

基于多传感器的微装配系统研究

Study on Multi-Sensor based Microassembly System

朱涛 张江波 谈大龙

(中国科学院沈阳自动化所机器人学重点实验室 沈阳110016)

Abstract With the development of MEMS, the requirements for precise processing and assembly of micro instruments are increasing. Presently micro assembly system is a new application for microrobots which involves several high-techs, such as micro actuating, precise positioning, sensing, signal processing, communicating, etc. It has many challenges for robotic researchers. Multi-sensor based microassembly system becomes a focus for study. A multi-sensor based microassembly system is proposed in the paper, which is composed of precious micro mobile platform, micro gripper, visual feedback system, force feedback system, and so on. The paper mainly investigates some details on the design of microrobot platform and sensor feedback control systems.

Keywords Visual feedback, Force feedback, Microassembly

1 引言

随着 MEMS(微机电系统)技术的发展,对于各种光学元件、压力传感器、加速度计等微型精密元件的年需求量已达数百万。微器件的加工与装配越来越引起人们的关注,许多研究单位对于微器件进行了研究与开发。微小零件的精密加工中存在的主要问题是:如何以微观精度和低成本实现微小零件的加工与装配。近些年来,基于 IC 工艺和深层 X 射线技术也被成功用于复杂工艺的微机械零件的加工。但是,对于那些由多个不同材料不同工艺加工而成的微小器件组成的混杂系统,往往需要进行一步或多步的装配。有时也需要将常规元件与微元件装配在一个系统中。这些都需要先进的定位技术和高度灵活的装配仪器。利用常规的设备进行上述操作,实现起来很困难,而且成本很高。

未来的微系统技术发展在很大程度上依赖于装

配仪器的柔性,这不仅能够实现微器件的自动装配,还能降低成本,并获得很高装配质量。微操作系统在工业和生物方面都具有很大应用潜力,例如,微小元件的加工和装配,细胞分离, DNA 检验,显微外科手术等。鉴于此,具有高精度和多自由度的微装配机器人系统成为目前智能机器人的一个重要发展方向。

我们提出了一个基于多传感器的微装配系统,它由压电驱动移动微机器人平台,微夹持器,计算机以及视觉、力觉、位置传感器等组成。系统按照模块化设计,针对不同的微观操作,可以选择不同的操作工具、微检测工具和探针等。该系统可在光学显微镜下完成细胞作业和装配操作。该系统不仅在精密装配领域具有很大潜力,而且对于生物细胞操作、基因检验、大规模集成电路的修补等领域都有很好的应用前景。

2 微装配系统的组成

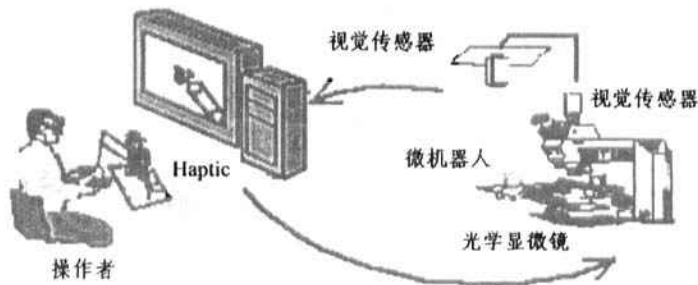


图1 微装配系统的组成

图1是一个微装配系统的组成示意图。它由一个主控计算机、微操作机器人、光学显微镜、视觉反馈系统、带有力反馈的 Haptic 输入设备、人机交互界面等部分组成。微机器人压电陶瓷驱动,既可以携带各种作业工具,完成大范围的移动,也可以在光学显微镜下完成特定的装配任务。显微镜和微机器人由

多个接口卡、AD 转换卡的并行控制系统控制。视觉反馈和力反馈系统将视觉信息和力信息反馈给中央计算机。中央计算机负责任务规划并提供了用户图形界面和遥操作界面。每一步操作任务确定以后,中央计算机通过控制器向微机器人发出动作指令,机器人按规划好的顺序执行特定操作。操作者通

过视觉反馈系统对操作过程进行监控,通过 PHANTOM、鼠标和键盘输入操作命令。

3 微机器人动作原理及机构设计

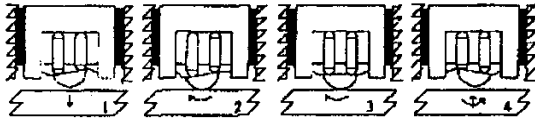


图2 滚动摩擦驱动原理

我们设计了一种微机器人平台,它的驱动原理如图2所示。每个驱动单元(腿)由两个压电陶瓷晶体(管状或叠层)和一个半球形接触元件组成。每个单元的运动包括四个阶段:下降,滚动,抬起,恢复。为了实现这四个阶段,两个压电管的变形必须按照一定的时延关系,其电压的波形如图3。动作开始时,给两个压电管分别加正向和负向电压,使其中一个伸长,另一个收缩,并令驱动单元下降,与桌面接触。下一步,给压电管缓慢施加反向电压,使小球在桌面上滚动。令单元抬起,在空中恢复变形,回到初始状态,

重复上述步骤,即可实现连续的运动。

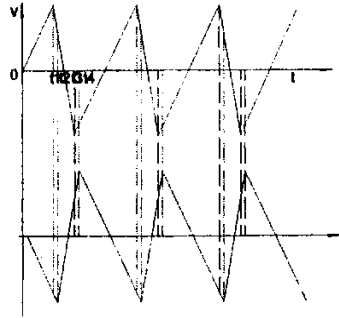


图3 驱动电压波形

将三个驱动单元组合在一起,成120°布置,如图4所示,通过控制各压电管的动作时序和电压,即可实现平面的全方位运动。机器人实验平台如图。

该方案的特点是可以承受较大的负载,运动灵活。实验证明,该机器人平台运动精度可达到50纳米。

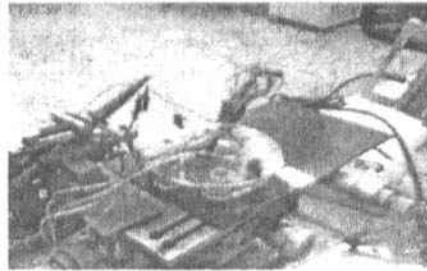
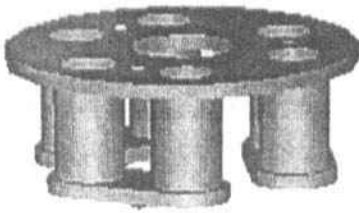


图4 机器人微动平台原理图及实物照片

4 基于传感器的微装配系统

对于微装配这类精密作业来讲,基于传感器的反馈控制是必不可少的。在我们设计的微装配系统中,包含了视觉反馈、力觉/触觉反馈、位置反馈控制系统,其体系结构如图5所示。

4.1 视觉反馈

操作者希望实时观察到目标和操作器的位置关系,以及装配作业的进度,系统通过视觉反馈来获取上述信息。微装配系统的视觉反馈系统由两部分组成:一个全局反馈和一个局部反馈。

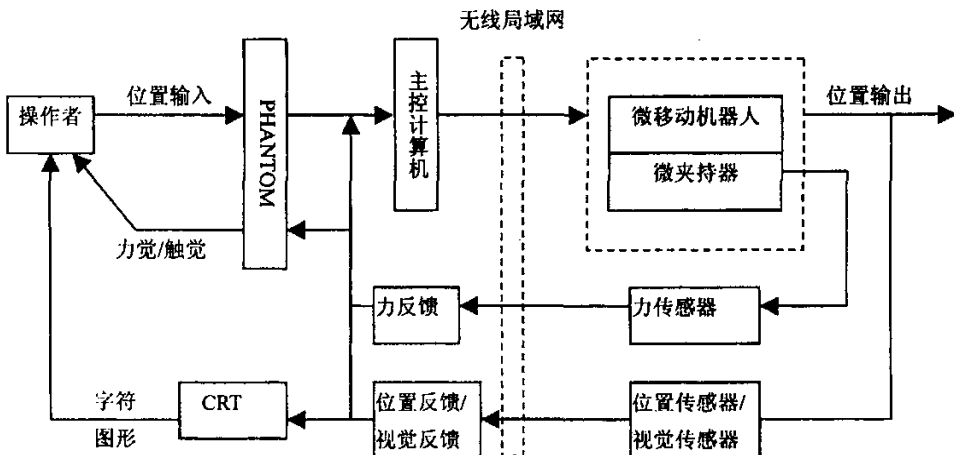


图5 控制系统体系结构

全局反馈系统感知机器人工作环境,监视机器人的工作空间,实时测定机器人的方位,精度达到0.5mm,这一精度足以满足机器人在桌面上进行搬运和操作时导航工作的需要。全局视觉反馈系统保证机器人运动中具有高速度,并能准确到达目标位置。

精密的微装配作业还需要一个局部视觉系统,该系统包括一个倒置的光学显微镜和一个 CCD 摄像头,用于监控操作器和目标之间的位置关系,并且实现准确的定位。它的精度一般在微米级。操作者可以用鼠标点击屏幕上某一点,令机器人向这一目标移动,这样系统通过计算机形成闭环,操作者只是起到监督作用。这就是所谓半自动操作。由于计算机计算速度所限,视觉处理每100ms 测量一次位置信息,并将其反馈给中央控制单元。为了提高效率,当视觉在计算新数据时,机器人平台可以“盲动”。

4.2 位置反馈

尽管视觉反馈可以在很大程度上反应出操作器和目标的位姿信息,但其精度只能达到微米(亚微米)级,并且由于传输的是图像信息,计算量往往很大。而要实现纳米级的运动,还要更加精确的位置反馈。

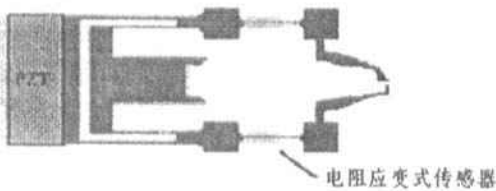


图6 带有力传感器的微夹持器

图6是一个带有力传感器的微夹持装置。它由不锈钢材料加工而成,压电陶瓷驱动。为减少传动误差,获得尽可能大的张合量,采用了弹性铰链放大机构。当夹持器接触到目标时,应变式传感器可以检测到夹持器尖端的变形,通过正确的标定,可以转换成力信号反馈给操作者。

5 人机交互界面

系统的人机界面包括 haptic 界面和视觉界面。这种人机界面不仅能提供监视功能,还可以获得触觉、目标位姿等信息。人机交互界面的意义可以概括为两个方面:第一,对于遥微操作来讲,它可以为用户提供视觉和触觉信息,方便了用户。第二,对于自动微操作,它可以智能地执行一系列的任务模块,尽可能减少人的参与。

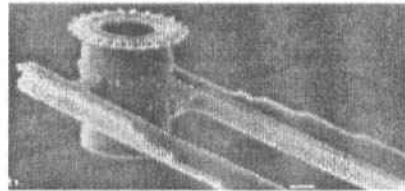
视觉界面主要传输 CCD 从不同视角拍摄到的图像,以便操作者随时观察到目标和工具的位置关

系,掌握操作的进程^[2]。同时也可以输出位置、速度、加速度、力等数据,为操作者进行决策提供依据。

4.3 力反馈

单纯的视觉伺服系统一般只能获得微米(亚微米)级的精度,这显然不能满足纳米操作的要求。而许多微装配需要纳米级的重复定位精度,例如微光学元件的校准要求相对位置精度为10纳米。为提高系统的重复性,必须利用其它的反馈作为补充。

由于微器件的尺寸很小,大多数薄且脆,容易变形或破碎,因而操作器的力控制是必不可少的。通过微传感器测定被装配件的受力情况,不仅能够帮助操作者掌握装配进度,还可以弥补由于视觉系统精度低带来的误差。微机器人的力传感器多直接集成在夹持器上,其测量精度很高,一般在 μN 甚至 nN 级。通过传感器形成闭环控制系统,实时地将力信息反馈给操作者。



系,掌握操作的进程^[2]。同时也可以输出位置、速度、加速度、力等数据,为操作者进行决策提供依据。

系统是由计算机控制的,操作者通过 PHANTO-M(一种 Haptic 装置)界面发出动作命令,并且感受环境信息^[3]。比如标定,Phantom 可以通过鼠标实施终止命令。通常,操作者一方面通过 Haptic 界面驱动执行器,同时,也可以通过 Haptic 界面感受夹持器的抓握力,从而提高了微操作系统的效率和可靠性。

结论 本文阐述了基于传感器的装配系统的组成,并针对其中一些关键问题进行了论述。各种微传感器的应用使微装配系统的性能得到改善,提高了装配精度和效率。微驱动技术、微传感器技术、图像处理技术等有机结合,必将促进微装配系统向更高阶段发展。这方面的研究不仅会推动机器人技术与工厂生产的结合,促进 MEMS 产业的发展,也将

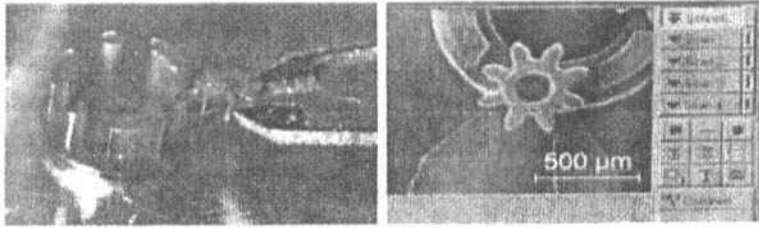


图7 微装配作业的视觉界面

参考文献

- 1 Fatikow S, et al. Design and control of flexible microrobots for an automated microassembly desktop-station. In: Proc. SPIE on Microrobotics and Microsystem Fabrication Nov. 1997. 66~77
- 2 <http://www.ipr.ira.uka.de/miniman/overview.htm>
- 3 Menciassi A, et al. Force Feedback-Based Microinstrument for Measuring Tissue Properties and Pulse in Microsurgery. In: Proc of Intl. Conf. on Robotics & Automation 2001. 626~631

- 4 Aoyama H. Flexible micro-processing by multiple micro robots in SEM. In: Proc of Intl. Conf. on Robotics & Automation 2001. 3429~3434
- 5 Fahlbusch S, Fatikow S. Micro Force Sensing in a Micro Robotic System. In: Proc. of Intl. Conf. on Robotics & Automation 2001. 3435~3440
- 6 Arai F, et al. 3D Viewpoint Selection and Bilateral Control for Bio-Micromanipulation. In: Proc of Intl. Conf. on Robotics & Automation 2000. 946~952

(上接第143页)

在分布的异构的集成环境中,移动式 Agent 在分布式数据处理(如数据仓库的建立和维护)中有着重要的作用。移动 Agent 可以自主地在异构的网络上,按照一定的规程,寻找最佳的执行任务的地方,当它到达目的地时,该 Agent 自主地执行它的代码。跟 Java 小应用程序不同,Agent 还可以传送它的状态和语言环境。Agent 通过 CORBA 的 ORB 在有名主机之间传送,每一个主机上都有知道如何外表示、传送、内在化和运行 Agent 的单元——Agent 传送管理器。CORBA 定义了允许 Agent 交换同步和异步消息的接口,CORBA 规定 Agent 的执行在一个代理语言环境内执行,以保护主机免受恶意的 Agent 的侵袭。

从微观上看,Agent 间的协作要通过一个共同的通信语言。知识查询操作语言 KQML 是由 KSE 开发的一种 Agent 间能共享知识和信息的高层通信语言。KQML 依据 Speech Act 理论对言语行为分类,将一些基本的言语行为定义为执行原语,并使其更适合于计算机通信。KQML 定义了三类原语:交谈类原语、干预与对话机制原语和推进与网络类原语,使 Agent 能与其他 Agent 进行有效的信息交

换和信息共享并且与具体的应用无关,KQML 只关心消息的通信行为,而不关心消息的具体内容。如果在 CORBA 的 ORB 上覆盖一层 KQML 语言处理层,运行在这种环境的 Agent 只需调用 KQML 的接口 API 就能与其他的 Agent 进行有效的协作了。

结束语 在多智能主体系统的设计中,采用基于 CORBA 的智能组件 Agent 的开发方法,充分利用 CORBA 对 Agent 的内在支持机制,对与增强系统的扩展性和灵活性,降低开发难度,缩短开发周期都具有重要的意义。基于 CORBA 的智能组件技术将随着分布式系统和网络并行计算的研究的深入而不断得到发展。

参考文献

- 1 Orfali R, Harkey D, Edwards J. Instant CORBA. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1997
- 2 Nwana H. Software Agent: An Overview Knowledge Engineering Review. IEEE Transaction on Software Engineering, 1996, 11 (3)
- 3 姚莉,张维明. 智能协作信息技术. 北京:电子工业出版社,2002
- 4 蒋文伟,许华虎,唐毅. 基于 Agent 的数据仓库的研究. 计算机工程, 2001(3)