜿蜒运动控制分析. 计算机测量与控制,2014, 22(9):2801-2804
- [6] 吴艳花. 蛇形机器人越障研究. 机器人技术,2008, 8 (35): 54-57
- [7] 杨文璟,巩宇鹏,王杨森等. 蛇形机器人运动机构设计. 企业技术开发,2011, 30(3): 1-3
- [8] 薛瑞彬,苏中,张夏丽等. 蛇形机器人直线运动的研究. 北京信息科技大学学报,2011, 26(5): 65-69
- [9] 郁树梅,王明辉,马书根等. 水陆两栖蛇形机器人的研制及其陆地和水下步态. 机械工程学报,2012, 48 (9): 18-25
- [10] 叶长龙,马书根,李斌等. 蛇形机器人抬头运动分析. 高技术通讯,2005, 15(3): 25-31
- [11] 刘福朝,李擎,李彦文. 一种蛇形机器人的直线蜿蜒运动规划. 机械设计与研究,2014, 30(1): 35-38
- [12] 吴艳花. 蛇形机器人越障研究. 机床与液压,2009, 37 (2): 21-23
- [13] 孙洪. 一种新型的攀爬蛇形机器人. 苏州市职业大学学报, 2009, 20(1): 27-31
- [14] 张丹凤,吴成东,李斌. 蛇形机器人被动蜿蜒避障运动的研究. 仪器仪表学报,2011, 32(6): 336-340
- [15] 叶长龙,马书根,李斌等. 蛇形机器人的转弯和侧移运动研究. 机械工程学报,2004,40(10):119-123

Using phase adjustment method to achieve snake-like robot's obstacle avoidance function

Lu Zhenli * *** **** , Liu Chao * , Xie Yafei * *** , Xu Huigang * , Shan Changkao * , Xu Xianzhen * , Li Bin **

(* School of Electrical Engineering and Automation, Changshu Institute of Technology, Changshu 215500)

(** State Key Laboratory of Robotics, Shenyang Institute of Automation, CAS, Shenyang 110014)

(*** School of Information and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116)

(**** Institute of Electronics and Telematics Engineering of Aveiro, University of Aveiro, Aveiro 3810-193, Portugal)

Abstract

To improve the practicality of a snake-like robot in a real application environment, its obstacle avoidance function was studied, and an obstacle avoidance method based on phase adjusting was presented. The method uses an infrared sensor module installed in the robot's head for obstacle avoidance to detect obstacles in front. If an obstacle is detected, it changes each joint's gait phase of robot by phase adjustment to control the robot's serpentine locomotion for robot to make a turn, thus the obstacle is avoided. The infrared sensor module is also used to detect the geometric characteristics of obstacles. If a large obstacle is detected, the robot's serpentine locomotion adopts the strategy of moving along obstacle edge to achieve the obstacle avoidance function, while a small obstacle is found, the strategy of bypassing the obstacle is adopted. This work provides the technical reserve for real application of snake-like robots.

Key words: snake-like robot, obstacle avoidance, phase modulation, serpentine locomotion