

超声波电机在内窥镜机器人中的应用

康剑莉

(浙江纺织服装学院, 浙江 宁波 315211)

摘要:阐述了利用弹性流体动压润滑理论建立的螺旋式内窥镜机器人的结构,其驱动采用超声波电机,轴向运行的机器人采用的是纵扭复合型超声波电机,为充分发挥其高精度的定位能力提出了利用步进定位法实现精确定位。同时还用3自由度球转子超声波电机做了试验,结果表明,设计的配合结构,能满足实时控制转向的要求,可以实时控制机器人的运行方向。

关键词:内窥镜机器人;超声波电机;精密位移;步进定位

中图分类号:TP 242.2 **文献标识码:**A

当前对医用微型机器人的研究工作主要有图像制导外科手术和微创外科手术。微创外科手术又称内窥镜检查手术,它可以减小手术的负效应、提高手术质量、减轻病人痛苦、缩短恢复时间等,因而已成为国内外的一个研究热点。纵观医用内窥镜的发展趋势,光导纤维内窥镜将朝细小化及采用多种传感器等方向发展;电子视频内窥镜将采用更微型的 CCD 及实现周围图像实时高速处理等;超声内窥镜则向超声探头细径化和多扫描方式发展。但这些新技术的采用不能从根本上克服传统内窥镜的缺陷,即目前内窥镜的人为插入过程对人体内部软组织造成擦伤和拉伤,并且由于内窥镜导管的左右摆动和扭曲等大幅度体内动作使病人感受很大的痛苦。主动引导式(self-propelling)内窥镜是内窥镜无创发展的一个重要方向。主动引导式内窥镜利用可以主动运动的引导头,通过控制可以自动平稳地在内腔管道中运行,自律柔顺地适应复杂弯曲的内腔管道,改变传统的内窥镜插入方式,减轻患者痛苦。主动引导式内窥镜整体结构仍然是线缆式,特点在于内窥镜系统由主动引导头引导进入人体腔道,避免了手动插入造成的软组织损伤。关键技术在于运行执行器和主动引导头的微小型驱动器研制。

1 内窥镜机器人的整体结构

现有主动引导头的研究成果主要集中在仿照蚯蚓等生物的蠕虫运行方式,通过不同的驱动器实现机器人的蠕虫式运行,如 Takahashi 等人研制的仿蚯蚓管道微型机器人。但是最初这类内窥镜机器人的驱动机构都是刚性的,机器人与内腔、血管、尿管壁的接触为硬接触,应用到人体内腔检查中时会对有机组织造成严重的损伤。

为减轻硬接触给人体带来的损伤,国内外的研究者采用流体(气体)压力作为驱动源的柔性微执行

器代替刚性微执行器,研制出了多种自主驱动的内窥镜机器人。典型的如 Hoeg 等人研制的柔软的、直径可以随着肠道各部分直径的变化而变化的仿尺蠖内窥镜机器人, Dario 等人研制的气动式蠕虫内窥镜机器人。然而,蠕虫式运动必须依靠机器人与内腔壁或血管壁之间的摩擦才能运动,由于机器人机身与肠道内腔壁之间产生挤压和摩擦而给内腔有机组织造成的损伤以及给人体带来的不适和痛苦都不能完全避免。笔者所在的课题组针对上述缺陷,研制出一种能自动将医用内窥镜系统送到人体内腔各个部位的无损伤驱动微型机器人,并对其运动特性以及机器人的几个特性参数的优化等问题作了一系列的理论和试验研究^[1-3]。

图 1 为医用内窥镜机器人整体结构的示意图。它由带右螺旋槽的圆柱形微电机、带左螺旋槽的圆柱形微电机、柔性联轴器构成。

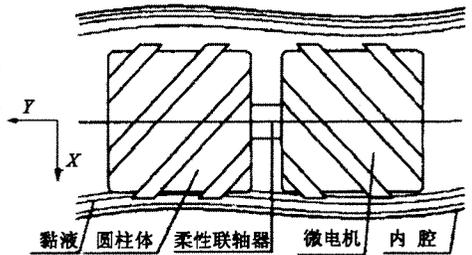


图 1 医用内窥镜机器人整体结构示意图

当正向接通微电机电源时,带左螺旋槽的圆柱体正转,带右螺旋槽的微电机外壳反转。带螺旋槽的圆柱体在有黏液的人体内腔中运转时,由于人体内腔中高黏度黏液所产生的动压效应,将建立一层动压润滑黏液膜,使整个结构处于悬浮状态。同时,带螺旋的圆柱体的旋转迫使黏液产生轴向运动,此轴向运动产生的反作用力将带动圆柱体沿轴向前进。图示的 2 个圆柱体的螺旋旋向相反保证了产生的轴向液体摩擦力方向相同。反向接通微电机电源,内窥镜机器人将后退。该内窥镜机器人系统已被理论和实验证明能以较快的速度在微型管道及动物肠道中运行。

2 内窥镜机器人的驱动控制

为了提高本机器人的运动精度、定位精度,同时减小体积,对微电机的要求越来越高。对国内外各种微电机研究试用后,最后决定采用超声波电机。

超声波电机(ultrasonic motor, USM)结构简单,超声波电机原理和结构完全不同于传统电磁式电机。没有绕阻和磁场部件,它不是通过电磁相互作用来传递能量,而是直接由压电材料的逆压电效应使定子表面产生一定轨迹的运动。进而通过摩擦耦合将振动能转换成转子或滑块的动能。这种新型马达的工作频率一般在 20 kHz 以上,故称为压电超声马达。USM 小型轻量、惯性小、响应速度快,起动、停止等的控制好,定位精确,能获得低速大转矩,可用于直接驱动,不受电磁场干扰。

2.1 复合型超声波电机的应用

运行在管道中的内窥镜机器人,要求沿着管道方向能够进行轴向精确定位,采用技术较成熟的复合型超声波电机。复合型 USM 是各类 USM 中最典型的低速大力矩电机,无需减速机构来减速和增大转矩,避免了减速传动机构引入的间隙误差。这些特点使得 USM 非常适合于用作精密机器人,尤其是应用于内窥镜机器人中机械机构主动式控制、探动的抑制与产生。

图 1 所示的微电机采用的是纵扭复合型 USM,它的位移机构主要由控制系统、超声波电机和附着有摩擦材料的旋转台(即圆柱体)组成。超声波电机由压电驱动体和弹性振动体组成。

图 2 是一台纵扭复合型 USM 样机的结构图。电机本体主要由夹心式定子和转子组成,压电纵、扭振子夹在弹性体之间构成定子,转子通过一碟簧以一定的预压力与

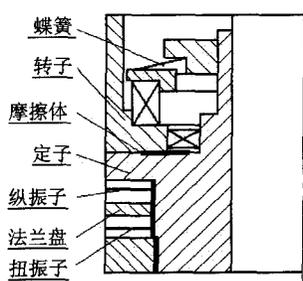


图 2 纵扭复合型 USM 结构图

定子接触,对压电纵、扭振子施加相同频率、不同相位的激励信号时,纵振子通过压电振子的厚度振动模式产生轴向振动,扭振子利用厚度切变振动模式产生周向扭转振动,其中扭转振动用以驱动转子输出转矩,纵向伸缩振动用以控制定子与转子间的正压力(即正负半周摩擦力),从而实现将交变的扭转振动转换成转子单方向的旋转运动,其过程类似整流过程^[4-5]。由于 USM 以 20 000 次/秒以上周期振动,在转子惯性的作用

下,电机将按某一方向非常平稳地运行,改变激励信号相位差 180°,电机将反转运行。

试验表明,当 USM 运行特性稳定且负载恒定时,电机的运行步距是比较均匀的,如果运行在黏度不同的区域时,则每步转过的角度将有明显的变化。为了能进行精密定位,采用如下控制方法:将电机的运行位置分为 3 个位置,即:未接近要求位置,已接近要求位置,已到达要求位置。在这 3 个位置,电机分别处于:连续全速运行,单步运行,关断停止运行。由于实现了 USM 的步进式运行,从而避免了对电机的调速处理。

图 3 是实现上述控制方法的测控电路结构示意图,单片机系统主要负责信号发生器产生的小信号至功率放大器之间的通断,且单步运行由单片机独立控制,波形数 N 的记数由单片机定时/计数器测定;而 PC 机则负责对 USM 转动角度的测量和计算,并根据算法向单片机发出指令;在测试系统中,USM 的连续、单步、停止指令通过 PC 工控卡的 I/O 口与单片机的 I/O 口通信,指令时间一般在几个微秒,远小于一个信号波形的周期(驱动频率为 20.2 kHz 时,其周期约为 50 μ s),因此完全能满足实时控制精确定位的要求。

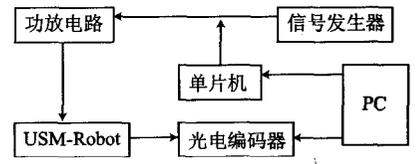


图 3 纵扭复合型 USM 测控电路示意图

号至功率放大器之间的通断,且单步运行由单片机独立控制,波形数 N 的记数由单片机定时/计数器测定;而 PC 机则负责对 USM 转动角度的测量和计算,并根据算法向单片机发出指令;在测试系统中,USM 的连续、单步、停止指令通过 PC 工控卡的 I/O 口与单片机的 I/O 口通信,指令时间一般在几个微秒,远小于一个信号波形的周期(驱动频率为 20.2 kHz 时,其周期约为 50 μ s),因此完全能满足实时控制精确定位的要求。

2.2 3 自由度球转子超声波电机的应用

圆柱定子 3 自由度球转子超声波电机利用单个圆柱形结构的定子,通过对定子的振型设计、压电陶瓷的极化与配置的设计,并通过驱动控制电路的配合,实现球形转子的 3 自由度旋转,不仅具备了超声波电机一系列的优点,而且可从根本上缩小球形电机体积,突显超声波电机结构紧凑、低速大扭矩、可直接驱动负载和定位精度高的优点。

设计机器人结构如图 4,圆柱体内的半球空腔与球转子配合,用 2 个半

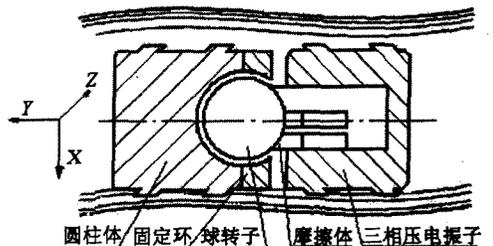


图 4 机器人驱动结构内部示意图

圆形的固定环与圆柱体固定,使转子旋转自如,而且

粗精两级图像测量和精度分析

刘 璐, 陈振华

(上海大学 机电工程与自动化学院, 上海 200052)

摘要:结合一个具体机器人进行精密装配的任务,配备了用于该装配任务的视觉系统,针对视觉系统精度不能实现一次装配到位的情况,提出使用粗精两级图像测量的装配方法,以提高视觉系统的测量精度,从而为提高装配任务中的定位精度作出保障。

关键词:装配机器人;图像检测;精度

中图分类号:TH74 **文献标识码:**B

为了增加装配系统和装配机器人的柔性和补偿其定位精度的不足,采用实用化的视觉系统是近年来柔性装配系统发展的一个重要方面。对于工作在自动化生产线上的工业机器人来说,完成最多的一类操作是“抓取—装配”动作。为了完成这一类操作,对被操作物体位姿信息的获取是必要的:首先机器人必须知道物体被操作前的位姿,以保证机器人准确地抓取;其次是必须知道物体被抓取后的目标位姿,以保证机器人准确地完成装配任务。在大多

不会脱出腔体。USM采用基于DSP和CPLD的3自由度驱动控制系统^[6]。

该系统由控制信号电路、数字压控振荡电路及功率驱动电路组成。控制电路示意图见图5,控制信号电路主要由DSP芯片及其外围电路构成,数字压控振荡电路可通过由CPLD和数字压控振荡

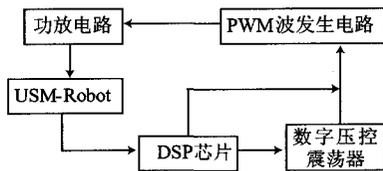


图5 3D USM控制电路示意图

器和数字压控振荡器等芯片组成,输出到PWM波发生电路,并通过控制信号电路来改变电机激励电压信号的频率、占空比、相位差等特性,其中控制调节信号的占空比可调节电压激励信号的基波电压,从而实现对3自由度超声波电机激励信号的控制。另外,控制信号电路还可以接受电机运行状态的位置和速度反馈信号,通过调节PWM信号来直接控制电机运行状态。

由于目前试验采用的USM还没有足够小的样机,我们进行试验的球转子直径为12mm,驱动频率为21~19.8kHz。设计管道有多条岔路,可以实时控制机器人的运行方向。

3 结语

由于超声波电机性能独特,用于驱动内窥镜机器人具有其他电机无法比拟的优点。可以使机器人

数工业机器人装配作业中,只进行一级图像测量,但由于图像测量的精度受相当多因素的影响,同时在工程实践中均存在有误差,因此在某些精密装配作业中,一级图像测量不能达到高的精度要求。为提高装配精度和质量,作者采用粗精两级图像测量的方法。

1 用于装配任务的视觉系统

图1显示的是本装配任务中的视觉系统,其工

总体结构更小,定位更精确,控制更简便。随着超声波电机的各项性能的不断发展和,内窥镜机器人的临床应用将指日可待。

[参考文献]

- [1] Zhou Yinsheng, He Huinong, Gu Daqiang, et al. Noninvasive method to drive medical micr-robots[J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45(7): 617-620.
- [2] 周银生, 贺惠农, 全永昕. 无损伤肠道机器人运行速度的研究[J]. 摩擦学学报, 1999, 19(4): 299-303.
- [3] Zhou Yinsheng, He Huinong, Quan Yongxin. Study on the locomotion speed of intestine robot[J]. Tribology, 1999, 19(4): 299-303.
- [4] 周银生, 李立新, 赵东福. 一种新型得微型机器人[J]. 机械工程学报, 2001, 37(1): 11-13.
- [5] 魏燕定. 压电驱动器的非线性模型及其精密定位控制研究[J]. 中国机械工程, 2004, 15(7): 565-568.
- [6] 郭海训. 大力矩高精度超声波电机的基础研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2002.
- [7] 金龙, 胡敏强, 顾菊平, 等. 一种新型圆柱定子3自由度超声波电机[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2002, 32(4): 620-623.

作者简介:康剑莉(1970-),女,副教授,硕士,从事医用微型机器人的研究。

收稿日期:2006年11月19日

责任编辑 周守清