

文章编号 1004-924X(2001)02-0135-04

基于惯性-摩擦原理的 PZT 驱动四自由度微驱动器的研究

迟冬祥, 颜国正, 丁国清

(上海交通大学电子信息学院精密工程及智能微系统研究所, 上海 200030)

摘要: 提出了一种由 PZT 驱动、基于惯性-摩擦原理的四自由度驱动器方案, 在原理实验的基础上制作了四自由度驱动器的原型, 并讨论了这一微驱动器的运动特点。实验证明: 这一原理应用于微驱动器是可行的。压电陶瓷的通电频率处于 0Hz~30000Hz 时微驱动器的运动是线性可控的。同时, 也讨论了驱动器设计中应该注意的问题及其未来的研究方向。

关键词: 惯性; 压电陶瓷; 微驱动器

中图分类号: TP242 **文献标识码:** A

1 引言

微型机器人由于其在工业、化工、核能、军事、航天、宇宙探索、生物体内部等人所不及、人力所限的微小以及危险的环境下潜在的应用前景, 已经成为当前国际机电领域研究的热点之一。

微驱动器是微型机器人的重要组成部分, 是微型机器人技术的重要研究内容之一。传统的以电机加齿轮驱动、气动或液力传动的驱动方式, 由于其外形尺寸、力矩、速度等方面的问题很难适应微型机器人驱动的要求, 从而新型驱动原理与装置的研究和开发成为微型机器人实现的关键。新型功能材料技术的发展和制备技术的完善, 特别是压电陶瓷(PZT)、形状记忆合金(SMA)等为新型微驱动器的研制提供了可能。

压电陶瓷以其尺寸小、响应速度快、能耗低等特点, 得到了广泛的应用。据报道, 日本的 M. A sano, T. Matsuoka 等人应用八块压电陶瓷片通过变换驱动时序和相位研制成了针型驱动器^[1-2]。这种驱动器主要用来作为微型管道机器人的动力源。它可以实现精确的位移(0.5 μ m)并有很快的移动速度(103mm/s), 其最大驱动力是

0.02256N。文献[3]研制的用于抓取微小物体的微驱动器采用叠层 PZT 结构, 通过单级或两级杠杆机构将运动加以放大。该驱动器的抓取范围是 0.1257mm。目前广泛应用的超声马达, 也是利用了压电材料的逆压电效应^[4]。

由此可见, 上述研究大多局限于单维(轴)驱动, 即: 或者绕轴向旋转, 或者沿轴向移动。然而, 在一些实际应用中往往需要多维驱动。比如, 为了扩大 CCD 的视野范围, 就需要使其具有多维扫描的能力。为此, 利用压电陶瓷及相应机构研制的四自由度微驱动器就适应了多维驱动的需要。

2 四自由度微驱动器的动作原理

压电陶瓷具有压电效应和逆压电效应, 能实现机-电能量的转换, 由于其压电常数大, 灵敏度高, 制造工艺成熟, 而得到广泛应用。其中, 尤其以锆钛酸铅系列(PZT)压电陶瓷应用最广。

四自由度微驱动器应用了压电陶瓷的快速变形运动、旋转体的惯性以及摩擦块与旋转体间的摩擦力来实现驱动。其运动原理以绕 x 向的转动为例加以说明, 如图 1 所示。

收稿日期: 2000-11-13; 修订日期: 2001-01-15

基金项目: 上海交通大学创新基金和上海市曙光计划资助项目

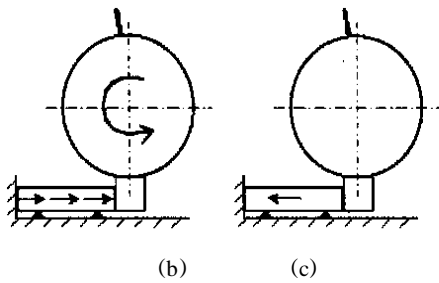
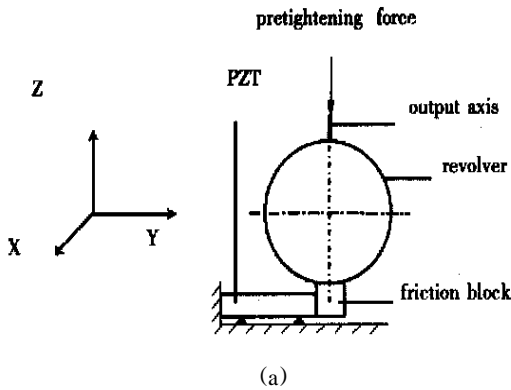


Fig 1 Driving principle

图 1(a) 中, 压电陶瓷(PZT)下部有平稳支撑。在沿 y 轴方向上, 压电陶瓷的一侧固定, 另一侧与一摩擦块刚性相接。摩擦块上托起一旋转体, 旋转体可绕 x 轴自由转动。当压电陶瓷被通以上升的三角波(图 2(a))时, 在三角波的上升沿, 电压缓慢上升, 压电陶瓷慢慢伸长, 并带动摩擦块一起运动。由于摩擦块与旋转体间的静摩擦力的作用, 旋转体与摩擦块的接触处被摩擦块带动一起运动, 这样旋转体就绕 x 轴转过了一个步距角 θ , 旋转体上的输出轴也转过了相同的步距角 θ (图 1(b))。在三角波的下降沿, 由于电压的突然下降, 使得压电陶瓷骤然收缩, 这时, 摩擦块克服了与旋转体间的静摩擦力并与压电陶瓷一同移动缩回, 旋转体由于其惯性而保持在原来的位置(图 1(c))。这样, 在一个波形周期里, 输出轴随旋转体逆时针旋转了一个步距角 θ 。重复上述的控制过程, 旋转体就继续逆时针转动; 升高或降低输入电压三角波的频率, 旋转体转动的速度也随之变快或变慢。当压电陶瓷被通以下降的三角波(图 2(b))时, 旋转体将反方向旋转。通过适当的机械设计和机构配置, 可实现旋转体的三维转动, 并能实现整个装置在一管道内部的直线运动即四自由度驱动。

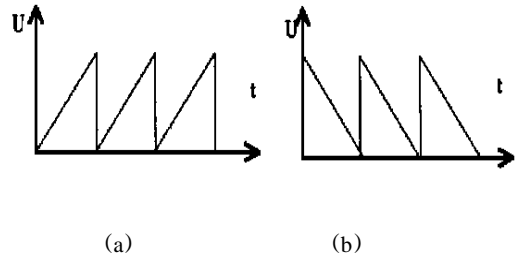


Fig 2 Controlling waveform of PZT

3 四自由度微驱动器的实验

3.1 四自由度微驱动器的结构

基于图 1 所示的驱动原理, 研制的四自由度微驱动器如图 3 所示。



Fig 3 Microactuator

为了减轻驱动器重量, 旋转体采用直径为 30mm 的铝球, 表面光滑, 上面有一输出轴。旋转体由上下两个专门设计的滚珠轴承支撑, 以减小支撑摩擦。用于驱动的一块压电陶瓷及摩擦块分别固定在各自的金属框架内, 金属框架本身也起到辅助滚动轴承支撑的作用。三块压电陶瓷的运动使得旋转体分别绕 x 轴、y 轴、z 轴三个方向转动, 这样输出轴就有沿 x 向、y 向移动和绕 z 轴转动三个自由度。输出轴的运动范围可以达到 $\pm 60^\circ$ 。压电陶瓷采用日本制造的 AE0203D08 型叠层压电陶瓷, 尺寸 $3\text{mm} \times 4\text{mm} \times 10\text{mm}$; 最大驱动电压 60V, 最大变形量 $8.9\mu\text{m}$; 摩擦块是碳塑料材料, 尺寸为 $4\text{mm} \times 4\text{mm} \times 4\text{mm}$, 它与压电陶瓷间用强力胶粘合, 与旋转体紧密贴和。

由于本机构的原理是依据惯性和摩擦, 所以, 将与驱动摩擦力无关的阻碍摩擦力减到最小, 是设计的重要原则之一, 也是机构设计最终成功与否的关键。我们在与三块压电陶瓷相对的方向上加了专门设计的弹簧和滚珠的组合机构与水平

衡。这样,一方面可以通过调节弹簧弹力的大小来调节摩擦块与旋转体的驱动摩擦力;另一方面,旋转体水平方向的力达到了平衡,使得旋转体上部和下部的支撑轴承仅仅起到支撑作用,而没有由于旋转体侧向挤压轴承产生的阻碍摩擦力,从而使旋转体的旋转受到的阻力更小,旋转更加灵活。

微驱动器的外形是圆柱型,尺寸为 $\varnothing 35\text{mm} \times 33\text{mm}$ (不含输出轴);质量为 118g。

输入电压三角波的频率 f (Hz) 与旋转体转数 n (r/min) 的关系为:

$$n = 60\Delta f / \pi D \tag{1}$$

其中, Δ (mm) 为压电陶瓷在三角波峰值电压处的变形量。

由于旋转体的直径 $D = 30\text{mm}$, 所以, 有:

$$n = (2 / \pi) f \tag{2}$$

显然, n 与 f 呈线性关系。

3.2 四自由度微驱动器的实验

实验系统的控制框图如图 4 所示。输入图 2 (a) 所示的三角波, 频率在 0Hz 到 10000Hz 间变化。

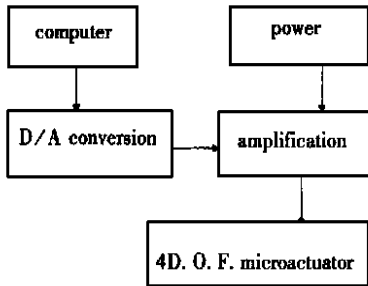


Fig. 4 Controlling diagram

当 f 由 0Hz 开始逐渐增加时, 旋转体的转数也逐渐增加; 当 $f = 3000\text{Hz} \sim 4000\text{Hz}$ 时, 旋转体的旋转开始表现为混乱、旋转轴倾斜; $f > 4000\text{Hz}$ 后, 旋转体旋转更加不稳定, 转数时快时慢, 方向不能控制。此时, 旋转体的旋转已经不遵守惯性-摩擦的原理。这是由于随着三角波的频率逐渐升高, 三角波的上升沿逐渐陡峭, 摩擦块的运动速度也越来越快。当三角波频率超过一定范围时, 摩擦块不能带动旋转体一同运动, 旋转体的惯性使其保持在原来的位置或有微小的移动; 加上摩擦块与旋转体贴和的不均匀状况对旋转的影响在高频时又被“放大”, 所以 $f > 4000\text{Hz}$ 后旋转体的运动不可控制。

在旋转体可控范围内, 即 $f = 0\text{Hz} \sim 3000\text{Hz}$ 时, 转数 n 与频率 f 的散点图及一阶多项式拟合

曲线如图 5 所示。转数 n 与频率 f 有如下关系:

$$n = 0.00074488f - 0.057101 \tag{3}$$

这一关系表明: 此时的三角波频率与旋转体的转数是线性关系, 可以据此加以控制。

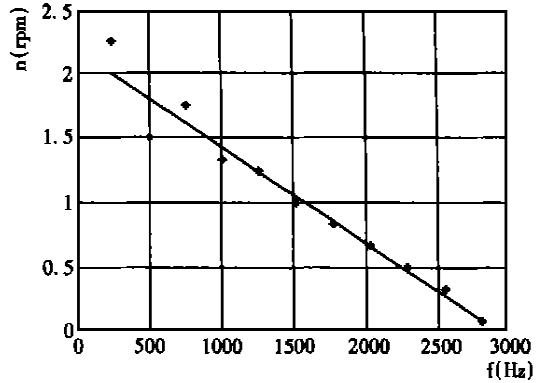


Fig. 5 Diagram of n and its fitting curve

4 结 束 语

经实验研究与实际运行证明, 此驱动器若要实现理想的运动状态, 考虑到其原理是惯性与摩擦, 所以以下问题要特别引起注意:

(1) 摩擦力的调整: 由于摩擦块与旋转体间的摩擦力是驱动力, 所以把这一驱动摩擦力调整到合适的范围, 使之既能驱动旋转体灵活转动又不将旋转体卡住, 这是驱动器动作的关键之一;

(2) 旋转体的质量: 旋转体相对于驱动器来说, 质量是较重的。由于压电陶瓷的振动频率很高, 它在快速收缩时不会使球体移动, 所以球体的质量不能太大。

四自由度驱动器的研究距实际应用尚有一定距离, 未来的深入研究主要集中在以下几个方面:

(1) 微小化: 要是想把驱动器安装到小机器人机体上去的话, 现有尺寸显得太大。驱动器的进一步缩小, 需要从机构、原理等方面寻找更好的方法;

(2) 快速运动: 从实验结果可以看出, 驱动器的动作速度较慢, 想要高效地完成指定任务, 其性能还需提高。

实验证明: 这一原理应用于微驱动器的驱动是可行的。压电陶瓷的通电频率处于 0Hz~3000Hz 时微驱动器的运动是线性可控的。同时, 微驱动器还要在微小化和运动性能上加以改进。

参考文献:

- [1] A sano M, Matsuoka T, Okamoto H, et al Study on micro mobile machine with piezoelectric driving force actuator[A] IEEE Inter. Conf on Robotics and Automation[C]. 1995, 2955- 2960
- [2] Matsuoka Toshiyuki, A sano Motomu, Mitsuishi Setsuya, et al Improvement of micro mobile machine with piezoelectric driving force actuator[A] Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science[C]. 1995, 211- 217.
- [3] Chen Huibao, Sun Ping The design of two-layer flexible hinge mill-gripper[A] Seventh International Symposium on Micro Machine and Human Science[C]. 1996, 99- 105
- [4] 褚祥诚, 陈维山, 陈在礼 超声波马达在美国的发展[J]. 压电与声光, 1999, 21(1): 37- 40

Inertia-friction based 4D. O. F. microactuator driven by PZT

CH I Dong-xiang, YAN Guo-zheng, D NG Guo-qing

*(Institute of Precision Engineering and Intelligent M icrosystem ,
Shanghai J iaotong University, Shanghai 200030, China)*

Abstract: An inertia-friction based 4D. O. F microactuator driven by PZT is presented. The 4D. O. F microactuator prototype made based on an experiment and its kinematic characteristics are discussed. The experiment proves that it is feasible to apply the driving principle to the microactuator. The microactuator is linear and controllable at the frequency between 0 to 3000 Hz of voltage. The existing design problems and the future research on the microactuator are discussed as well.

Key words: inertia; piezoelectric ceramics; microactuators

作者简介: 迟冬祥(1971-),男,博士研究生,研究方向为特种机器人。

颜国正(1961-),男,教授,博士,博士生导师,国家“八六三”计划智能机器人主题专家。

E- mail: cdx-sjtu@263.net