

文章编号:1000-582X(2004)03-0114-04

基于快速转弯微小机器人系统的研究*

刘京诚,刘俊,秦岚,潘英俊

(重庆大学光电工程学院,重庆 400030)

摘要:介绍了一种基于尺蠖运动原理的能实现快速转弯的微小机器人系统,并对机器人进行了设计和制作,组装了实验用机器人样机,通过 AT89C52 单片机及其外围驱动控制电路对机器人行走和位置信号的产生进行控制,并通过二维 PSD 对微机器人的三维位置进行检测,取得了与理论一致的结果。实现了对该机器人的行走运动和位置检测控制的功能,为对该类机器人的进一步研究提供了一个新的思路。

关键词:微机器人;转弯;机械结构;单片机控制;PSD

中图分类号:TP242

文献标识码:A

目前,对于微小、狭窄空间管道内及其壁面上工作的微小机器人的研究日益增多^[1],要求这类机器人体积小、重量轻、工作灵活、能够携带各种探测装置进入人无法进入但又必须或急于想了解其情况的环境中工作,而前期研制的机器人,其绝对驱动能力小,而且,转弯较为困难而且转弯速度慢,控制系统复杂。本文介绍的机器人,采用了不同的机械结构和控制电路设计,不但提高了机器人的绝对驱动能力,而且大大简化了驱动电路的设计,为实现机器人的无线控制和进一步微型集成化奠定了基础。

1 微小机器人的机械结构设计

1.1 驱动原理

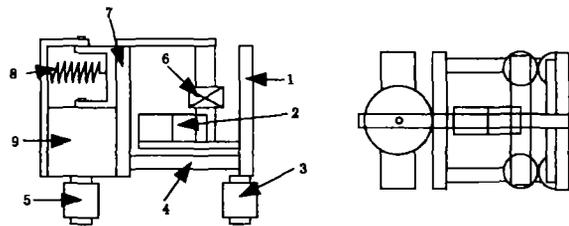
介绍的微小仿生机器人采用的驱动源^[1]为一对极性相反的 5 mm × 5 mm × 5 mm 的永磁材料和 U 型软磁芯绕制的驱动线圈以及脚线圈组成^[2-3]。其结构简图如图 1 所示,从尺蠖运动原理出发,结合新型驱动原理,通过对机器人机械结构的特别设计,大大提高了微小机器人的绝对驱动力,如图 2 所示,为在固定电流方向条件下的驱动力分析简图,图中的水平驱动力 F 为 X 方向单个线圈的驱动合力。

根据(Fleming)弗莱明左手定则有,单个线圈的受

力为:

$$F = 2NBIL \quad (1)$$

式中: N 为线圈匝数, B 为磁场强度, I 为电流强度, L 为线圈有效长度,为线圈的横向投影长度。



1—后挡板;2—永磁铁;3—后脚;4—导轨;5—前脚;
6—驱动线圈;7—前挡板;8—扭簧;9—电机

图1 机器人外形结构简图

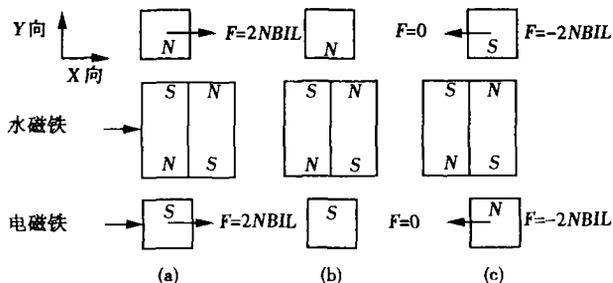


图2 驱动力分析

由图2知:双线圈工作时, x 向合力为绝对驱动力

* 收稿日期:2003-10-21

基金项目:重庆大学骨干教师资助项目(2003A13)

作者简介:刘京诚(1962-),湖南安化人,重庆大学博士,副教授,研究方向为精密仪器及机械。

$F_{驱,y}$ 向合力为由电磁铁和永磁铁相互作用带来的对导轨的压力 $N_{压}$, 有:

$$F_{驱} = F + F = 2F \quad (2)$$

$$N = N_{右} - N_{左} = 0 \quad (3)$$

将(1)式带入(2)和(3)式有:

$$F_{驱} = 2F = 4NBIL \quad (4)$$

由于永磁铁和电磁铁始终处于相对位置不断变化之中,其受力过程很复杂,图 2 中仅对 3 个有代表性的位置作了分析和测定。得出:在(a)位置点的 X 向绝对驱动力最大,而在(b)位置点的 X 方向绝对驱动力为 0,(c)位置点的负 X 方向绝对驱动力最大,此时的加速度值为负向的最大值。

1.2 转弯原理

分析人体习惯的转弯过程可知:人在转弯过程中,首先由大脑发出转弯命令,确定转弯动作及转弯的方向。如右转,习惯上是先由人的左脚落地,然后提起右脚转到指定的位置后,右脚放下,然后左脚提起,左脚在腰部肌肉的作用下,被直接“搬”到指定的位置,完成转弯过程。从人体转弯原理出发,实际中先给机器人的后脚线圈通电(前脚线圈不通电)使之吸附在导轨面上,随后,启动转弯微电机,再给前脚线圈通电,此时转弯电机就驱动扭簧及机器人前脚转过一个角度,而当机器人后脚断电后,机器人的后脚会在扭簧的作用下,直接被“搬”到指定位置,完成前进转弯全过程。(后退转弯过程与之类似)整个转弯过程状态原理图如图 3 所示。

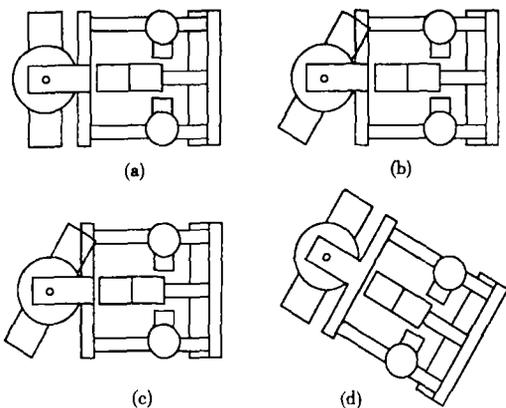


图 3 转弯过程状态

状态(a)后脚线圈通电吸附、前脚线圈断电放开、驱动线圈断电、转弯电机断电。状态(b)后脚线圈通电吸附、前脚线圈断电放开、驱动线圈断电、转弯电机向指定位置。状态(c)为过渡过程,后脚线圈通电吸附、前脚线圈通电吸附、驱动线圈断电、转弯电机通电转向指定位置。状态(d)后脚线圈断电放开后被扭簧

“搬”到指定位置、前脚线圈通电吸附、驱动线圈断电、转弯电机断电停止工作。

2 微小机器人的控制电路设计

2.1 运动状态描述

如图 4 所示,为机器人向前行进的运动状态描述简图,具体过程如下:

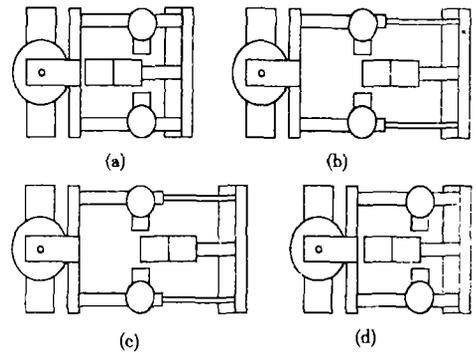


图 4 机器人的前进运动状态描述

状态(a)初始状态,各个部件均未通电。状态(b)后脚吸附、同时前脚放开、随后驱动线圈通正向驱动电流、机器人前脚向前迈步。状态(c)后脚放开、同时前脚吸附、驱动线圈仍然通正向驱动电流、机器人不前进。状态(d)后脚放开、同时前脚吸附、驱动线圈通反向驱动电流、机器人后脚向前迈步。反复循环状态(a)到(c)机器人就完成了各种运动。

2.2 运动控制时序

机器人的行进状态是由其控制时序决定的,由上面的分析我们很容易得到机器人直线行进时序图 5 和前进转弯时的时序图 6。

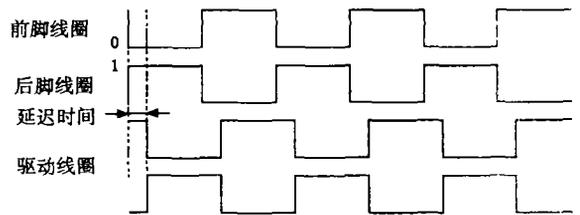


图 5 直线行进时序图

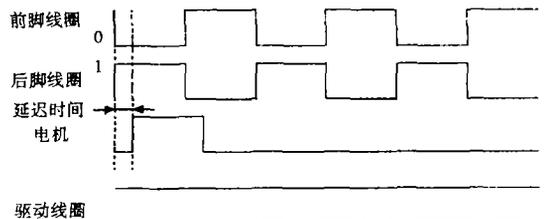


图 6 前进转弯时的时序图

2.3 驱动控制电路的设计

机器人驱动的控制电路需要实现控制信号的产生和人机接口界面两大功能。根据微机器人的结构和实际运动需要,其硬件系统框图如图7所示。AT89C52单片机为整个控制电路的核心,也是产生脉冲控制信号的关键部件,它自带8K^[2]的可擦除、可改写闪存,不但可满足机器人控制软件存储的需要,而且也达到了简化控制电路,可对机器人实现灵活控制。同时,为了更进一步提高控制电路的集成度,为实现机器人的无线、闭环控制做准备,采用串口作显示输出,考虑到P₀口可以驱动8个LSTT电平,而其它P口只能驱动3个,选用P₀口作输出口,P₁口作人机界面输入口。实际运用中为了尽可能提高单片机的驱动能力,先在P₀口外接地址驱动器74LS244,然后再和线圈及电机驱动电路相连。根据驱动线圈和电机的要求,选用了国产新型正反驱动集成芯片LG9110作为驱动线圈和转弯电机的正反驱动电路,该电路可以直接和CPU总线连接,可直接驱动电机和驱动线圈,其最大驱动电流可达1.2A到1.5A,每个通道的典型驱动电流可达750mA到800mA,完全满足280mA到400mA的要求。

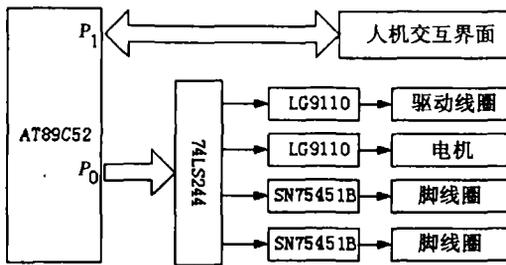


图7 机器人控制系统硬件框图

机器人脚的线圈驱动器采用Texas Instruments Incorporated的双输入高电压OC驱动门电路SN75451,它的典型工作电流为300mA,最大驱动电流达到将近500mA,可以直接驱动机器人的脚线圈。

2.4 检测系统的设计

要对微机器人作进一步深入的控制,必须设计机器人的位置检测系统。图8为机器人位置检测系统的原理图,将3个由单片机控制的光源LED背负在机器人上,LED发出的光经透镜会聚成像于位于焦平面处的PSD的光敏面上,该光斑位置信号通过PSD信号处理电路转换为电压信号输出,由A/D卡转换为数字信号送入计算机进行处理,通过特殊的算法就得到机器人的三维位置。

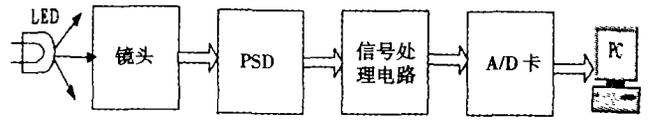


图8 机器人位置检测原理图

的LED采用红外的LED;传感器为日本滨松光子学株式会社的S1300型二维位置敏感探测器PSD,由(5)式可直接得到被测点在XY平面内的二维位置:

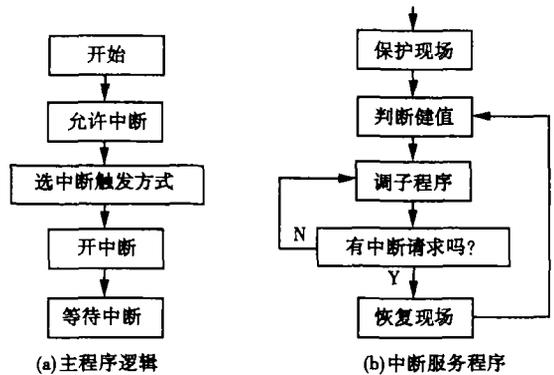
$$\frac{2x}{L} = \frac{x_2 - x_1}{x_1 + x_2}$$

$$\frac{2y}{L} = \frac{y_2 - y_1}{y_1 + y_2} \tag{5}$$

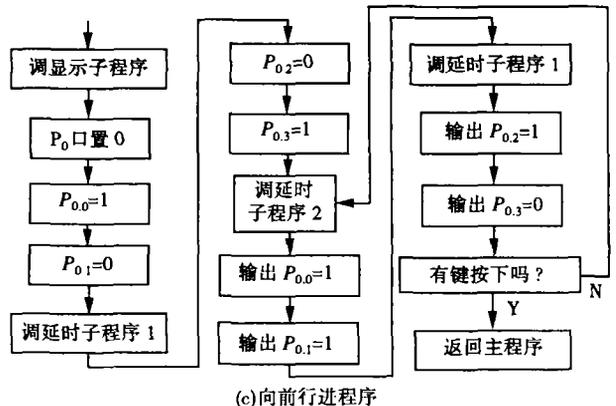
其中(x,y)为机器人在XY二维平面内的位置,L为PSD的光敏面尺寸,x₁、y₁、x₂、y₂光斑在X向和Y向的位置信息。PSD输出的和位置有关的信号经过滨松提供的配套信号处理电路和A/D采集卡得到机器人在二维平面内的具体位置,采用三点法^[5]可以算出机器人具体的三维空间位置。

3 软件设计

机器人的控制系统软件采用汇编语言编写,其应用程序直接固化在AT89C52的8K的Flash存储器中,程序主要包括:主程序、中断服务程序和操作子程序。主



(a)主程序逻辑



(c)向前行进程序

图9 程序框图

为了减少外界自然光对测量系统的影响,系统中

程序的功能是在系统上电且手动复位后,对系统进行初始化及中断管理,其程序流程图如图9(1)所示。

中断服务程序用于系统响应中断后,查询按键信息,并根据按键的值执行相应的操作子程

序,其程序流程图如图9(b)所示。

4 结 论

通过利用本方案加工、组装的微机器人实物具体实验有如下结论:

1)利用文中所述之方案,能实现仿生机器人的前进、后退和灵活快速的转弯之功能。同时,在同等条件下,采用对称的驱动结构,大大提高了机器人的驱动能力,提高了机器人的实用性。2)通过对该机器人的线圈电压与驱动力、线圈匝数与驱动力以及微机器人速度与驱动电压频率关系的测试表明:驱动力的大小会随电压和驱动线圈匝数的增加而增大,但电压值和线圈匝数增大到某一个值后,驱动力大小就不再变化。若继续加大电压值,会导致驱动线圈发热量过大,烧毁线圈;若继续增加线圈匝数,会使机器人本体质量增加,不利于机器人的灵活运动。3)机器人驱动线圈的匝数范围为700匝左右,脚线圈的匝数范围为400匝,其工作电流值在200 mA ~ 500 mA 范围内。4)利用AT89C52、LG9110和SN75451等主要器件设计制作

的微机器人控制电路体积小、工作稳定,能对机器人实现灵活的控制。5)利用PSD为传感器、红外LED为光源和三点法编写的软件组成的检测系统能够实现对机器人空间位置的测量,其精度可以达到0.01 mm。(6)采用U型软磁的形状和机器人的结构相配合的设计方案,可以大大减小U型软磁对机器人的尺寸大小和机器人总重量的影响。

参考文献:

- [1] 潘英俊,刘京诚,秦岚等. 新型小机器人驱动原理研究[J]. 仪器仪表学报,1999,20(4):224-226.
- [2] 王会宗. 磁性材料及其应用[M]. 北京:国防工业出版社,1989.
- [3] 杨宜民. 新型驱动器及应用[M]. 北京:机械工业出版社,1998.
- [4] 赵晓安 MSC-51 单片机原理及应用[M]. 天津:天津大学出版社,2001.
- [5] PENG HUI, ZHIHAI ZHANG, QIN LAN. 3D position Measurement of Wall-climbing Micro Robot. Proceedings of THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PRECISION MECHANICAL MEASUREMENTS. Harbin institute of Technology press,2002,(4):91-94.
- [6] 刘淑霞,王炎,徐殿国,等. 爬壁机器人技术的应用[J]. 机器人. 1999,22(2):148-155.

The Research Based on the System of Turning Micro-robot

LIU Jing-cheng, LIU Jun, QIN lan, PAN Ying-jun

(College of Optoelectronic Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: The robot techniques development is making over in an astonished velocity. Today, all kinds of robots have different shape and function appear in everywhere. The robot that used the turning theory of human being and the motion theory of cankerworm is introduced. Micro-robot is an important offset of robot technique. This paper has solved three problems of this kind of micro-robot. One is the mechanical structure design, and the second is controlling circuit design, the third is measurement system design. Two new pattern micro-robots have been made which not only can move on the smooth armor plate, but also can turn its body quickly and freely. This new pattern micro-robot has strongly driving power, which also can be refitted another walking-type robot. At the same time, it also succeeded in controlling the robot through the microprocessor AT89C52 and the other new type controlling circuit. Taking the chip of LG9110 as the positive and negative driver, and the chip of SN75451B as the driver of the other parts, not only the design of circuits become easily, but also circuit board become simply. It provides some diagrams of program. In short, through the experiment, it gains some important data of making this kind of robot on the other hand, the experiment proves that the project not only can control the robot freely, but also offers a new idea for the studying of this kind of micro-robot.

Key words: micro-robot; turning; mechanical structure; computer control PSD