

微机器人的研究现状与发展趋势^{*}

赵然, 李艳文, 赵铁石

(燕山大学 机械工程学院, 河北 秦皇岛 066004)

摘要: 微机器人学包括微型机器人和微动机器人, 微/纳米技术的迅速发展促进了微机器人技术的发展。微机器人在一些不便于人直接操作的狭窄环境(如管道)和微细作业技术中有广泛的应用, 文中主要分析了微机器人特别是并联微动机器人的国内外研究现状, 提出了目前微动机器人研究的不足及发展趋势。

关键词: 微机器人; 并联微动机器人; 发展趋势

中图分类号: TP242 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2354(2009)02-0001-02

随着科学技术的发展, 在生物、医疗科学、遗传工程、精细加工、集成电路制造、光纤对接、CCD 对接、航空航天等领域, 迫切需要人们开发一些工作对象是微小物体或其位姿微小改变的微细作业技术, 这些微细作业直接由人来操作是非常困难的, 所以必然要依靠微动机器人来完成; 微/纳米技术及相关技术的发展, 也促进了微机器人学的发展。此外, 微动机器人作为微电子机械系统(MEMS)研究领域的重要分支, 已受到国内外学者的高度重视, 具有广阔的应用前景。

1 微机器人的研究现状

微机器人学包括微型机器人和微动机器人^[1]。两者相比, 微动机器人技术发展较快, 因为微动机器人的外形尺寸不必很小, 它的大部分研究问题仍属宏观范畴。

微动机器人系统是指末端工具在一个较小的工作空间(如 mm 尺度)内进行系统精度达到 $1 \sim 5 \mu\text{m}$ 或 $100 \mu\text{m} \sim 1.0 \mu\text{m}$ 的操作, 被操作的主要对象是生物细胞、微电子元件、光纤等微观尺度的物体。该系统进行的操作是微细的, 而装置本身并不是微型的, 因此微动机器人系统一般由以下几个方面组成: 高倍频、高分辨率的显微视觉系统; 对操作对象进行固定的作业平台及夹持设备; 能够改变操作对象位姿的多自由度操作机器人手^[2]。从 20 世纪 80 年代末期开始, 国内外学者就已陆续研究出多种不同结构的微动机器人。

在医疗应用领域, 微机器人能有效地减轻病人在治疗时的痛苦, 有极好的应用前景。

2001 年 9 月 5 日, 世界第 1 台脑外科手术机器人在伦敦研制成功^[3], 如图 1 所示。这台名叫“探路者”的机器人通过计算机控制, 操作准确无误, 可减轻病人在手术时的痛苦。

德国 PI 公司也研制出用于脑部手术的微动机器人^[4], 如图 2 所示。美国纽约的 Cornell University 医学院已用微动机器人进行了动物的输精管手术实验。法国于 1995 年研制了一种医用管道微机器人, 它的直径为 1 mm 长度为 3 mm 一端是可更换的头部装置。美国加州理工大学研制了一种主动内窥检查的微机器人, 它的尾部带有电缆, 其主体主要由支撑器和延展器组成, 采用蚯蚓蠕动方式运动。意大利研制了用于结肠检查的携带主动内窥镜的微机器人, 由母体、微型手臂、人机接口组

成, 母体由 3 个模块组成, 其中 2 个模块起定位和支撑作用, 1 个模块起伸缩作用。浙江大学研制出一种无损伤医用微机器人, 这种微机器人能以悬浮的方式进入人体内腔(如肠道), 这种方式可避免对人体内腔有机组织造成损伤, 大大减轻了患者的痛苦。美国 MIT 生物仪器实验室研制了一台称作“纳米步行者”的 3 条腿无线微型机器人^[3], 可在亚原子级的范围内进行操作。它的每条腿由 4 个压电陶瓷电子管驱动, 在连续运动时, 还可以连续使用交替的三角形支撑, 能够适应各种条件。



图 1 脑外科手术机器人 图 2 PI 公司研制的脑部手术机器人

美国 MIT 人工智能实验室研制出一种微型机器人蚂蚁^[4], 如图 3 所示。这个微小的蚂蚁体积只有 16.3862 mm^3 , 但是却集成了 17 个传感器, 包括 4 个光敏元件、4 个红外接收器、4 个碰撞传感器、4 个食物传感器和 1 个倾斜传感器。

美国加州大学伯克利分校研制了微型机器人苍蝇^[4], 如图 4 所示。这是迄今为止最小的可以拍打翅膀的机器人。这个微型机器人苍蝇的翅翼只有 3 mm 质量约 300 mg 与一只蜜蜂的质量相当, 该计划是美国国防部投资的, 希望用于战场侦察, 它还可用作气象传感器和通气管道检查员。

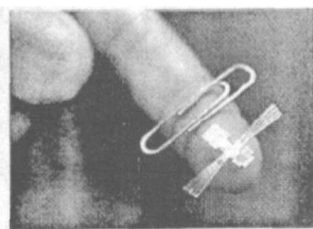
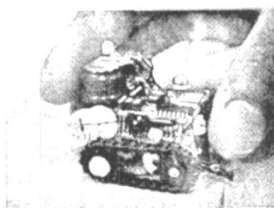


图 3 微型器蚂蚁

图 4 微型机器人苍蝇

清华大学在周兆英教授的带领于 2001 年研制出目前世界最细的超声马达^[3], 质量 36 mg 长 5 mm 是一个直立的圆柱

* 收稿日期: 2008-05-16 修订日期: 2008-09-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50375134)

作者简介: 赵然(1984—)女, 河北邢台人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 微机器人技术。

体,通过周边牵动的导线开始运转时,它的“头部”均匀地旋转,“脚底”则同时发出有韵律的振动。如图 5所示。这种微马达使微小机器人在人体血管内的移动成为可能。

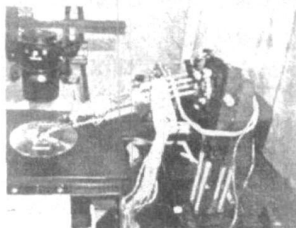


图 5 清华大学研制的微马达

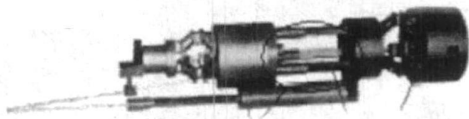
2 并联微动机器人的研究状况

由于并联机器人相对串联机器人而言具有刚度大、结构稳定、误差积累小、微动精度高等优点,早在 1962年 Ellis就建议采用并联的压电陶瓷微动机器人而不采用串联结构。之后,为了满足不同应用领域的需求,许多并联结构的微动机器人样机系统相继诞生。

日本从 1991年开始实施了一个为期 10 年的微机械技术研究开发计划,现已取得巨大的成绩。图 6所示为日本通产省机械技术研究所 Tanjo Tanikawa研制的用于细胞操作的双指 6自由度微操作机器人样机^[5],该机器人采用的是 SPS副, 613型 Stewart平台结构形式。Tanjo教授利用人使筷子的原理,将所研制的 2个微动机器人组成图示的串联结构形式,每个夹持器完成不同的任务,安装在中间圆盘上穿过上平台中心孔的夹持器相当于拇指边上的筷子,安装在上平台的夹持器相当于食指边上的筷子,具有较大的工作空间,所以较容易控制物体位置。此外,日本名古屋大学已研制出 6自由度串联微操作机器人;日本东京大学也已经研制出纳米级的机器人系统,用该台机器人系统已做过超大规模集成电路的铝配线切割实验。



(a) 并联微操作系统



(b) 双指并联微操作手

图 6 日本 Tanjo Tanikawa 研制的双指 6自由度微操作机器人

瑞士 EPFL研制出并联 6自由度微动机器人,该微动机器人由 2自由度或多自由度的球面微电机通过压电式微传器驱动,用于在集成光纤底片上定位^[5],如图 7所示。

芬兰的 Kallio研制了 3自由度并联微动机器人,如图 8所示。该并联微动机器人由 3个液压驱动系统驱动,定位精度高^[4]。美国 Texas大学机械工程系 Hudgens和 Tesar等研制了一个 6自由度完全并联带柔性铰链的微动机器人^[5],如图 9所示。该机构可用于精密的误差补偿和力控制。

Lee K-M对实现一移两转的 3自由度并联微动机器人进行

了研究。Orion采用与其相同的机构,研制出由压电陶瓷驱动、带柔性铰链的并联微动机构,如图 10所示,该机构采用胡克铰和一个转动副代替球铰,实现微型 Delta机构的一体化,该机构的最大特点是运动平台的姿态是定常的^[5]。

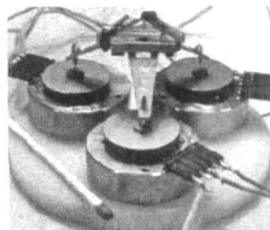


图 7 EPFL 并联 6自由度微动机器人

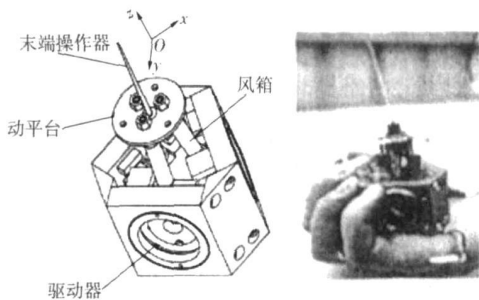


图 8 芬兰 Kallio 研制的并联微动机器人



图 9 Tesa 研制的微动机器人

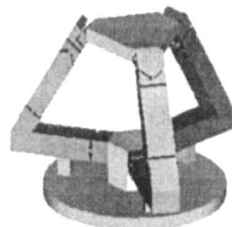


图 10 Orion 研制的微动机器人

与国外相比,国内在并联微动机器人方面的研究起步较晚,主要有:

哈尔滨工业大学(HIT)研制了 1台由压电陶瓷驱动的 6自由度并联微机器人(PPRM),它是 6—PSS副的变异 Stewart平台, P副由压电陶瓷水平驱动,全部采用柔性铰链,驱动和检测一体化,具有高精度、高分辨率和高频响的特点。

北京航空航天大学(BUAA)研制了 1台两极解耦的 6自由度串并联微动机器人^[3]。该机器人由压电陶瓷驱动,由空间 3—RP并联机构、平面 3—RRR并联机构串联串接而成,具有上下机构运动解耦,加速度大,可完成粗调、细调两种功能等特点。它的外形尺寸为 100 mm×100 mm×100 mm,工作空间为 40 μm×40 μm×40 μm,运动分辨率可达 0.2 μm。

此外,北京航空航天大学还研制了采用 Delta 3自由度并联机构的微动机器人,其外形尺寸为 100 mm×100 mm×100 mm,工作空间为 500 μm×500 μm×500 μm,运动分辨率可达 80 μm,该机构将显微视角作为反馈控制源参与伺服控制,使显微操作自动化程度及操作精度有极大程度的提高,操作者只需用鼠标轻点被操作对象,系统就会自动完成显微操作。

燕山大学的高峰教授研制了六维力/力矩传感器;此外,高峰教授还利用并联结构的特点,首次提出用弹性铰链代替球面副,创造性地将 Stewart平台结构设计成六维鼠标^[3],可用于虚拟现实、遥控、游戏手柄等人机交互接口领域;还研制了 6自由度结构解耦的一体化微操作机器人。

(下转第 54页)

the ASME 2001 123(9): 346—352

- [6] 左行勇, 刘晓明. 三种形状柔性铰链转动刚度的计算与分析[J]. 仪器仪表学报, 2006 27(12): 1 725—1 728

Analysis on frequency characteristics of elliptic flexible hinges

CHENG Li-feng YU Yue-qing WANG Wen-jing

(College of Mechanical Engineering and Applied Electronics Technology Beijing University of Technology Beijing 100022 China)

Abstract: The model of parallel guiding compliant mechanism was established, the parametric characteristics of planar compliant

mechanism constituted by elliptic flexible hinges were analyzed. The relationships between the inherent frequency of the elliptic compliant hinge and its minimum thickness, geometric parameter of the cut and mechanism thickness were discussed. And some conclusions of regularity were obtained by means of numerical valued example of calculation, thus a theoretical basis was provided for the design and application of the elliptic flexible hinge and a reference was offered for the dynamics study of compliant mechanism as well.

Key words: compliant mechanism; flexible hinge; inherent frequency

FIG 6 Tab 0 Ref 6

“Jixie Sheji” 8075

(上接第 2 页)

3 微机器人的发展趋势

从以上的分析中可以看出, 各国学者对微机器人的研究都很重视, 在许多方面已经取得了巨大的成果。但还存在许多理论和技术问题。目前的研究理论大多是按照宏观机器人学的理论进行的, 缺少针对微机器人特点而提出的专门研究理论。

另一方面, 微机器人多用弹性铰链代替普通运动副, 以弹性变形来实现运动, 是位移、力耦合的多自由度弹性体, 为了增加结构刚度, 又多采用闭环链的结构形式^[1], 研究高度耦合和高度非线性多自由度闭环结构已经有很大的困难, 再加上弹性, 就使得某些研究工作更难于进行。例如静力学和刚度问题, 所以对这些问题进行研究, 提出有效的理论及详细的计算公式是微机器人研究、应用的一项重要工作。并联微机器人的动力学、弹性动力学的理论研究也是值得关注的问题。

从并联微机器人的发展现状中可以看出, 国内外研制的并联微机器人, 多采用的是早期的 Stewart 和 Delta 机构, 这些机构存在不易标定、运动解耦性差的问题^[1], 使实际应用时不易控制, 因此研究新型机构是微机器人发展的一个重要方向。

不同的微机器人有不同的结构特点, 多采用的是并联和串、并混联的机构, 而每种机构的设计制造都要花费大量的人力和物力。因此, 研究模块化、可重构的机器人也是微机器人发展的重要方向。

4 结论

由以上的分析可以看出, 微机器人在国内外已经取得了很大的发展, 现已研制出许多微动机构。研究人员还根据并联机构的特点, 用弹性铰链来代替一般的运动副(球副、转动副等)从而将宏观的并联机构设计成微动机构。但是微机器人的研究还存在许多不足之处, 比如, 并联微动机构多采用的是 Stewart 和 Delta 机构, 而缺少新型机构, 在应用螺旋理论时充分考虑微机器人的特点, 研究并联微机器人的构型原理和方

法, 进一步提出并联微机器人的新构型。

参考文献

- [1] 贾庆轩, 魏秋霜, 孙汉旭, 等. 并联微机器人的研究现状[J]. 山东理工大学学报, 2003 17(6): 98—102
- [2] 隋琰, 李剑锋, 董新蕊, 等. 基于细胞图像的微机器人视觉分析及其轨迹规划[J]. 现代制造工程, 2007(9): 13—16
- [3] 王军超. 运动解耦六自由度并联微机器人关键技术研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2002 1—10
- [4] 尹根. 6—SPS 并联微机器人运动性能及评价方法研究[D]. 南京: 东南大学, 2005 1—5
- [5] 周红秀. 可重组模块化并联微机器人的研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2004 1—13
- [6] 苗军. 正交 6—PSS 并联微机器人性能分析及其运动副设计[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2002 1—9
- [7] 刘文光, 陈和恩, 陈扬枝. 医用管道微机器人的研究进展[J]. 现代制造工程, 2004(5): 14—16
- [8] 杨启志, 郭宗和, 马履中, 等. 全柔性机构在并联微机器人中的应用[J]. 机械设计与研究, 2005 21(5): 45—48

Present situation of researches and trend of development of micro robots

ZHAO Ran LI Yan-wen ZHAO Tie-shi

(College of Mechanical Engineering, Yan Shan University, Qinhuangdao 066004 China)

Abstract: Micro robotics includes micro typed robot and micro motion robot. The rapid development of micro nano technology promoted the development of micro robot technology. There are broad applications of micro robot in the narrow environments unsuitable for direct operations and in them inuteness operation. al technologies. The present situation of researches at home and abroad of micro robots especially the parallel micro motion robots was mainly analyzed in this paper. The deficiency and trend of development on the current study of micro motion robots were put forward.

Key words: micro robot; Parallel micro motion robot; trend of development

FIG 10 Tab 0 Ref 8

“Jixie Sheji” 8293