

机械电子化文集

大连轻工业学院

1985

目 录

自适应机器人处理非定向的工业零件.....	1
装配机械手的传感技术应用实例.....	8
线切割机床.....	20
机械电子化装置的机构设计.....	26
包装用机器人.....	34
DNC 滚齿机的研究.....	39
液压和机械电子学.....	52
摩擦力测定装置的研制.....	58
反動力によつて立体な維持する例	
振子の研究	66
メカトロニクスの基礎(5), (13)	74

自适应机器人处理非定向的工业零件

I.L.Erosh, M.B.Ignat'yev and V.K.Pototskiy

列宁格勒航空机器制造学院, 计算工程系 U.S.S

概 述

这篇论文包括机器人工作现场直观信息输入的方式、方法简明分类, 并给出了相当有效地判别分离工件的算法。本文通过对工作学习阶段恒定零件运转特殊性能的选择、优化、获得了最短的判别时间。作者叙述了机械结构和自适应机器人的控制系统, 并讨论了成组自适应机器人控制计算时, 递归计算所用的初值。

术 语 表

α, β	—	自然数
$B(\alpha)$	—	自动修正函数
$\Delta\phi(\beta)$	—	角度的增量
ε	—	原始值
θ	—	升起的角度
$\lambda(\phi)$	—	机器零件图象
$\lambda(\phi, \theta)$	—	在球坐标系中的机器零件图象
ρ	—	半径
r	—	单位距离
ϕ	—	旋转角度
$X_{\bullet}^{(1)}(\phi)$	—	Chrestenson 函数
$\psi(\rho, \phi)$	—	在园柱坐标系中机器零件图象的表达式
ω	—	频率
$m(\omega)$	—	范围模方
$s(\omega)$	—	频率范围
$w(\rho)$	—	重量函数
$\{ \}$	—	模数 ε 增量的算符

一、介绍

由于现在许多厂家生产的非自适应机器人有着人所共知的缺点，所以借助于这种工业机器人实现的生产过程大规模自动化受到了限制。这种机器人的安装需要生产现场、输送、贮存、定向装置彻底地改变。在大规模专门生产情况下，安装额外设备费用高，而生产区的通用性却降低了。此外，增加生产产品范围，降低各方面的体积代表着现代化工业的发展趋势。所有这些都需要有应付各种不同生产产品能力的通用性生产区的建立。

必须指出非自适应机器人的应用通常不排斥工人在生产现场，而且留给工人更多的只是简单的、原始的手工劳动，如给机器人提供零件、给零件定向、改变生产状态等等。自动化问题的根本解决办法是不仅需要提供非自适应机器人，而且还需要由计算机或微程序自动生产来控制更精密的具有技术视觉、技术触觉和听觉的机器人系统。这样的系统具有对机器人现场变化作出反应的能力，并相应地作出生产程序更正的决定，该系统称为自适应机器人或称第二代机器人。

自适应机器人系统由外界接收和作出决定两部分组成，它可能具有如下主要特征：

1. 对在机器人工作区内安装的零件、工具的形状和位置的自适应能力；
2. 对零件重量的自适应能力；
3. 对零件、工具以及机器人本身部件偶然缺陷的自适应能力。

本文只讨论在工作区内对各种零件、工具的形状和位置的自适应能力。这种机器人由如下几部分组成：

1. 外界接收系统；
2. 零件辨认和零件位置参数测定系统；
3. 控制系统；
4. 带一个机械手的机器人机械结构和机器人运动机构。

二、外界接收系统

技术视觉、技术触觉是实际接收机器人外界输入信息的最合适系统。安装技术触觉实际上是通过把不同的有触觉敏感元件装到机器人的抓取手上或习惯上用触觉敏感表面作为机器人的工作架。

技术视觉可由下述几部分实现：

1. 把电视摄像机安放在机器人工作区域上面或安到机器人的抓取手上；
2. 把光敏元件固定在运动的输送机构上；

3. 使用无线电、激光或超声波测定型的扫描测距仪。

这些技术视觉和技术触觉允许再现观察中的物体二维图象或三维图象，方法的选择依赖于自适应机器人所完成的特定工作，特别依赖于零件尺寸和形状、零件位置测定所需要的精确度、以及在机器人视觉范围内同时出现的是一个还是若干个零件和机器人工作需要的速度等等。各种研究和生产区域自然模拟的结果证明，为了大批量生产，一些技术视觉和技术触觉的简单方式如机器人抓取手上的触觉敏感元件、触觉敏感表面以及固定在运动输送机构上的光敏元件都是可以使用的。一个靠自适应机器人自动化的生产区常常需要安装电视摄像机以便提供高分辨力或者安装激光测距仪再现机器人工作区的三维复制图象。我们作的全部试验都是用上述的外界接收系统，被分析的工序化成分量型的微小工序（当由固定程序完成运动时），或研究型的微小工序（当必须识别零件时，必须选定抓取手的位置时等等），或调整型的（当若干试验很可能必须完成时，例如把一个零件放到某地方，攻上丝或与某部件相联）。微工序间的比例决定了机器人自适应能力需要的程度，因而也就决定了技术触觉或技术视觉特定系统的选择。

三、零件的辨认和位置参数的测定

关于这个问题，有一些用自适应机器人解决的方法，那么，现在和最近的将来对这些方法在现代化工业中实际应用的适用性进行评价是合适的。

1. 由自适应机器人控制的识别问题表达式

许多刊物都假定在机器人的视觉范围内有许多不同尺寸和形状的零件以复杂结构形式排列着（一种凝聚），结果光源在零件上产生隐形和光点。为了能够解决识别问题，常常对零件的隐形加以严格的限制。例如，用包围的平面代表零件，用立方体、棱体、平行六面体这样的物体限制许可形状的总数。一般来说，识别过程如下：首先把机器人工作区的图象以亮度分布的矩阵形式输入到控制计算机里，第一个装置是区别原始特性，诸如相当亮度的线、交叉线、区域等等。第二个装置是挑选外形，发现外形之间的联系，辨别可能属于同一物体的多组平面。第三个装置是鉴别物体（零件），决定零件的位置或相互间的位置参数。有时比较由不同观察方法作出的零件图形。为了识别人造颜色的信息，要利用许多试验：如零件是原始的，为了简便识别步骤，涂上颜色。带曲形轮廓线的零件识别算法虽然作者已经发现了，但用这种算法只计算原始图象就要计算机化费很多的时间。

对我们来说叙述工业自适应机器人识别问题的解决方法似乎并不充分，至少现在，其理由是：

1. 零件分类的严格限制与实际生产情况不相符, 在实际生产中, 机器人必须操纵任意形状的零件;

2. 带有以凝聚形式移动零件的生产对大多数生产区域不具有典型意义。通常这种情况的试验或是针对大量(无规律)生产区域, 或是针对生产偶然情况, 只有在特殊的情况下(空间或水下试验), 上述的凝聚式物体才可能面对自适应机器人;

3. 由大多数算法决定的位置参数和识别时间即使是使用高速计算机也不允许自适应机器人真正动作。

各种生产区分析表明, 通常为了完成特定生产过程, 自适应机器人必须在一些不同的零件(从1到10)中鉴别所要的零件、抓取所选的零件、完成规定的动作。通常零件的投影是有差别的, 这就是为什么三维技术视觉的需要是一个例外而不是一个惯例的原因。在许多场合, 每次只供给机器人一个分离的零件是没有什么问题的。但如果若干个零件同时出现在机器人的技术视觉范围内是不可避免的话, 一般用周期性振动能不费力地分离这些零件。

作为叙述情况, 下述问题的表达是可以的。在通常情况下, 在机器人的视觉内有若干零件, 这些零件彼此互不接触。机器人知道它们。例如, 向在工作学习阶段的机器人展示这些零件, 零件的形状只由技术视觉系统的分辨力限定。最近刊物关于自适应机器人问题与我们所提的是相近的。但不同(见后面)的是事实上, 作为工作学习阶段中人-机对话的结果是通过人使机器人具备特殊性能挑选的能力。

在我们的实验中, 机器人工作效率的评价是根据识别的时间、位置参数估计的准确性以及在工作阶段零件特征所占计算机主要记忆系统的容量。图一为与特殊生产区无关的主要算法框图。

2. 主要算法的说明

在工作学习阶段, 老师(人)安放一定数量零件模型, 这些模型是必须用来控制机器人的。特性完整系统的计算与下述一致。

假设 $\Psi(\rho, \phi)$ 表示园柱坐标系中的零件图形, 这里 ρ 是半径、 ϕ 是角度, 相应命名为机器零件图形函数 $\lambda(\phi)$ 由下式给出:

$$\lambda(\phi) = \sum_{\rho} W(\rho) \Psi(\rho, \phi)$$

这里 $W(\rho)$ 是定义重量函数, 即由所有距零件中心为 ρ 的机器一部分各元件组

成。在实验时重量函数有值 2^p 和 2^{-p} ，函数 $\lambda(\phi)$ 的频率范围 $S(\omega)$ 由下式给出：

$$S(\omega) = \frac{1}{\rho} \sum_{\phi} \lambda(\phi) X_{\omega}^{(e)}(\phi)$$

使用 Chrestenson 函数的正交系统

让

$$S(\omega) = |S(\omega)| \exp(j \cdot \phi(\omega))$$

$$X_{\omega}^{(e)}(\phi) = \exp(j \cdot \frac{2\pi}{\varepsilon} \cdot \omega \cdot \phi)$$

这里 ε 是原始值，那么范围模方 $m(\omega)$ 和角度的增量 $\Delta\phi(\alpha, \beta)$ 由下式给出：

$$m(\omega) = |S(\omega)|^2 = S(\omega) \cdot S(\omega)$$

$$\Delta\phi(\alpha, \beta) = \omega_{\alpha} \phi(\omega_{\beta}) - \omega_{\beta} \phi(\omega_{\alpha})$$

这里 α, β 是自然数， $\alpha, \beta \in \{1, 2, \dots, \varepsilon-1\}$ 。

特性完整系统是一组函数：

$$\{m(\omega), \Delta\phi(\alpha, \beta)\}$$

特性的另一个研究系统为：

$\{B(\tau), \Delta\phi(\alpha, \beta)\}$ 并包括下式的修正函数

$$B(\tau) = \sum_{\phi=0}^{2\pi} \lambda(\phi) \lambda(\phi \oplus \tau) \bmod 2\pi$$

为了降低工作阶段的时间，发生了必不可少特性的最简化。

众所周知，如果在识别中关于模型的全部指令预先就存在了，那么识别的最大可能性就是给出与考虑干扰噪音有关（或无关）的所谓先进技术。但这种技术需要时间—占具模型的相对位置（移动和旋转）。甚至在以亮度 32×32 点的矩阵代表模型情况下，模对的位置就要化费十分钟的计算时间。这就是为什么机器人工作阶段偏爱恒速运转特性。为了确定零件的定向，选择沿着固定半径方向的编码。

通常在工作阶段，有若干零件在机器人视觉内，通过不相容区域的轮廓线把零件分离出来，接着计算零件的重心，之后，把学习阶段决定的必不可少特性抽出来，作出的判断接近于识别作用。

零件三维空间图形的识别假设用球坐标系中相应的函数 $\lambda(\phi, \theta)$ ，这里的 θ 是升起的角度， ϕ 是旋转角度。在这种情况下，特性完整系统被定义为一个三维

空间不可换组、与二维空间可换组图形恰好相反。

四、机器人的机械结构

我们所完成的试验是借助于自适应机器人系统，它由抓取机器人、移动输送带、控制计算机（ACBT M-6000, USSR）和技术视觉系统组成。视觉系统由光敏传感器（16到64个光电管）以固定线形式横跨40cm宽的输送带组成。操作器有五个自由度，四个自由度是一步步由电动机提供：抓取机械手向前、跨过输送带长度、旋转、上下移动。通常情况下，抓取机械手在抓取零件的运动过程中，零件的定向就完成了，这就节省了工作时间。同理，零件重心的计算和向该方向抓取是在零件整体跨过光敏传感器固定线没有停止运动时就开始了。当然了，当在机器人的视觉内只有一个零件时，就使用后面的方法。

五、自适应机器人的控制系统

为了由带输送机构的自适应机器人完成大规模类型的各种生产，控制系统可以是一个相当简单结构的微程序自动化。该控制系统能提供很高的生产力，并降低机器人系统的成本。但由于工业生产狭窄的分类限制了这种系统的能力，因而采用控制计算机获得机器人的通用性能。

在机器人工作区内带有相当复杂图形时，要化费大量的计算时间。为了克服这些不足，作为试验，采取如下步骤：

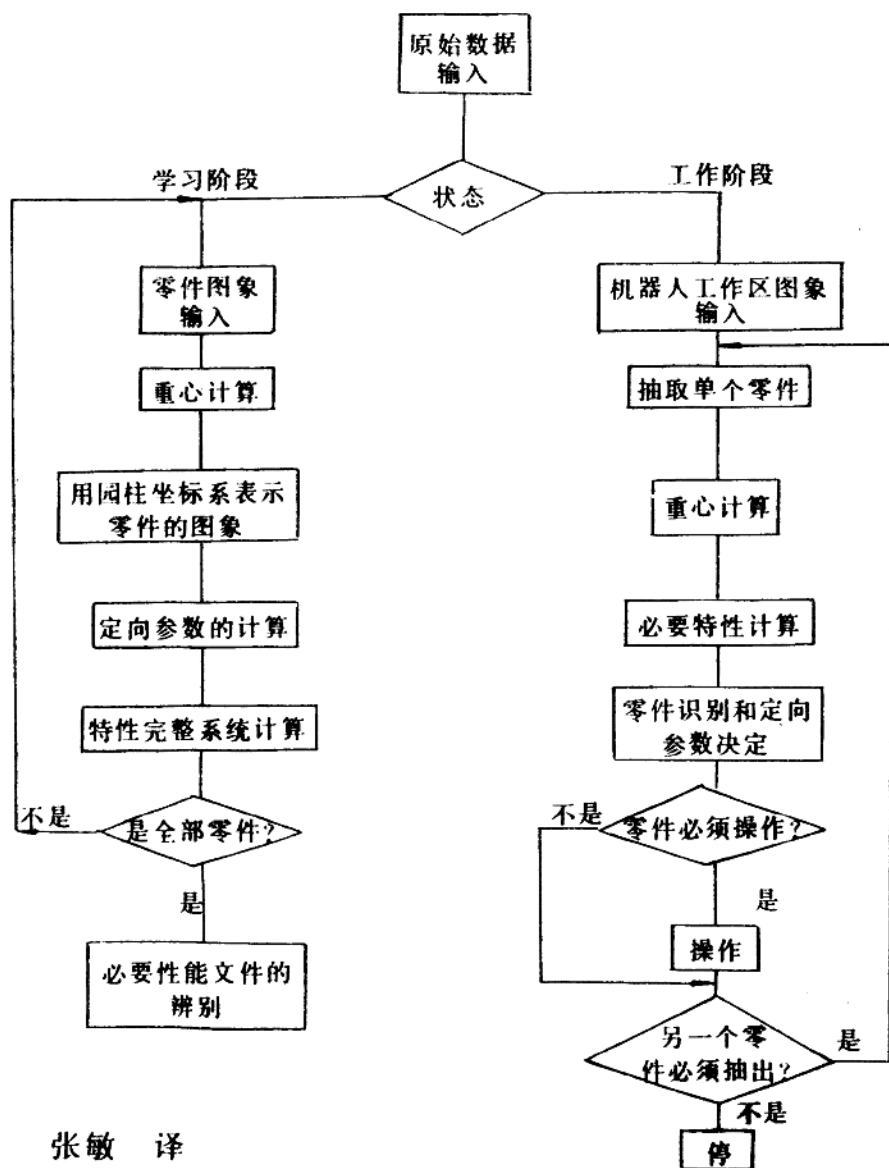
- ①计算的主要部分送到工作的学习阶段；
- ②在机器人运动的同时完成计算。

虽然平均工作速度为200,000 输出/秒，但当需要电视或激光观察时，这个速度在实际时间范围内完全不够机器人工作的。因而，大部分计算机时间消耗在这样的计算过程里，即图形不相容区域的轮廓线的判别、特性计算、矩阵输送等等。这个过程允许同时完成，这就是为什么用并行型的控制计算机能有效地解决问题的原因。但并行型计算机的应用只利于分时型的一组机器人。由于对服务要求偶而占有一点时间，而这些要求彼此是完全不同的，又由于这种并行计算机固定的结构，所以通常的并行计算机效率降低了。

使用递归计算机可以发现该问题的解决，其中值得注意的是：

- ①高水平的机器语言；
- ②分散型并行控制系统；
- ③记忆非线性机构；
- ④计算机的通用构造。

原始理论估计和计算结果同时表明了递归计算机可以用相当小的递归系数提供成组自适应机器人的有效控制。



张敏 译

图一

装配机械手的传感技术应用实例

佐藤善彦

日 堀口敏男 著

高梨伸彰

近年来,机械人的研制和应用很令人注目。现在可以预测在1990年代将会出现真正的智能机械人。特别是由于在机械人上应用了视觉、触觉等各种传感器,使它能够按照容易的演示办法学习做各种高速、高精度动作,这是极为重要的。各个方面都在积极地进行研究。不过目前的状况仍然是在传感器方面都有许多没有解决的问题(如精度、速度、可靠性、成本等),也还包括讯号、情报处理等问题。所以尽管使用者如何寄以多大的期望,在实用上仍然有着不少的障碍。本稿中所采用的是上述问题较少,并且易于处理的红外传感器作为近接触觉传感器。本稿说明的是在装配用机械手中占有重要位置的六自由度多关节形机械手的传感器的应用。也就是概述具有传感器的六自由度多关节机械手的构成,控制系统、传感器,同时,取在倾斜面上作图为例,说明加上传感器后的演示,人机转换装置的改善(Man machine Interface),以及今后传感器应用研制的课题。

机械手系统的构成

1. 机械手本体

图1表示具有传感器的6自由度垂直多关节形机械手的正面图。下面称它为RR-1。

表1为RR-1的规格,如图示,RR-1采用无残留偏差(offset 0)的杆机构,力学上平衡以求得座标变换简化并提高精度。实现上述结构的办法是将DC伺服电机、减速器(谐波传动),光学式编码器直联。

为了使机械手结构紧凑,价廉,减小惯性,没有采用转速发电机而采用了F/V变换器。特别是在 θ_2 轴上采用平衡装置与电磁制动器。

要想用传感器反馈控制机械手,就必要充分掌握臂的动力学与静力学。例如根据传感器的信号缓急自由地变化臂的速度矢量。现在的工业用机械手减速比 N 较大($N > 100$),因而臂的动力影响并不太大。今后为了使机械手高速化和提高力控制性而降低减速比时,动力学影响是不容忽视的,因而在机械设计和控制方式上都有必要考虑动力学问题。

表一 机械手本体规格

构造	6 自由度垂直多关节形
最大可搬重量	1.5 kg (合手)
重复精度	± 0.05 mm
动作范围	θ_1 轴 $\pm 160^\circ$ θ_2 轴 $-15^\circ \sim +90^\circ$ θ_3 轴 $\pm 120^\circ$ θ_4 轴 $\pm 160^\circ$ θ_5 轴 $\pm 90^\circ$ θ_6 轴 $\pm 160^\circ$
执行机构	D C 伺服电机

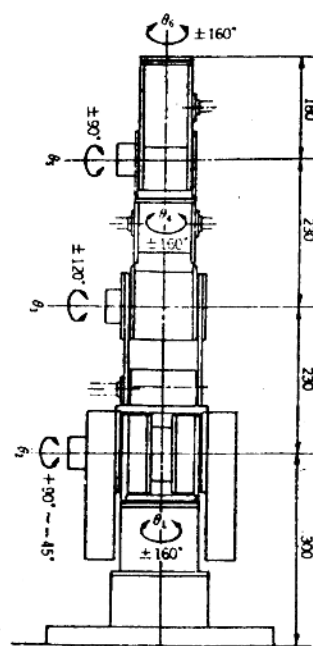


图1 RR-1 正视图

在设计RR—1以及控制系统时，使用机械手运动模拟分析了杆之间的力学干涉（杆惯性的变动，结合惯性矩，科里奥利矩，重力矩，）以及动/静摩擦。

设计时，根据反动力优化电机容量及加减速图，接着进行包括控制系统在内的系统模拟。图2表示采用模拟的控制系统的框图。图3为系统采样周期为5 ms 时的模拟结果的一例（同时三轴PTP移动时的电机扭矩）。图中扭矩格条较大是因为假定取样周期较长。

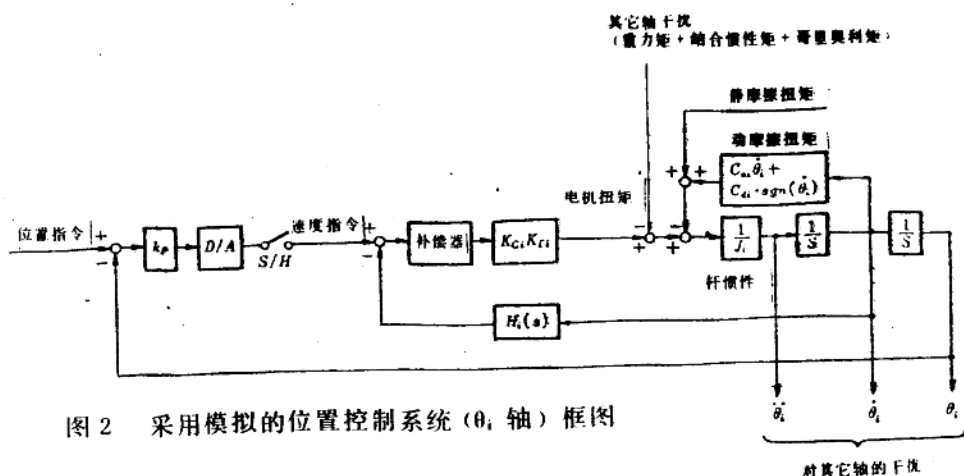


图2 采用模拟的位置控制系统 (θ_1 轴) 框图

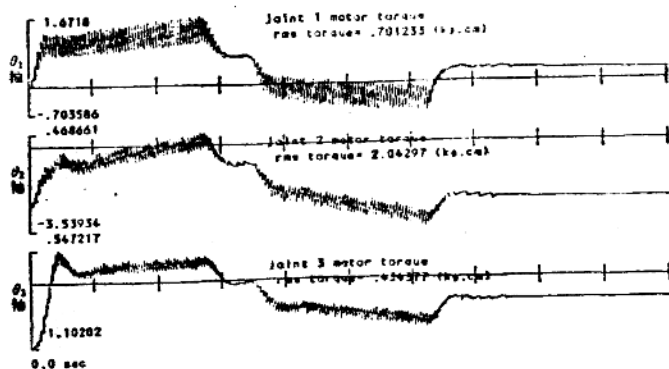


图3 模拟结果一例

以上结果与RR-1的实测结果比较一致。这说明,今后研制实时传感器反馈控制时,运动模拟是一种有力的设计工具。上述模拟中,是假定在速度环中具有PI补偿的,其它补偿方式的模拟也比较容易。

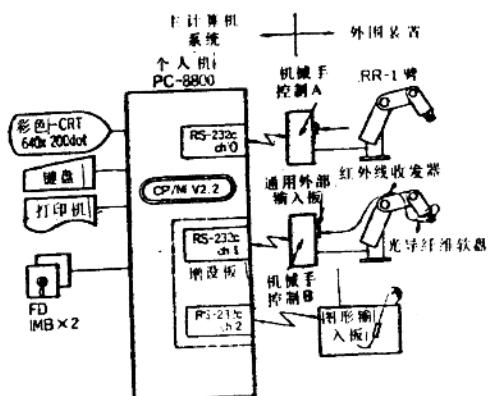


图4 机械手控制系统框图

2. 机械手控制系统

至今, 产业用机械手控制系统, 大多是单体使用, 很少具备有能与外部计算机通信的功能。为了提高机械手以传感器的基础的智能, 以及人机对话能力, 必需充分运用外部计算机的强大的情报处理能力和柔性输出输入功能。

RR-1 的控制系统如图 4 所示, 采用主计算机的外围装置, 并且两者之间以 RS —

232 C 标准通信变换器相连接。在本系统上, 主计算机可以如表 2 所示根据串行接口命令, 直接, 实时间上指示机械手的动作。上述命令比起把外部计算机单作为程序装置使用在柔性这一点上是优越的。这一系统的特点将在应用例处详细说明。

下面介绍的画图应用实例中, 主计算机使用的个人计算机 (PC-8860), O/S 使用 CP/M 演示装置使用图形输入板。表 3 为控制系统的规格 控制系统具有下列特点

表 2 串行接口命令

动作命令	MOV	根据绝对座标指定作 PTP 动作
	LMOV	根据绝对座标指定 CP 动作 (直线插值)
	IMOV	根据相对座标指定 CP 动作 (直线插值)
	HAND	手的开闭
	POUT	通用外部输入 ON/OFF
	WAIT	时间等待以及外部输入条件等待
	HOME	复归原点
	STABLE	外部输入条件表设定
	CTABLE	外部输入条件表清除
控制命令	STATE	将臂的现在位置、姿势以及外部输入状态通知主计算机
	TEST	控制设定为教示模式, 根据教示框图控制臂的动作
	TRST	解除教示模式, 由主计算机控制机械手的臂
	STATUS	返回控制的现在模式, FIFO 缓冲的等级
	HOLD	暂时停止现在实行中的动作命令
	RESTR	解除 HOLD, 从休止时点再开
	CANCEL	使 FIFO 缓冲的命令无效
	ESTOP	立即停止对电机的供电
	SKIP	切断正实行中的动作命令, 实行 FIFO 缓冲器的下一命令

1 因此系统具有座标变换/插值功能, 所以主计算机能够以直角坐标系的

矢量描述手的位置/姿势。

②此系统具有4命令份的FIFO缓冲器，具有预取命令的功能。输入FIFO缓冲器的命令称为动作命令，不输入FIFO缓冲器而立即实行的命令称为控制命令（参照表2）。

用上述办法减轻主计算机的负担。用一台个人计算机可以控制两台RR-1。

3. 传感器

如图5所示，RR-1在手部备有利用红外线感光断续器的存在传感器，可以检出手的内部有无物体存在。此外RR-1还备有障碍物检出存在传感器的反射形红外传感器。上述存在传感器虽然是作为通用目的而装备的，但在下面要叙述的在斜面上制图工作上它赋予触觉传感器的机能。也就是，手把持着图5所示的具有柔性机构的笔夹，当笔尖接触到画板时，笔夹的遮光板被向上押，由于红外线被遮住，存在传感器处于ON状态，控制器检出这一传感器信号，就停止臂的移动，并同时将手的位置/姿态矢量传送给主计算机。

这样，就将通用性存在传感器作为ON/OFF形触觉传感器使用，并且效果很好。

表3 机械手控制器

定位控制方法	微处理器伺服控制
定位动作方式	PTP (point-to-point) 直线插值
位置检测方式	光学编码器
通用外部输入输出	各15
主计算机接口	(1) RS-232 C标准通信接口 · 调步同步式 · 8数据位 · 2停止位 · 4800波特 (2) 串联接口指令的直接执行方式 · FIFO缓冲器的指令先读功能 · 由直交坐标系矢量记述手的位置/姿势

应用实例

1. 概要

下面叙述的应用实例是机械手本身利用传感器对工作对象进行测定，不经演示，对应于对象的变化而自动地进行工作。将图形输入板输入的图形在三维空间内有任意位置与方向的面上用机械手进行描画。此应用实例的目的是实现以下几点。

①机械手利用传感器自动地测定以求得制图面的位置与方向，所以不用对机械手演示工作对象的变化。

②由于以图形输入器作为输入手段，就可将二维的复杂移动轨迹的演示难度大为减小，提供一个操作法单纯的易于使用的对话式人机接口。

③由于以高级语言（FORTRANC 等）记述工作顺序，就能够最大限度地利用主计算机所具有的高度运动机能以及柔性高的输入输出机能，并且同时容易追加机能以及修正。

以上诸项是利用上述的触觉传感器、机械手的臂及机械手的控制系统实现的。此应用实例还是一种补正系统的应用例。就是当工作计画时与执行时如果工作环境有变化，可将此变化以传感器检测再补正，即所谓“脱机编程”动作指令作成形态。

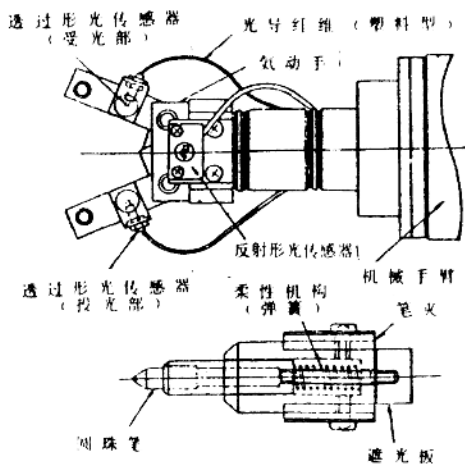


图5 用于作图例的传感器及笔夹

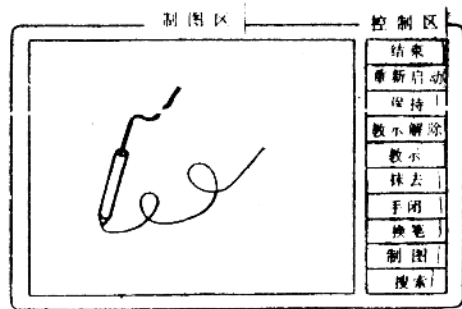


图6 图形输入板

2. 检测与算法

整个机械手的控制由主计算机进行, 用FORTRAN及ASSEMBLE语言记述控制程序。下面说主计算机上的处理。

给予机械手的指示全由图形输入板进行。图形输入板的板面如图6所示分割, 按照笔的输入位置进行作业的指示。制图领域的笔的动作无失真地成为输入图形, 输入图形表示在主计算机上。对应于功能区域的输入执行指令, 各项指令的意义如下:

(1) 搜索

由搜索开始位置向前方移动臂, 当笔接触到制图面上的点, 由传感器检出, 笔就停止, 读取此点的坐标。对于不同的点反复进行上述动作, 就可求出制图面的方程式, 并求出由图形输入面向制图面的坐标变换矩阵 T (后面详述)。在这里设定制图面在搜索开始的方向。

(2) 制图

由图形输入板输入并显示在CRT屏幕上的图形, 用机械手在制图板上作图。按照输入的顺序作图, 根据输入时笔的上下, 作图时笔也上下移动。

(3) 换笔

按装在机械手臂前端的反射形近接传感器能够检出入手的接近, 机械手的手就打开, 就可以换笔。并且进行一次对制图板面的搜索以测定笔的长度, 所以没有必要演示笔的长度。

(4) 抹去

用黑板擦抹去制图面。由左端开始重复从下向上的以一定速度对制图面的抹去动作。这个动作是根据“脱机编程”设定的动作, 是利用传感器所获得的情报边进行制图面的变换边执行作业的一个应用实例。

(5) 手闭

换笔之后, 手就闭紧。

(6) 教示

将控制设定在以教示笔驱动机械手的模式。

(7) 教示解除

将控制设定在用主计算机控制机械手的动作。

(8) 保持

将机械手的动作瞬时停止。

(9) 启动

解除保持状态，再启动动作。

(10) 结束

结束程序执行。

如上所述，因为全部操作都是由图形输入板实行，所以操作是简单的。因为指令的控制是用高级语言记述的所以很容易予以扩展。

控制程序由两种模式组成：坐标输入/表示程序与全体控制程序。前者由图形输入板的数据输信的分割作用而启动，将输入的坐标值与笔的ON/OFF 写入缓冲器，当坐标值在制图区域内时并显示在CRT 上，并计算出制图所需的坐标变换矩阵。后者，先是进行制图上3点测定，从而算出制图的坐标变换矩阵，然后由设定有坐标输入/显示程序的缓冲器读取坐标值以及笔的ON/OFF 状态。利用将此转换于制图面的数据驱动机械手。由缓冲器得到的坐标值如果是对应于 领域里的时，就执行所对应的指令。

控制程序及坐标输入/显示程序以缓冲器为中介独立地平行动作。因此，制图图形的输入与机械手的动作也可能平行地动作。这种情况下，机械手追随输入笔的动作。坐标的输入速度为11点/秒，笔在OFF 状态时，由ON 成为OFF 仅仅最初的一点写入缓冲器，在ON 的状态下仅仅写入0.5 mm 以上间隔的点，以此来减少缓冲器的数据数量。

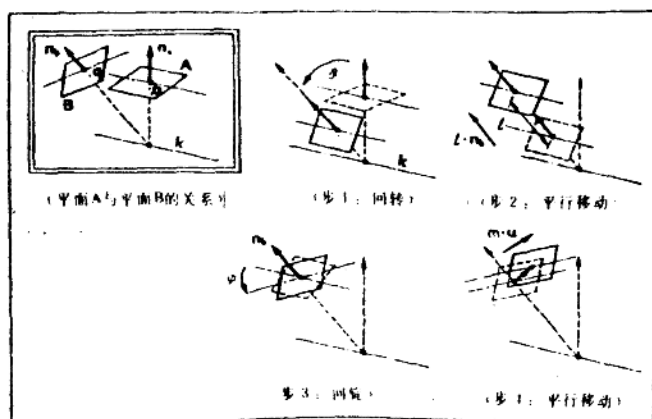


图7 将平面A的点P转换为平面B上q点的方法