

国外微型机械及微执行器的研究*

孙家薰 曾周末 杨明

(天津大学精密仪器工程系, 天津 300072)

摘要 由于高新技术的迅速发展,微型机械包括各种微传感器、微执行器和微控制器的研究和为一些尖端技术发展过程中的重要手段越来越受到国际科技界的重视。微型机械多种多样。如可在狭小的空间和危险场所进行维护检查的自行式微型机械、可进入管道、人体腔体甚至血管进行检查和手术的微型机械、扫描隧道显微镜(STM)和原子力显微镜上的分辨力以纳米计的微动机构、半导体领域和分子机械领域都出现了很精密的微型机械。国外为了提高微型机械的研究水平,最近还定期举办微型机构和微型机器人的比赛,包括爬山、爬崖和自我表演等项目,由于微型机械都必须有所动作,因此其中的微执行器(micro-actuator)最为重要,其工作原理多种多样。本文将就微型机械、微执行器的原理和国外的微型机构比赛作一综述。

关键词: 微型机械; 微型机构; 微执行器

1 微型机械和微动机构

微型机械当然是从小型精密机械发展而来的,钟表应该说是早期的精密机械,除有精密复杂机构进行走时报时外,有的钟表还可以在确定时刻出现各种人物鸟兽进行动作和表演。我国唐宋时期就有水力机械推动的天文和计时仪器,能在确定时刻出现持时辰牌的木偶(这应该说是数字式钟表的鼻祖)或各种禽兽木偶敲击乐器。北宋哲宗年间苏颂等所制的水运仪象台可谓其中的集大成者。这两年国外还有人在复现该仪器。到19世纪后半叶瑞士已能生产精巧的手表。本世纪30年代德国Zeiss公司的显微镜可在镜台上用微操作器进行细胞解剖。1950年Olympus公司制成了用于内窥镜的使用5mm胶卷的照相机。

随着科学技术的发展微型机械和微动机构得到很大发展。在精密仪器制造方面手表等的微小部件的加工技术日益精密和自动化,可制作很多微型机械。目前石英手表用的微型步进电机的转子直径只有1mm,功耗仅 $1\mu\text{A}$ 。出现了各种功能的手表机心。如有的机心内有多达4~5个步进电机分别驱动一套轮系和指针。用集成电路(IC)协调其动作,有的步进电机还能控制其作正反转。有的手表机心还有自动机构进行发电和充电。有的手表装有不同的微传感器可测爬山高度、潜水深度,有的可测脉搏甚至测量血压等等。有的手表装有压电式、电动式或超

* 国家教委博士点基金资助课题

收稿日期:1995年1月23日

声波电机式扬声器进行报时和闹时。扫描隧道显微镜(STM)和原子力显微镜等上有微动机构可进行纳米(nm)级的测量和加工。STM 可进行表面微细加工,如它可以修补集成电路的线路结构等,在半导体和 IC 制造方面,可用表面腐蚀和掺杂质等方法在硅片上做出直径为 $50\mu\text{m}$ 的静电电机等。在分子机构方面,用分子生物学可以说明的微小生物及其成分的人工化可用微型机构和微动机构作为一种手段,用纳米技术进行加工装配,可进行分子或原子的摘放加工,这种微动机构目前多用压电元件进行控制,其分辨力为纳米级甚至更为精密。现在医疗上微小部位的检查和手术可用能进入人体腔体、管道甚至血管可用自行式胶囊(capsule)代替探针和内窥镜。此外还有显微外科用的微型操作器(micro-manipulator)。工业管道和飞机隔壁内部的维护检查最好用行走式微型机械,在一些危险场所如原子能装置、航天和深海等检查也应用行走式微型机械。单个微型机械可能出力很小,但集积起来出力就会大。如将微型行走机构编织起来的行走绒毯,或将出现的以微型机械细胞集积而成的具有精巧功能的集成机构 IM(Integrated mechanisms)。IM 将像集成电路(IC)一样出现于我们的生活中。

行走式微型机械主要取决于能得到微小运动的微执行器(micro-actuator)。在研究开发微型机械时从微型机械的特征,所要求的尺寸大小及其用途等出发,对其基本原理、设计原则、微传感器、微执行器、微控制电路等的硬件、功能性能分析、控制方法等的软件进行研究开发。微型机械由于尺寸小会出现很多问题,例如尺寸为 $1/10$,则重力将为 $1/1000$ 。重量减轻很多,要考虑摩擦力、静电力等问题。尺寸小对于加工误差比较敏感,应选用对加工误差不敏感的机构。

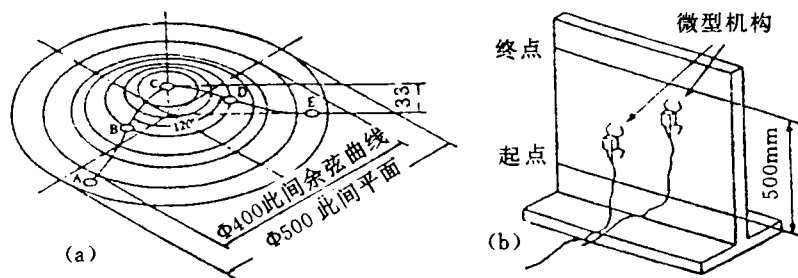


图1 爬山和爬崖示意图

(a)横截面呈余弦形表面;(b)铅直壁面

2 微型机构比赛

近年来国外对研究发展微型机械非常重视。美国的全美科学财团(NFS)每年以 200 万美元支援微型机械技术的开发研究,IEEE 也积极组织召开微型电子机械系统讨论会(MEMS)。但最重视发展微型机械的还要算是日本。日本在 1990 年代非常重视微型机械研究,通产省从 1991 年开始在工业技术院的大型课题中提出微型机构的研究开发课题。在 10 年间将投入 250 亿日元进行这方面的开发研究,还成立了很多以开发生产微型机械的公司。很多大学也开展了这方面的研究,其中最主要的要算东京工业大学在横滨市的精密仪器研究所。为了使得有更多

人员和单位积极开展微型机械研究,并对由于机械的微小化所出现的很多问题考虑解决办法。从1990年3月开始由日本精密工学会(相当于我国的仪器仪表学会)主办,每年举行微型机构爬山比赛。第一届1990年3月在东京工业大学举行,第二届1991年3月在早稻田大学工学部举行,第三届1992年3月在中央大学工学部举行,第四届1993年3月在庆应义塾大学举行。由1991年10月开始又在名古屋每年秋季举行一次国际微型机构爬山比赛,是由日本的精密工学会、日本机械学会、计测自动控制学会、日本机器人学会和名古屋市等共同主办的。比赛是有规则的,每次有所修改。例如爬山比赛,参赛的微型机构的尺寸限于每边1cm 体积为 1cm^3 的立方体内,其能源和控制信号可由导线或软管从外面提供。爬山比赛时地面是用铝合金制造的直径为550mm,高度为33mm,横截面呈余弦形的表面(图1. a),爬山途中最大倾斜角为 15° 。比赛时微型机构从起点出发经过包括山顶在内的几个测试点而到达终点,测定其间所需时间。比赛成绩主要是根据途中所需时间,但也根据其构思、幽默性、微小化可能性、行走性能等进行最后评分。比赛会的比赛种类也逐渐增加,除爬山比赛外还有爬崖和自我表演比赛等。爬崖比赛为测定在铅直壁面上爬500mm(图1. b)所需的时间,其他规则与爬山相同。自我表演比赛的参赛品不一定是移动机械,也没有尺寸限制(当然尺寸大小也作为评分的一个标准)。其评分主要根据是构思、微小化程度、惊奇性、幽默性、动作性能、完成度和艺术性等。爬山比赛的成绩也提高很快。例如1990年3月第一届时第1名由三菱电气公司的“铁虫1号”获得,成绩为1分44秒。到1991年第二届时第1名的成绩已是8秒99,这是由日本著名手表企业精工电子公司研制的名为“山越二郎”参赛品获得的,它用由该公司自行开发的两个超声波电机进行驱动。1991年10月名古屋国际比赛会上的第1名,名为“Dr. Escargot”也是由精工电子公司研制成,成绩为8.94秒,使用的也是超声波电机。1992年3月第3届比赛会上获得第1名的也是精工电子公司研制的“Dr. Escargot- I”,成绩是5.01秒。那次比赛中精工电子公司的另一参赛品“小山越二郎”,成绩为9.38秒,但其体积仅为山越二郎的0.36($8.6 \times 9.3 \times 7.2\text{mm}$)。在1991年10月的名古屋国际比赛会上参赛的还有另一家日本著名手表企业精工爱普生公司研制的“EMROS”(微型机器人系统),它有可爱的外形、有耳朵、眼睛、触角和尾巴。里面是两个小型石英手表机心,有蓄电池、IC和两个微型步进电机驱动两个轮子,整个重量只有4.3g。它的两只眼睛是两个光电传感器,触角和尾巴除作平衡用外还作为充电的端子。用手电筒光照射和改变照射到光电传感器的方向来控制行走和行走方向。由于它不用外面引线提供电源和控制信号所以称为微型机器人系统。在1991年第二届爬山比赛会上获得第2名的也是由精工电子公司研制的“Mountain Gorilla”,成绩为10.95秒,它使用的是线性电磁式执行器,以它为基础开发了一种高级玩具“M3型超小型步行机器人”,参赛品的行走方式是多种多样的,可分为车轮式、气压式、擦脚走式(机构底面有斜毛或爪,以斜毛或脚爪与地面的往复摩擦力差而前进)。微型机构所用微执行器又可分为电磁式电机、手表用步进电机、超声波电机、电磁振动器、压电振动器、形状记忆合金(SMA)振动器、静电振动器和气动喷射器等。

3 微执行器

行走式微型机械中最主要的组成部分是微执行器,因为它将不同的控制信号变为微小的动作。表1介绍了行走式微型机械的行走方式和所用微执行器类型。

表 1

型 式	行 走 方 式	微 执 行 器	
非车轮式	擦脚走式 (带斜毛或带脚爪)	电磁振动器 压电振动器 形状记忆合金振动器 静电振动器	
	非接触式	气 动 式	
车 轮 式	车 轮	电磁式	电磁式电视 手表用步进电视
		压电式	微型超声波电视
		气 动 式	

如前所述,在日本微型机构比赛会上屡获首位的精工电子公司开发的微型机构是以微型超声波电视作为驱动源的,这种电机的微小尺寸、高力矩和快速响应使其构成一非常简单而有效的微型机构。图 2 为超声波电机的基本结构,其中支持板、中心轴、压电元件和振动体构成定子,转子体和滑动板构成转子,而加压机构用来将转子的滑动板压紧在定子的振动体上,高频电信号加在定子的压电元件上使振动体产生弯曲振动,用加压机构将转子的滑动板压紧在定子的振动体上,依靠摩擦力使转子转动。一个行走式微型机械上装有左右两个超声波电机,转子体外缘做成齿轮形,通过齿轮副分别使微型机械的左、右两个后轮转动,微型机械还有一个空转的前轮,由两台高频电压发生器将驱动信号分别输给左、右两个超声波电机,信号的频率是可调的,当两上超声波电机的信号频率同时升高或降低时可使行走速度加快或减慢,如果两个发生器的频率不同则可使微型机械左转或右转。此外,也可做成超声波直线电机。

手表用步进电机是一种单相永磁式拉维(Lavet)电机,它的尺寸小,功耗低,其转子一般用钕钴永久磁铁做成,可充成一对或多对磁极。手表用步进电机用于微型机械要解决输出力矩小的问题。

表 2 为日本微型机构爬山比赛中精工电子公司开发的以手表用步进电机驱动和超声波电机驱动的两台参赛品的参数比较。

图 3 所示为前述参赛品“Mountain Gorilla”的电磁式执行器。其中心部分为永久磁铁,左右各有一空心线圈,空心线圈置于脚上,脚底部有“斜毛”。当电流流经空心线圈时,产生振动,斜毛与地面产生相对运动,使微型机构擦脚走而前进。

图 4 示为用脚爪前后伸缩的电磁式微执行器,为了得到较强的电磁力,用较大的电磁铁

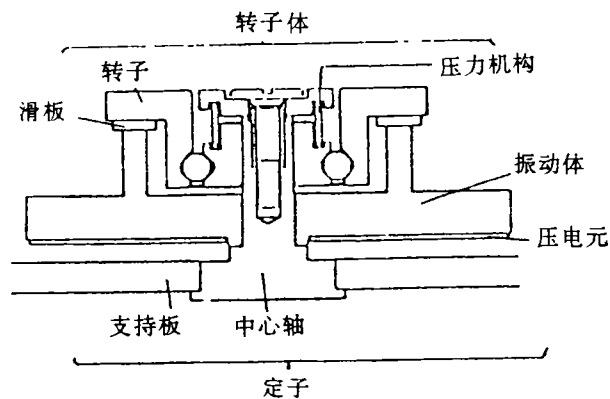


图 2 超声波电机的基本结构

串联配置,而接地的脚爪则为非对称布置,使执行器能较平稳的向一个方向前进。

图 5 所示为一“斜毛”型爬山微型机器人,重量为 2g,驱动源为压电元件,驱动频率为 3kHz。将两个内装压电元件的谐振框架连接在一起,供给驱动信号时振动传给特殊斜毛发生推力而移动。

表 2

项 目	山越一郎	山越二郎
驱 动 源	手表用步进电机	超声波电机
驱动电压(V)	5.0	6.0(V _{pp})
电机启动力矩(g·cm)	0.02	1.0
无载时电机转速(rpm)	1920(向前)	6000(向前与向后)
减 速 率	1/30	1
零件总数	92(4根引线)	54(5根引线)
最大行走速度(mm/sec)	100	500
重 量(g)	5.4	2.0

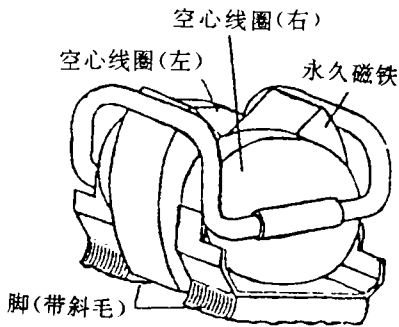


图 3 “Mountain Gorilla”
的电磁式执行器

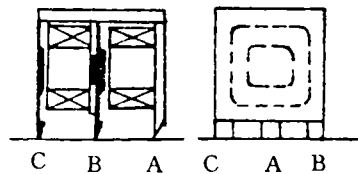


图 4 脚爪前后伸缩的
电磁式微执行器

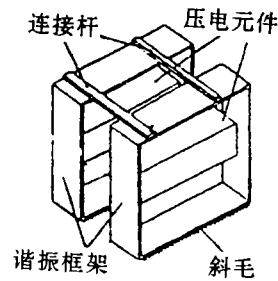


图 5 “斜毛”型爬山
微型机器人

图 6 所示为一种采用气动原理的非接触式行走方式的微型机构。是 Olympus 光学公司的

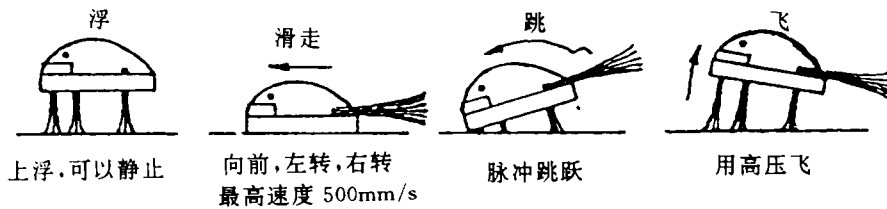


图 6 气动非接触式行走微型机械

参赛作品“Cockroach 3号”气垫式气动蟑螂,其底面有六个喷射孔,两侧各有一个向后的喷射孔,控制不同的孔出气及出气量可使其作滑动、浮动或跳动。它参加了 1992年3月第3届比赛会,成绩为 6.09 秒,位居第 2。在比赛中还出现了使用形状记忆合金(SMA)的 4 足、8 足昆虫形微

型机构,丰田中央研究所研制的“静电银蝇”,有用铝箔制的电极和塑料膜制的羽毛,以高压静电控制可振翅而飞。

参 考 文 献

- [1] 林辉,山登りマイクロメカニズム制作コンテストから. 精密工学会志,1990,56(12):51-54
- [2] 铃木城等,小型走行ロボットの开发. 日本時計學會志,1993,(145):3-15
- [3] 林辉,マイクロマシンのすすむ. 國際時計通信,1993,34(1):24-25

Researches on Micromachines and Microactuators at Abroad

Sun Jiazi, Zeng Zhoumo and Yang Ming

(Dept. of Precision Instruments and Engineering, Tianjin University, Tianjin 30072)

Abstract

With the rapid development of modern technologies, academic circles have paid more and more attention to the research of micro machines. The micromachines are various, for example, self-controlled micromachines can safeguard and inspect in some narrow and dangerous places; some of them can enter man's cavities even blood vessels to examine and operate the diseased parts; the microactuators in the scanning tunneling microscope (STM) and atomic force microscope can reach a resolution in μm . Recently, in order to improve the research in micromachines, microactuator and microrobot, contests which are composed of climbing mountain, climbing cliff, selfshow etc. are held periodically in Japan. Because micromachine must be movable, the microactuators become the most important in the domain of micromachines. This paper summarizes the principles of micromachines and microactuators, and the contests at abroad.

Key words: Micromachines, Micromechanisms, Microactuators