

工业机器人的总体设计方法

余达太 马香峰 李春寿 张明浩 林文兴
(北京钢铁学院)

摘 要

本文介绍了工业机器人的总体设计思想及其研制,开发的顺序,并通过多关节全电动连续路径控制机器人的设计实例,分别讨论了机器人动作机能、机械结构、控制方式、操作方法及计算机控制系统方案的决定方法,最后提出了在研制工业机器人中应该强调“技术平衡”的问题。

一、工业机器人的总体设计思想及其开发顺序

工业机器人是机械、电子、控制、信息处理、生物工程等多学科的技术结晶,也是现代科学向综合技术发展的典型之一。因此,研制开发工业机器人是一项难度较大的工作,需要有充分的技术准备与一定的物质条件。一般机器人的总体设计及其开发顺序如下:

1. 明确研制开发工业机器人的目的

根据研制开发工业机器人的不同目的,其总体设计是有很大差别的。一般来说,机器人的研制可分为两大目的,即以研究为目的机器人与针对某种用途的专用工业机器人。前者主要追求它的通用性和扩展性;后者则主要追求它的实用性和低成本。

2. 明确工艺要求、作业内容与机器人的动作机能

工艺要求与作业内容直接决定了机器人的动作机能。机器人动作机能的实现,又牵扯到机器人机械结构、控制方式及其控制系统的组成。

3. 机构的决定

根据作业要求,决定其机械结构的形式(坐标形)及其自由度的分配和传动方式。

4. 控制方式的决定

首先决定是采用点位控制,还是连续路径控制,然后讨论移动速度、重复精度、作业条件、负载要求以及误差分配、最小位置分辨率、D/A bit 数、PPS_{max}、位置环增益 K_p ……等。这些主要技术指标明确以后,控制系统的方案也就大体明确了。

5. 操作方法的决定

在 T/P (示教/再现)方式工业机器人中,应由机器人的动作机能和所采用的语言形式,来确定操作盘、示教盘按键的种类、排列及其意义。

6. 计算机控制系统的决定

按照实时控制的要求,进行计算机硬件(接口、容量、扩展余地等)、软件(机器人语言、

模块分类、系统框图等)的分工及其协调设计。

7. 反复讨论,协调总体方案

这是最关键也是最花费时间的一环。有些环节往往需要经过反复试验才能最后确定。

二、多关节全电动连续路径控制工业机器人的总体设计举例

下面以多关节全电动连续电弧焊工业机器人为例,介绍其总体设计方法。

1. 目的

设计一台主要用于三维空间连续弧焊的工业机器人。同时希望它具有一定的通用性,即只要改换不同的手爪,和部分控制软件,就可用于装配、切割作业。

2. 工艺、作业要求与机器人的动作机能

焊接是让焊枪沿着被焊接工件的焊缝,保持一定的距离、姿势与速度,一边运枪,一边控制焊接电压、电流为某个适当的值的作业。其中焊枪的姿势、速度、焊接电压、电流等是相互关连的参数,只有很好地得到这些参数的组合,才能获得高质量的焊接工件。因此,为了让机器人自动进行焊接作业,它需要具备以下机能:

- 1) 为了能任意设定焊枪的位置与姿势,进行空间全位焊,其本体最低需要五个自由度。
- 2) 为了满足焊接要求与焊接质量,焊接速度范围大约需要 $0.2\text{—}2\text{m/min}$, 轨迹精度应在 $\pm 0.2\text{mm}$ 为佳。
- 3) 驱动系统速度的最小静差率应在 0.05% 左右。
- 4) 高速移动。因为焊接以外的移动是无功时间,所以应以比最高焊接速度高三到五倍的速度移动。
- 5) 焊接电压的设定: 0.5V/级 ;焊接电流的设定: 1A/级 , 有 100 级左右就足以满足要求。

工业机器人进行焊接作业时,一般是作为自动生产线的一部分,所以必须与其生产线的前后机械进行联动才行。为此,还需要

- 6) 控制外部设备的接口以及与此相应的软件。
- 7) 程序的选择与作业的顺序控制。

为使机器人的示教作业简单化,以及为保证操作者与机器人自身的安全,机器人还需要具备

- 8) 简单的程序编辑与检查功能。
- 9) 操作简单,可靠性高。
- 10) 系统的异常检测与报警、急停等功能。

3. 机械结构的决定

机械结构主要取决于: ①作业空间范围;②姿势的控制;③动作速度;④负载能力;⑤位置决定精度等。

目前,能够实现空间任意位置的三自由度机器人,有直角坐标形、圆筒坐标形、极坐标形、关节形四大类。其中关节形机器人具有占地面积小,动作范围大,空间移动速度快,灵活等优点。因此,选定多关节形结构(图 1)。

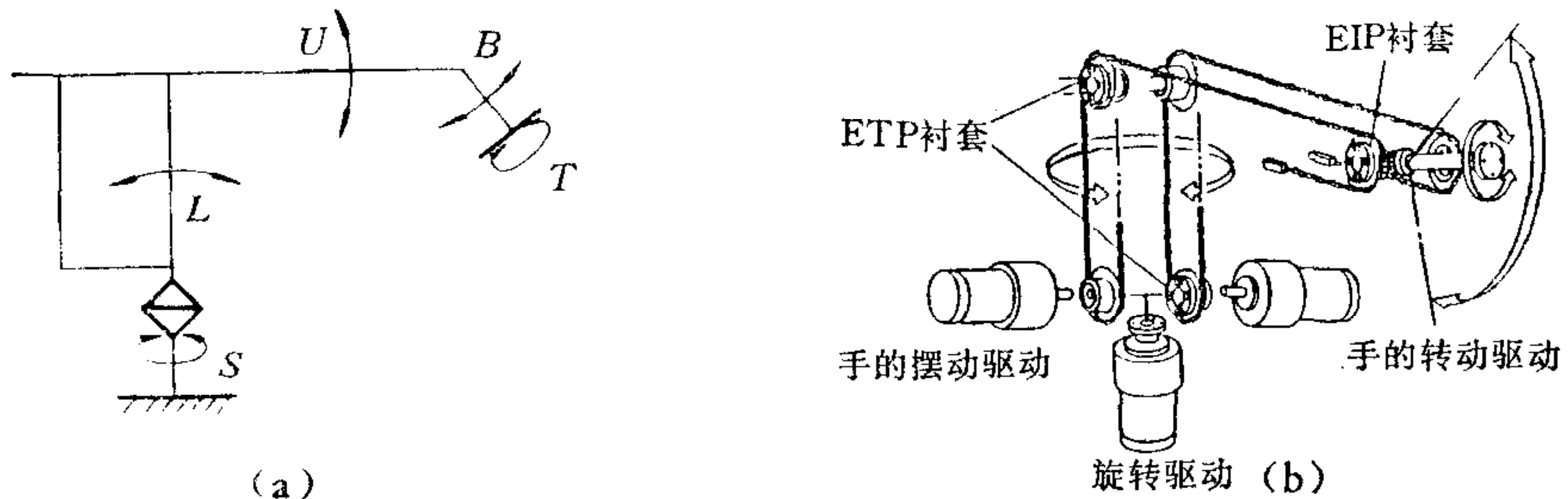


图 1 多关节形结构与链传动机构

图中, L 轴 U 轴为平行四边形结构; T 轴 B 轴的驱动电机安放在旋转体上,以链条传动,也形成平行四边形结构。所以除了 B 轴以外,所有轴的运动对其它轴都相对独立。因此无论是操作,还是坐标变换的计算都比较方便、简单。

确定机械结构方案的另一个关键性问题,在于传动机构的选择。关节传动机构应满足:①运动的稳定性,高精度的位置确定;②低振动、低噪音。特别是多关节机器人,其机械刚性较差,所以更要注意防止传动装置自身的振动;③机器人各臂自身的平衡;④可靠性高,维护方便等要求。因此,传动机构的主要结构最终选定为:

- 1) 一体化的低惯性高功率变化率直流伺服电机(包括测速机,光码盘,电磁制动器)。
- 2) 谐波减速器与滚珠丝杠。
- 3) 手腕的差动机构与链条传动。

4. 控制方式与驱动系统的决定

因为是空间全位焊工业机器人,所以必须采用连续路径控制(CP)方式。机器人的CP运动是由计算机控制系统给出的位置脉冲信号和由电机给出的位置反馈脉冲信号经偏差计算器、D/A变换器、作为驱动系统的速度给定。因此,这是一种位置随动系统。为了满足连续弧焊工艺的种种技术要求,关节驱动系统应满足:①高静态位置精度;②灵敏度高,死区小;③调速范围至少在1:1000以上;④响应快,无超调;⑤运动稳定平滑等要求。为此,必须采取一些特定的控制环节才能实现机器人动态性能的要求。

图2是最终确定的位置数字伺服系统框图。其中,①由于系统采用了加速度环、速度环和位置环的三闭环串级控制,所以稳定性好、响应快、运动平稳;②采用了状态控制器,进行线性与非线性状态的电子方式切换,所以大幅度提高了整个系统的响应速度;③最后一级采用了晶体管PWM功率放大器,提高了系统的快速性和减小了死区;④采用了每周1000个脉冲的增量方式光码盘,使全程分割率满足精度设计要求。

5. 计算机控制系统的决定

机器人的计算机控制系统,相当于人的大脑的神经中枢,它的结构复杂,制作、调试难度较大。因此,在进行计算机控制系统的总体设计时,要充分考虑种种有关因素及其可能

出现的问题。由于计算机控制系统的设计,牵扯面宽,有关因素太多,所以这里只讨论几个关键性问题。

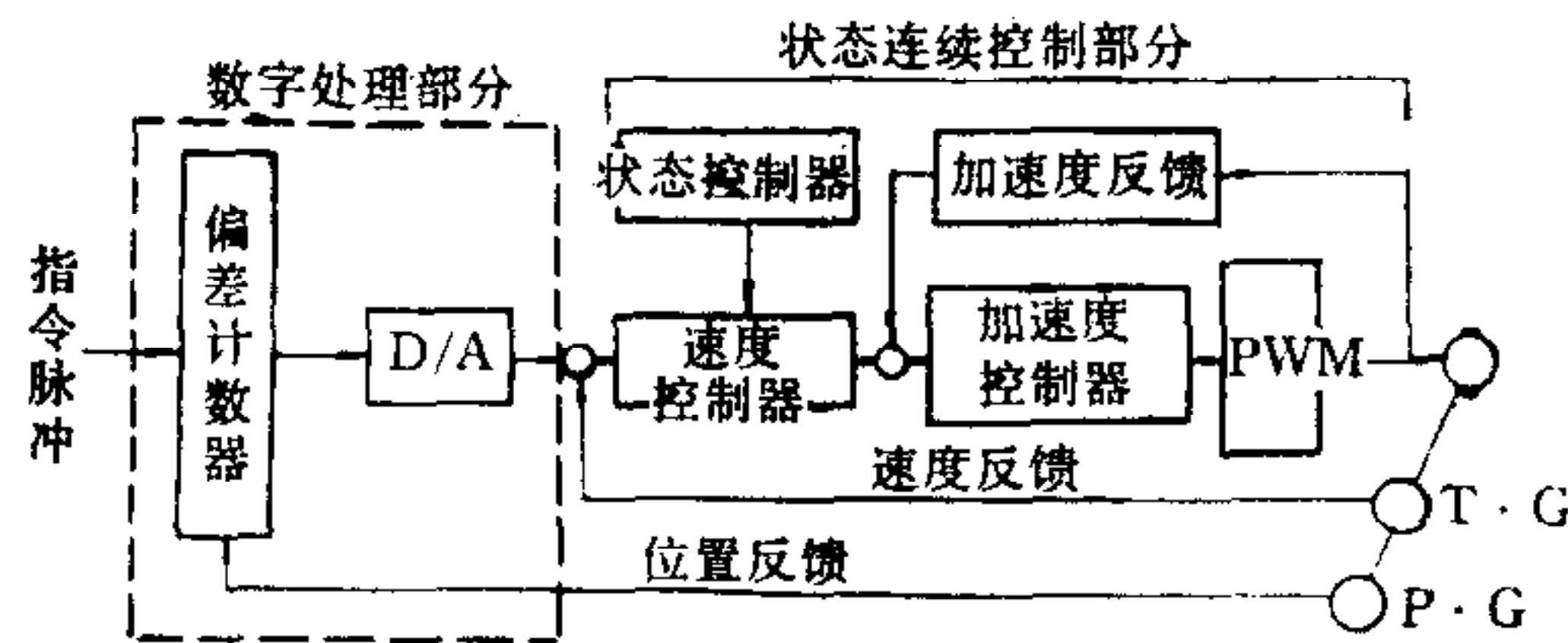


图2 位置数字伺服系统

1) CPU 的选择。

CPU 的选择是设计一个计算机控制系统时,首先应该考虑的重要内容。一般根据以下要求选择 CPU。①控制对象的速度要求;②实时控制机能;③寻址范围;④字节处理能力;⑤中断控制能力;⑥扩展机能等。对多关节形机器人来说,大量频繁的工作是坐标变换、直线、圆弧插补计算及自动加减速计算等。这就要求计算机有较强的运算功能和很高的运算速度。存贮这些计算程序,再加上系统程序、自诊断程序等,八位微处理器是无法满足的。

根据种种分析与考虑,除选用高档 CPU (如 8086 加 8087 作系统的主 CPU 外,还要在计算与控制上采取措施才有可能实现。

2) 多微处理器结构(多 CPU)。

根据 1) 的要求,采用多微处理器结构,可以实现多任务与计算的并行处理,从而大大提高整个系统的工作效率与速度。同时还保证了多 CPU 之间的相互监视与控制,大大降低了机器人失控的危险,也简化了软件系统的程序编制工作量,并便于系统的扩充。

3) 中断控制方式。

由于机器人在整个动作过程中,各种任务的协调、故障的产生与处理等信息都是随机的,所以采用中断方式进行管理。这不但可以大大提高系统本身的工作效率与速度,而且增强了系统的灵活性,并减轻了系统的负担。

以上述 1) 到 3) 项内容为核心,经过充分考虑与软件系统、驱动系统和各种外部设备接口的关系之后,其系统框图如图 3 所示

图中,多 CPU 是该系统的核心部分。它不仅可以在 CPU 的控制下独立完成对关节驱动系统的脉冲分配及其它动作控制,也可以接受其它任何单板机或个人计算机等的控制,最终实现对不同类型全电动机器人的实时控制。

6. 计算机软件系统的结构

软件系统要根据其硬件结构和机器人的示教再现方式以及程序的编辑、系统的控制方式等要求来决定。

在 T/P 方式的工业机器人中,计算机控制系统的 T/P 动作如图 4 所示。

首先设计了一种用户非常容易理解的机器人语言。语言中的每一个语句(命令)都与

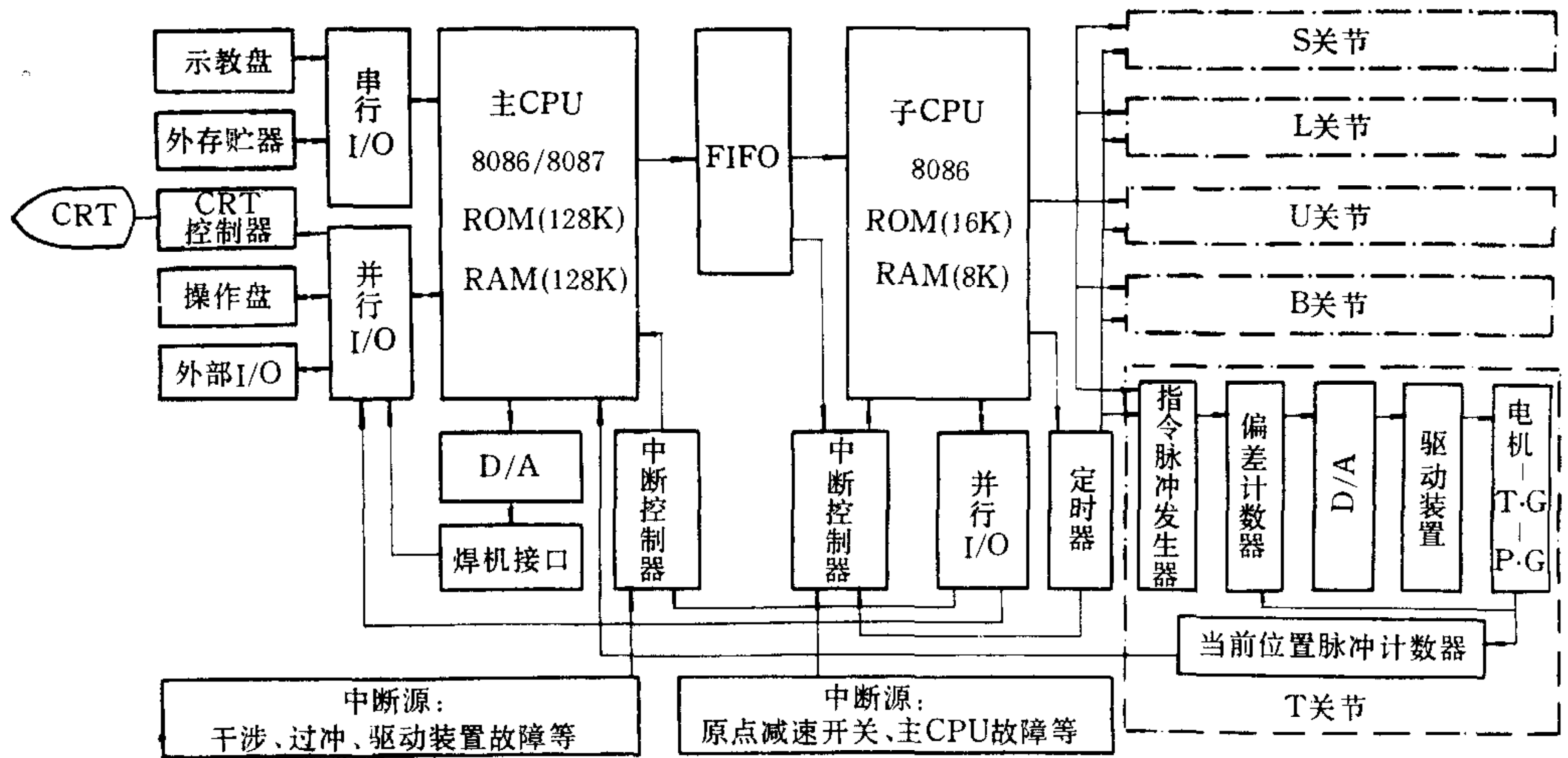


图3 多CPU计算机控制系统框图

某种机能相对应。机器人的所有动作都可以根据这些语言的组合来完成。

示教时，操作者通过示教盘与操作盘编辑这些语言，然后由计算机将这些命令及相应的数据存放到某个特定的示教数据区去。这个过程称之为自动编程。

再现时，计算机控制系统自动逐条取出示教命令与数据，进行解读和必要的计算，并作出逻辑判断，将相应的信号送到相应的关节驱动系统或端口，使机器人及其外部设备忠实地再现示教动作。这个过程，称之为自动翻译。

因此，机器人的软件系统应以自动编程与自动翻译为核心并具有如图5所示的机能。

为了提高整个系统的灵活性与可扩展性，软件系统应尽可能采用模块结构。

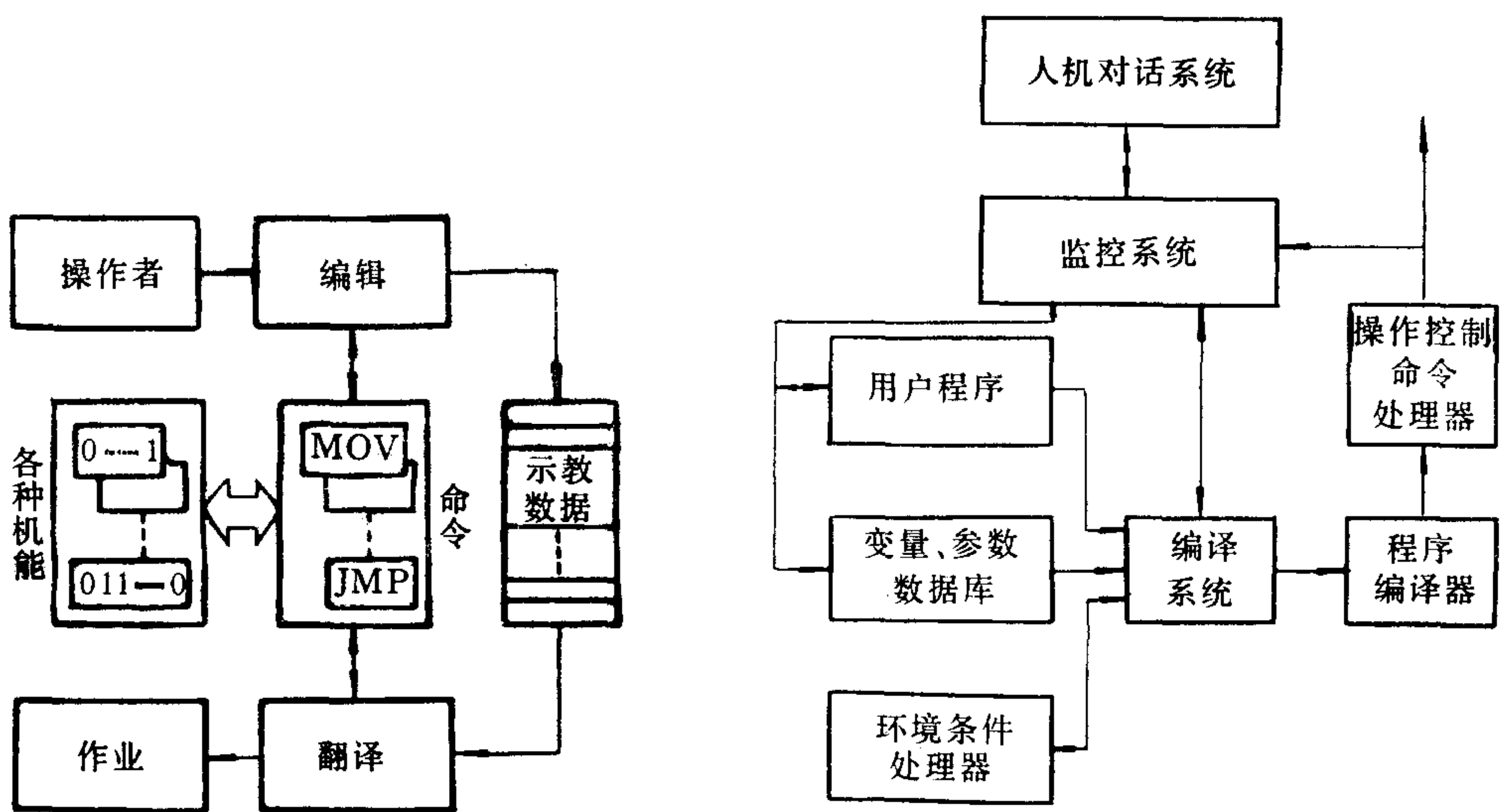


图4 计算机控制系统中的T/P动作

图5 语言编译系统框图

7. 总体方案的协调

在初步完成总体方案之后,要对部分子系统进行试验,以证明总体方案是可行的。如果通过试验,不能满足某些技术要求,则要重新协调各个子系统之间的任务分配,直至满足要求为止。

三、机器人研制开发中的技术平衡问题

所谓技术平衡,是指在机器人的总体设计与各个子系统的设计、制作、调试中,解决技术问题的方法。这里以机器人控制系统的总体设计及其子系统的设计、制作、调试阶段中的技术平衡为例,说明一些技术问题出现后的解决方法。

在进行伺服系统设计时,主要是设计速度调节器、位置控制器、速度平滑控制器和自动加减速控制器。这些控制器都可以由硬件或软件,或软硬件结合方式实现。机器人的特殊构造和特殊功能要求速度调节中的平滑控制和自动加减速控制放在计算机控制系统中实现。又如,由于摩擦所引起的非线性问题,机构的低频共振与高频过渡振荡等问题只有在控制上想办法给予解决,才能进一步提高机器人的功能及其应用范围。

计算机控制系统的软、硬件的明确分工,是在系统调试中,寻找产生故障原因的根据,所以要重视这一环节。

在系统调试中,总要出现各种各样的技术问题。有些问题比较直观,只要单纯地针对问题发生点即可解决。但是很多问题却不这么简单,必须全面分析各种有关因素,才能找到故障的真正原因。例如,当位置精度较差时,如果仅去提高位置检测器的分辨率,往往是无效的,这时应主要考虑速度控制系统的速比及其系统的 ω_{off} 是否合适才行之有效。

除此之外,控制思想既要明确又要解放。例如,用 PTP 控制来实现拟 CP 控制,实际上是要解决坐标变换与插补计算问题。多关节的同时起动,同时停止的控制,是要解决驱动系统的响应特性与参数协调问题。

因此,在机器人的研制、开发中的技术平衡是关系到能否找到一条捷径,以在最短的时间内顺利解决各种问题。

以上,介绍了多关节全电动连续路径控制焊接机器人的总体设计思想及其方法。今后为了提高设计水平与速度,应该考虑全面采用机构与控制系统的计算机辅助分析、综合、设计系统。这是社会的进步与科学技术的发展对我们提出的要求。

主 要 参 考 文 献

- [1] 機械と工具,ロボット设计ハンドブック,1982年8月,Japan 工業調査会。
- [2] 辻 三郎等,ロボット工学とその応用,1984年6月,Japan 電子通信学会。

AN OVERALL DESIGN METHOD OF INDUSTRIAL ROBOTS

YU DATAI MA XIANGFENG LI CHUNSHOU ZHANG MINGHAO LIN WENXING

(Beijing University of Iron and Steel Technology)

ABSTRACT

The overall design consideration of industrial robots and the steps of development of them are described in this paper. The action capability, mechanical structure, control, operation and computer control system of robots are also discussed through the design of fully electric multi-joint robot with continuous path control. The conclusion stressing the "balance of techniques" in developing robots is drawn.