

空间机构及 机器人机构学

〔日〕牧野 洋 著
〔中〕谢存德 郑时燎 译

机械工业出版社

空间机构及机器人机构学

[日]牧野 洋
[中]谢存禧 著
郑时雄

机械工业出版社

本书是中国和日本两国作者，根据其从事机器人机构学的科学研究工作的成果写成。书中介绍了SCARA平面关节型机器人的机构学问题；运用回转变换张量的数学方法进行了空间机构及空间型机器人的机构运动分析；同时也介绍了机器人运动控制的一些基本知识。

本书主要供从事机器人的科研、设计人员、有关高等院校的教师、研究生及高年级学生使用。

空间机构及机器人机构学

[日]牧野 洋

[中]谢存禧 著

郑时雄

*

责任编辑：孙本绪

封面设计：郭景云

*

机械工业出版社出版（北京成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第 17号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本850×1168¹/₃₂·印张 8¹/₂ 插页 2 ·字数 223 千字

1987年10月北京第一版·1987年10月北京第一次印刷

印数 00,001— 2,427 ·定价：4.10 元

*

统一书号：15033·7161

TH112
11

0319045

序

本书是由日本国山梨大学牧野洋和中国华南工学院谢存禧、郑时雄三人合著的。

1976年牧野洋在日本国日刊工业新闻社出版了《自动机械机构学》一书。在这本书中，介绍了机构学方面的标准解法及其应用方法。运用极坐标复数向量（对于平面机构）或回转变换张量（对于空间机构）的方法给出了各种机构的解。

后来这本书被介绍到中国的机构学研究者之间，许多研究者以书中的解法为基础，进行了许多的研究解析。特别是华南工学院机械一系的谢存禧、郑时雄等人发展了这种解法，对机器人及空间机构进行了详细的解析。本书的内容是以这个研究为基础的。

本书的出版得到了中国机械工业出版社孙本绪先生的很大帮助。本书的日文版已在日本由日刊工业新闻社出版。

愿自古以来就是朋友的中国和日本，通过这样的机会保持更加亲密的协作关系。

日本国山梨大学工学部 教授 牧野 洋

1986年6月

206/27-4

序 言

——中、日作者共著本书的始末

本书日本作者牧野洋教授是日本精密工学会自动装配专业委员会委员长、日本自动化推进协会委员长、SCARA 平面关节型机器人的发明人。长期以来牧野洋教授从事机器人特别是自动装配机器人的研究，1976年曾出版《自动机械机构学》一书，并由我国科学出版社译为中文版在我国国内发行。本书中国作者在此基础上进一步对空间机构及机器人机构学进行了扩展研究。1983年10月，牧野洋教授应我国邀请先后在北京、西安、咸阳、南京、广州等地进行讲学和访问。在广州期间双方鉴于共同研究的基础，议定共著本书。1985年4月，本书中国作者在日本考察期间又与牧野教授就本书的细节进行讨论，1985年9月至1986年间，中国作者之一谢存禧作为牧野洋教授研究室的客座研究员重临日本参加机器人的共同研究，并继续完成本书的两国文字合拢工作。本书的日文版于1987年7月由日本日刊工业新闻社出版。按日刊工业新闻社的说法，本书是上面提到的《自动机械机构学》的姊妹书。

本书内由中国作者所撰写的部分章节（3~7章），由于时间匆促及经验所限，尚有不少粗糙、错漏之处，望读者不吝赐教并予以批评斧正。在这一部分内容的编写过程中，承蒙北京航空学院张启先教授的指教和帮助，谨此表示衷心的感谢。

序 言

本书在两国文字合拢的过程中得到明爱国、肖正阳二位的支持和帮助，谨致以深切的谢意。

借本书出版之际，谨愿中日两国人民世代友好，友谊长存。

中国华南工学院 教授 谢存禧

副教授 郑时雄

1986年6月

目 录

序

序言

第一章 机器人机构学绪论	1
第一节 何谓机器人	1
第二节 工业机器人的定义和历史	2
第三节 操作机器人的自由度和机构学上的分类	9
第四节 机器人机构学所讨论的问题	10
第二章 SCARA机器人机构学	13
第一节 平面向量的数学基础	13
第二节 SCARA机器人的机构学模型	16
第三章 回转变换张量	30
第一节 杆件坐标系及向量的回转变换	30
第二节 绕任意轴回转变换	36
第三节 绕共原点的任意回转变换	38
第四节 回转变换张量的性质及分量	40
第五节 不共原点的坐标变换	48
第六节 回转变换张量的微分	50
第四章 空间连杆机构运动分析	53
第一节 空间机构的一般位形方程	54
第二节 空间机构中各杆件坐标系的确定	58
第三节 空间三杆机构位形分析	67
第四节 空间四杆机构位形分析	74
第五节 空间五、六、七杆机构位形分析	103
第六节 空间连杆机构位移分析中的消元方法	143
第七节 空间连杆机构位移分析的计算机程序	146
第五章 空间机构的综合	157
第一节 空间机构的函数综合	157
第二节 空间机构函数综合举例	171

目 录

第三节	空间开式链机构的综合方法	184
第六章	机器人机构运动学	193
第一节	开式运动链的位形方程	194
第二节	机器人位形方程	195
第三节	机器人的速度和加速度	203
第四节	机器人的活动范围	207
第五节	机器人的综合解	226
第七章	机器人的运动控制	248
第一节	机器人的广义位姿	248
第二节	速度控制	251
第三节	加速度控制	254
第四节	运动轨迹的规划	257
附录	Q 和 E 之间的关系的推导	263
参考文献		285

第一章 机器人机构学绪论

第一节 何谓机器人

据说“机器人”(robot)这个词是捷克的戏剧作家卡勒鲁·查培克在1920年发表的戏剧《罗撒姆万能机器人制造公司RUR》中最先开始使用的。这个词是由捷克语的“robota”(劳动)一词延伸而成,意思是人造人。

现在机器人这个词有各种各样的意思。比如说:“这位科长是局长的机器人”这句话,其中“机器人”是贬词,意指没有意志的人。

但是,一般来说“机器人”一词具有良好的内涵。工程技术人员期望机器人能成为“什么都能干的机械”。工程技术人员力图开发的是象人一样甚至比人还要高级、有正确的判断力、对任何工作都能对付的机械。这就是想象中机器人的形象。

机器人是机械和人的中间体。具有象人一样的特性的机械是机器人。有时不仅是特性同人相似,构造也可能同人接近;但是,即使构造不相似,只要机能和特性同人相似的话,大概可以说是机器人。

人体的各种器官是有各自的功能。比如说,大脑的功能是思考和计算等,手的功能是搬运、操作,脚的功能是移动自己本身,眼睛的功能是观察外界进行认识。有这种说法,只要具有以上功能的一种,就可以说是机器人。这样一来,计算机、电视摄象机也成了机器人。在此,让我们把至少具有手(包括手指和手腕)的功能的机械称为机器人吧。

手的功能可由操作(manipulation)或搬运(handling)来表达。这里把这个词定义为在最小空间内改变某目标物的位置及

姿态。把只进行这种作业的装置称为操作器 (manipulator) 或搬运机器人 (handling robot)。一般的机器人除此之外还进行其它各种各样作业, 称之为作业机器人。按照作业内容不同可称为焊接机器人, 喷涂机器人, 装配机器人等。

人的各种功能中, 除手的功能外, 脚的功能即移动功能也正被重视。AGV (automatic guided vehicle, 无人诱导车等) 虽然只具有脚的功能, 但也被认为是机器人的一种。

从上述可知, 有关机器人的定义是各种各样的。最近国际上准备开始统一这个定义, ISO (国际标准化组织) 也在讨论。1984年12月在巴黎召开的ISO/TC184/SC2 (工业机器人分科会) / WG1 (名词术语、符号分组会) 的第一次会议上, 提出了下述机器人定义的提案, 并基本上得到了各国代表的承认。

ROBOT: A robot is a machine which can be programmed to perform some tasks which involve manipulative or locomotive actions under automatic control

(机器人是一种可编程的, 能执行某些操作或移动动作的自动控制机械)

第二节 工业机器人的定义和历史

工业机器人 (industrial robot) 这个词是美国George C. Devell1954年申请的专利 (Programmed article transfer) 时使用的概念词语, 最先见于1960年“美国金属市场 (American Metal Market)”报。

industrial这个词可翻译成“工业用”, 也可翻译成“产业用”。初期在日本也只称为“工业用机器人”, 此后农业, 第三产业也开始使用机器人, 这样“产业用机器人”这个词就被广泛地使用起来。1972年日本产业用机器人工业会的诞生就与此有关。日本的这个看法也逐渐被各国理解。原来的“工业用机器人”

这个词被改称为“robot for manufacturing environment”（即制造环境下的机器人）。前面所提到的SC2分科会上就使用这个名字。

后来Unimation Corp. 买下了DEVOL的专利，1962年以Unimate为商标的机器人的第一号机（图 1-1）诞生。与此同时

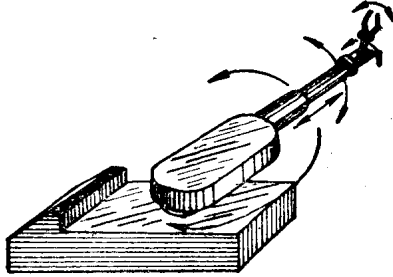


图 1-1

AMF公司也开始出售以Versatran为商标的机器人(图 1-2)。

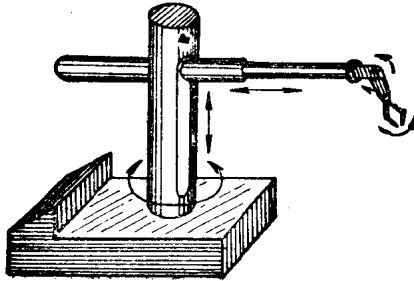


图 1-2

这两种美国制造的机器人在1967年被引进到日本，作为新思想的机械引起人们的注目。但由于价格昂贵没能普及。1968年川崎重工业株式会社同Unimate合作实现了Unimate机器人在日本的国产化。

虽然Unimate和Versatran都是利用示教再现方式 (teaching playback method) 的真正的产业用机器人, 但日本在这以后开发了大量比这简单便宜的机器人。其中也包括两个自由度的固定程序型机器人, 即抓取、装入单元机, 这给机器人的定义造成了混乱。

这以后Unimate抓住汽车本体的点焊作业这一需要, 巩固了自己的地位。

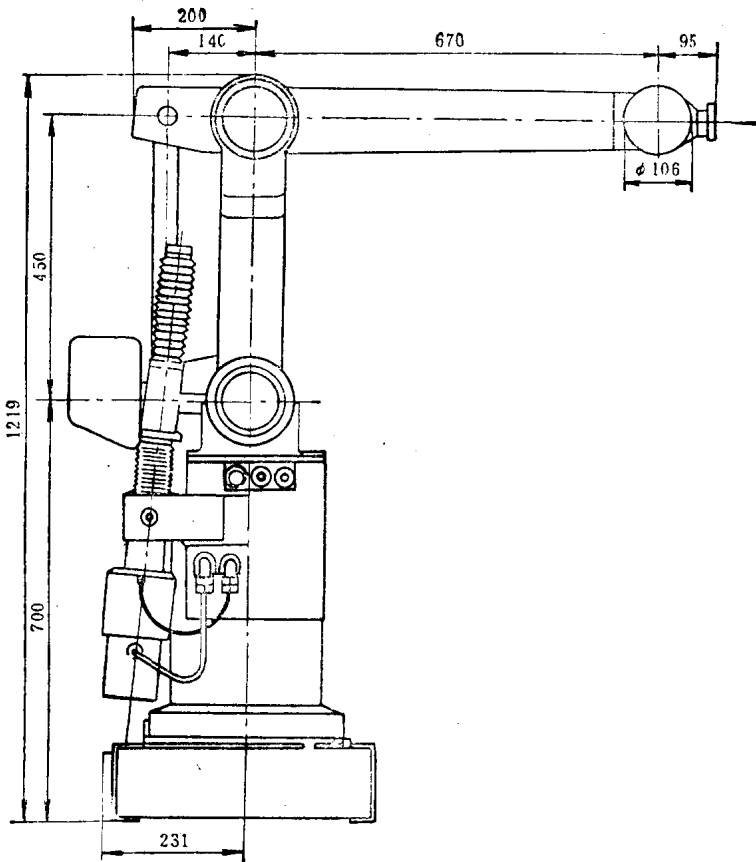


图 1-3

Unimate或Versatran都是采用液压伺服方式，而最先采用直流伺服电机的电动式机器人的是瑞典的ASEA公司。这种机器人（图1-3）主要用在弧焊上。

为喷涂作业而开发的是挪威的Trallfa机器人（图1-4）。为让机器人来“记住”熟练的操作工的动作，该公司花了很大的代价。

作为装配机器人最先登场的是意大利Olivetti的SIGMA机器人（图1-5）。

这种机器人的第一号机是1974年制造的，后来意大利DEA公司又开发了Pragma机器人（图1-6）。

本书的作者之一牧野于1978年组织了“SCARA研究会”，开始着手新结构的装配机器人SCARA（图1-7）的开发。经过三年的时间，完成了实用的机器人的开发。

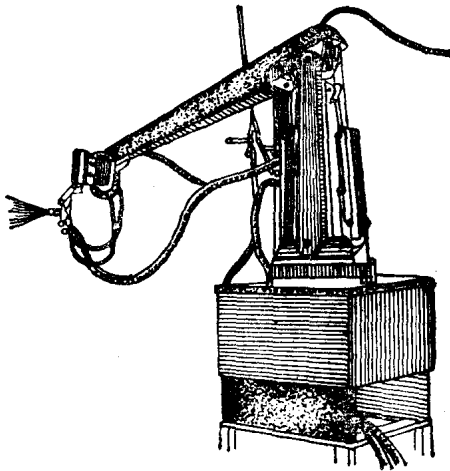


图 1-4

1981年由研究会成员日本精工株式会社出售“Picmat-SCA RA”（图1-8）。

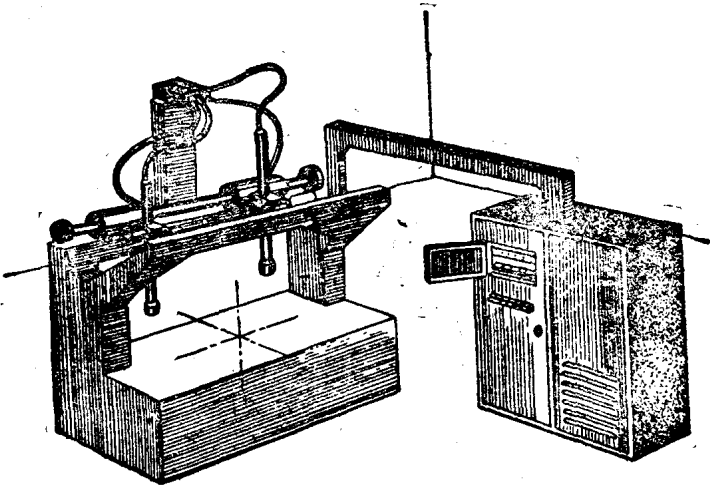


图 1-5

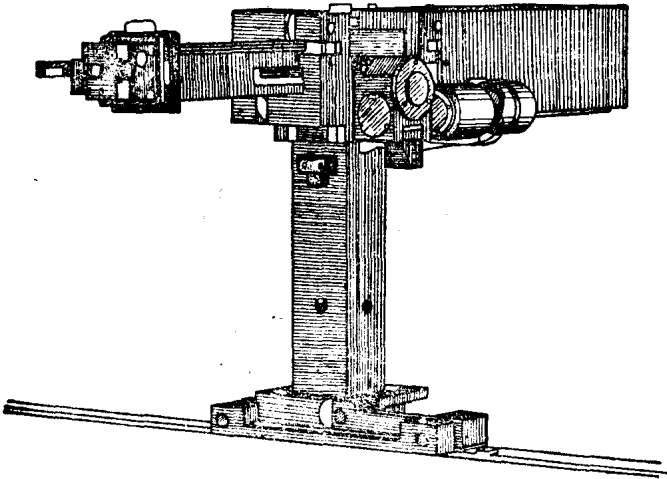


图 1-6

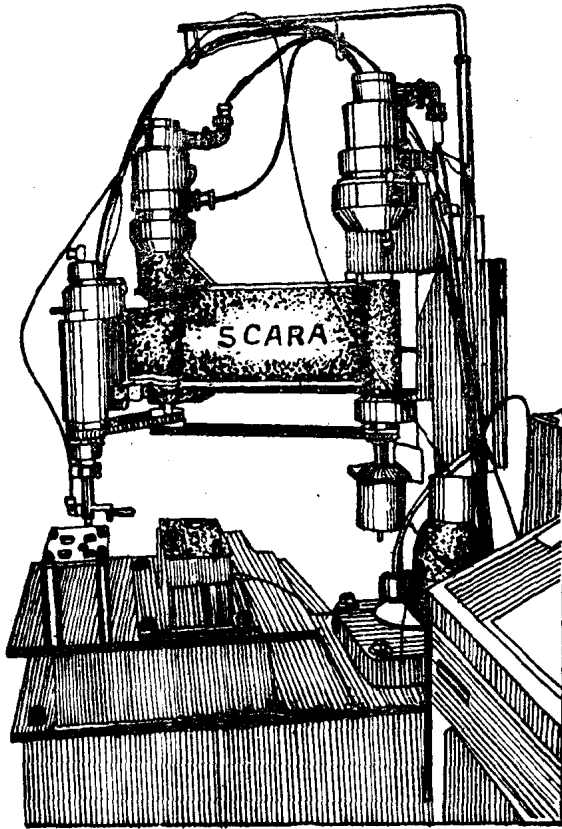


图 1-7

三协精机制作所株式会社出售“SKILAM”（图1-9）。这种型式的机器人后来为许多工厂所制造，形成了谓之SCARA type的机器人系列。

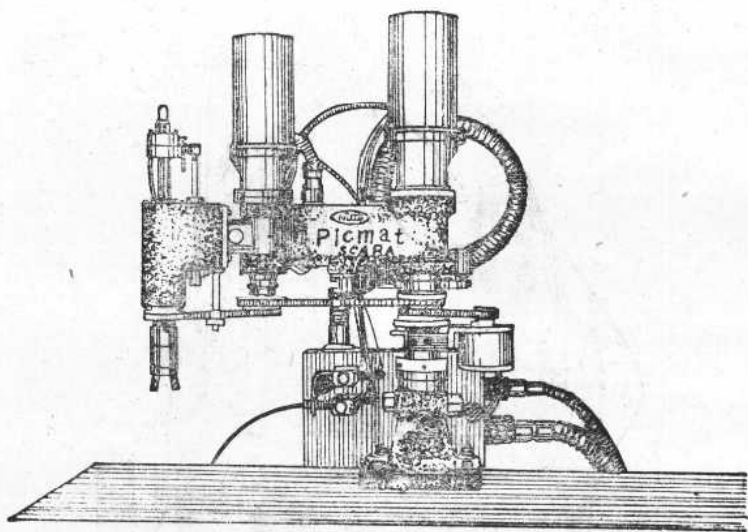


图 1-8

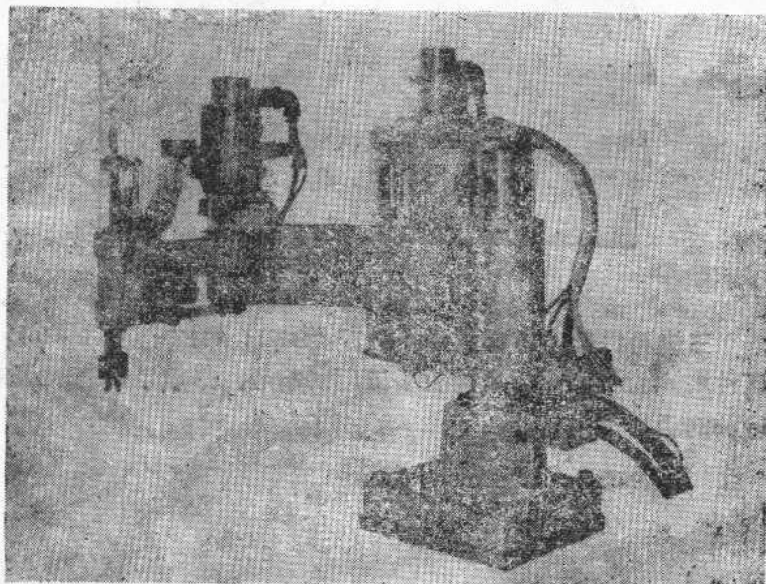


图 1-9

第三节 操作机器人的自由度和机构学上的分类

机器人一般需要6个自由度。这是因为确定物体的空间位置需3个自由度,加上确定空间姿态的三个自由度共为六个自由度。这种机器人称为空间定位机器人。

六个自由度中,决定姿态的三个自由度必须是转动关节。但决定位置的三个自由度可为转动关节,也可为移动关节,并可分为下列四种基本形式:

- (1) 直角坐标型 (Cartesian) 3个移动关节。
- (2) 圆柱坐标型 (Cylindrical) 2个移动关节+1个转动关节。
- (3) 极坐标型 (Polar) 1个移动关节+2个转动关节。
- (4) 多关节型 (Jointed, Articulated) 3个转动关节。

表1.1中用P (prismatic) 来表示移动,用R (rotational) 来表示转动。若6个关节依次由机器人的本体到端部的顺序来排列,则如极坐标型的结构组成可表示为RRPRRR,也可以表示为RPRRRR或者PRRRRR。当移动关节和转动关节混合存在时,尽量地把转动关节放在离本体较近的地方,以扩大作业区域。

一般希望确定位置的3个自由度和确定姿态的3个自由度应尽量独立。但一般来说这非常困难,多数是当要改变位置时,姿态会发生变化;当要改变姿态时则位置也会变化。

上述是空间定位的情形,有时由于作业的性质,也有不少采用平面定位即已经足够的场合。例如,在进行装配作业时,若所要装配的零件在一个方向上被装配,也就是具有所谓重迭构造的时候,采用平面定位也就足够了。这时需要有用于平面上定位的二个自由度和决定平面姿态的一个自由度。这样的机器人称为平面定位型机器人。

同空间的场合一样,确定姿态须使用转动关节,确定位置的