



洪炳镕 柳长安 刘宏 著

# 自由飞行空间机器人 运动控制及仿真



国防工业出版社  
National Defense Industry Press

# 自由飞行空间机器人 运动控制及仿真

洪炳镕 柳长安 刘宏 著



国防工业出版社

·北京·

**图书在版编目(CIP)数据**

自由飞行空间机器人运动控制及仿真/洪炳镕等著.  
北京:国防工业出版社,2005.9  
ISBN 7-118-03945-4

I. 自... II. 洪... III. 机器人—运动控制  
IV. TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 076300 号

**国防工业出版社** 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 10 $\frac{3}{4}$  233 千字

2005 年 9 月第 1 版 2005 年 9 月北京第 1 次印刷

印数: 1—2000 册 定价: 22.00 元

---

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

## 前 言

尽管载人航天活动已有几十年的历史,但是宇宙太空对人类来说仍是一个具有高辐射、高真空、超高温、微重力等特点的危险环境。宇航员必须穿上价格昂贵且很笨重的太空服才能进行舱外作业(Extra-Vehicular Activities, EVA),以免受到强辐射、高温差和超真空所带来的危险。因此在未来的空间探索中,仅仅依靠宇航员是远远不够的,必须利用空间机器人,以保证宇航员的生命安全,提高作业效率,并节省空间作业费用。目前美国、日本、加拿大、德国和法国等都在加紧进行空间机器人的研制和实验工作。我国在空间机器人的研究方面刚刚起步,水平很低,因此我们必须跟踪世界先进水平,加速发展空间机器人的研究工作。

随着空间机器人的发展,未来空间机器人将向着小型化、低造价、自由飞行和高度智能化方向发展。自由飞行空间机器人(Free Flying Space Robot, FFSR)正是为实现这一目标而发展起来的空间机器人系统,它已成为空间机器人研究领域的一个主要研究方向。FFSR由机器人本体(卫星)和搭载在本体上的空间机械臂组成,由于其本体内携带喷气装置,因此可以在微重力环境中自由飞行或浮游,从而代替宇航员在太空中从事建造空间站、维修或回收失效卫星、空间生产及科学实验等工作。总之,FFSR具有广阔的应用前景,它必将在未来的空间探索中发挥巨大的作用。

FFSR具有如下特点:首先由于受空间运输费用高昂和航天器舱内容积的限制,自由飞行空间机器人必须保证小型化,即体积小、质量少;其次,具有高度的人工智能,这是因为FFSR在远离地球的太空中执行任务,并且人类的干预又受到通信延迟和各种空间条件的限制,因此FFSR比一般的地面机器人具有更高的自主性能。如何利用多种传感器和控制技术识别环境和适应环境,自动实现FFSR的路径规划、姿态控制、任务规划等技术是使FFSR安全、可靠和高效完成空间作业的基本条件;第三,具有移动功能,为适应复杂的空间环境并完成多种复杂操作,FFSR可以在空间结构上移动或在宇宙空间中自由浮游或自由飞行,代替宇航员从事各种舱外作业,将宇航员从危险的作业环境中解放出来,并降低作业费用。第四,FFSR具有运动学与动力学耦合问题。FFSR工作在空间微重力环境下,其底座是浮动的,因此,当机器人的手臂运动时,会对机器人的本体产生反作用力和力矩,从而改变机器人本体的位置和姿态,即空间机器人的手臂和本体之间存在着运动学和动力学耦合。如

果不考虑这种影响,而仍然采用地面固定基座机器人的控制技术,空间机器人将不但无法完成预定的捕捉目标或更换零部件等操作任务,而且由于姿态的变化将会破坏卫星的正常工作。为克服这个问题,必须找到能够考虑这种相互作用的运动学建模方法和控制算法。另外,FFSR 在完成任务时必须对某一目标进行操作,因此必须首先飞行到操作可能的会合点位置,然后再用机械臂进行操作,因此对 FFSR 来说,不但要研究卫星本体运动的路径规划,而且还要研究机械臂末端效应器的路径规划。

本书是在分析和总结国内外近年来 FFSR 相关研究的基础上,综合数名博士刘宏、朱铁一、吴威、何光彩、李华忠、王鸿鹏及柳长安等人的博士论文研究成果撰写而成的。本书由柳长安和刘宏两位博士负责各个章节的撰写,再由本人进行整体的编辑和修改。在专著撰写过程中得到了中国航天局张履谦院士的热情支持,在此表示衷心感谢。

本书内容虽然针对自由飞行空间机器人,研究其运动学模型、姿态控制、飞行和操作所需的最佳路径以及多机器人的协调等,但其研究方法也适用于其它类型的空间机器人,尤其是本专著中各个章节提出的仿真学研究方法也适用于其它空间机器人的研究。

自由飞行空间机器人技术是面向 21 世纪的一门高新技术,正处在飞速发展之中,如果本书能对研究和开发空间机器人的科学家和工程技术人员起到参考作用我们将感到十分荣幸。

洪炳镕  
于哈尔滨工业大学  
2005 年 9 月 1 日

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
1.1 空间机器人的概念及分类 .....	1
1.2 FFSR 的主要用途及研究意义 .....	5
1.3 FFSR 的研究现状 .....	6
1.3.1 基本理论的研究 .....	6
1.3.2 地面实验平台的研制 .....	8
1.3.3 空间试验系统的开发 .....	9
1.4 本书概要.....	10
<b>第二章 DFFSR 运动学模型及运动特性</b> .....	12
2.1 DFFSR 的运动学模型 .....	12
2.1.1 DFFSR 的模型及参数定义 .....	12
2.1.2 运动学方程.....	13
2.2 DFFSR 通用运动学模型 .....	21
2.2.1 运动学方程.....	21
2.2.2 运动学分析.....	23
2.3 DFFSR 的运动特性 .....	24
2.3.1 姿态干扰特性.....	24
2.3.2 冗余特性.....	25
2.3.3 非完整性.....	25
2.4 DFFSR 的工作空间及其划分 .....	26
2.4.1 工作空间.....	26
2.4.2 工作空间划分.....	28
2.4.3 连杆质量对工作空间的影响.....	29
2.5 多臂 FFSR 运动学模型.....	29
2.5.1 运动学模型.....	29
2.5.2 运动学方程.....	31
2.6 小结.....	33
<b>第三章 基于神经网络的空间机器人参数辨识</b> .....	34
3.1 前馈神经网络的逼近能力和学习算法.....	34
3.1.1 多层前馈神经网络的逼近能力 .....	34
3.1.2 多层前馈神经网络的学习算法 .....	34

3.2	非线性同伦综合学习算法	35
3.2.1	同伦 BP 学习算法	35
3.2.2	非线性同伦 BP 学习算法	36
3.2.3	非线性同伦综合学习算法	38
3.2.4	各种算法的性能比较	38
3.3	FFSR 参数辨识	39
3.3.1	基于神经网络的参数辨识算法	39
3.3.2	计算机仿真	41
3.4	小结	43
<b>第四章</b>	<b>FFSR 捕捉目标运动规划</b>	<b>44</b>
4.1	FFSR 运动规划	44
4.2	FFSR 控制算法	45
4.2.1	分解运动速度控制	45
4.2.2	分解运动加速度控制	46
4.2.3	机械臂典型运动分析	46
4.3	FFSR 捕捉静态目标路径规划	48
4.3.1	捕捉静态目标策略	48
4.3.2	捕捉静态目标路径规划算法	49
4.3.3	计算机仿真	51
4.4	FFSR 捕捉动态目标路径规划	52
4.4.1	捕捉运动目标策略	52
4.4.2	捕捉运动目标路径规划算法	53
4.4.3	计算仿真	54
4.5	FFSR 避免碰撞路径规划	54
4.5.1	双向双启发函数	54
4.5.2	避免碰撞路径规划算法	55
4.5.3	计算机仿真	56
4.6	小结	56
<b>第五章</b>	<b>基于受限最小干扰图的姿态控制</b>	<b>57</b>
5.1	FFSR 的姿态控制方法	57
5.2	干扰图与增强干扰图	59
5.2.1	干扰图	59
5.2.2	增强干扰图	59
5.3	姿态干扰计算及受限最小干扰图	61
5.3.1	姿态干扰计算	61
5.3.2	受限最小干扰图	63
5.3.3	RMDM 图与 EDM 图的比较	65
5.4	基于 RMDM 的姿态控制算法	66
5.4.1	零姿态干扰的计算	66

5.4.2	基于 RMDM 的姿态控制算法	67
5.4.3	计算机仿真	69
5.5	小结	71
<b>第六章</b>	<b>基于姿态稳定的冗余 FFSR 运动规划</b>	<b>72</b>
6.1	基于姿态稳定的冗余多臂 FFSR 运动分析	72
6.1.1	FFSR 冗余性分析	72
6.1.2	姿态受限广义雅可比矩阵	72
6.1.3	分解运动速度控制	74
6.1.4	动力学奇异点与回避	75
6.2	基于 ARGJM 的 FFSR 运动规划	75
6.2.1	自由浮游状态下捕捉目标运动规划	75
6.2.2	自由飞行状态下捕捉目标运动规划	76
6.2.3	计算机仿真	77
6.3	小结	81
<b>第七章</b>	<b>FFSR 姿态控制综合算法</b>	<b>82</b>
7.1	卫星的姿态控制	82
7.2	基于姿态干扰预测的姿态控制算法	83
7.2.1	基本思想	83
7.2.2	理论分析	84
7.2.3	计算机仿真	85
7.3	FFSR 复合姿态控制算法	87
7.3.1	复合姿态控制算法	87
7.3.2	捕捉目标后的空间作业运动规划	89
7.4	小结	91
<b>第八章</b>	<b>基于关节力矩的 FFSR 运动控制算法</b>	<b>92</b>
8.1	关节驱动力矩递推算法	92
8.1.1	运动模型	92
8.1.2	FFSR 的速度分析	94
8.1.3	FFSR 的加速度分析	95
8.1.4	FFSR 的关节驱动力矩计算公式	96
8.2	基于关节力矩的捕捉目标控制算法	97
8.2.1	控制策略	98
8.2.2	FFSR 捕捉目标控制算法	98
8.3	计算机仿真	99
8.4	小结	103
<b>第九章</b>	<b>FFSR 模糊运动控制算法</b>	<b>104</b>
9.1	模糊逻辑和分级模糊控制器	104
9.2	基于模糊规则的机器人运动控制算法	105
9.2.1	二自由度机器人的基于模糊规则的控制器的设计	106



9.2.2	三连杆 FFSR 的基于模糊规则的控制器的设计 .....	108
9.2.3	基于模糊逻辑的 FFSR 路径规划算法 .....	109
9.3	计算机仿真 .....	110
9.4	小结 .....	110
<b>第十章</b>	<b>FFSR 飞行轨迹优化</b> .....	<b>111</b>
10.1	FFSR 飞行轨迹优化模型 .....	111
10.1.1	单 FFSR 接近静止目标飞行轨迹优化 .....	111
10.1.2	单 FFSR 截击运动目标飞行轨迹优化 .....	114
10.1.3	多 FFSR 飞行轨迹优化 .....	116
10.2	参数优化方法 .....	117
10.3	计算机仿真 .....	118
10.3.1	单 FFSR 接近静止目标飞行轨迹优化仿真 .....	118
10.3.2	单 FFSR 截击运动目标飞行轨迹优化仿真 .....	119
10.3.3	多 FFSR 飞行轨迹优化仿真 .....	120
10.4	小结 .....	120
<b>第十一章</b>	<b>多个 FFSR 协调操作控制算法</b> .....	<b>122</b>
11.1	多 FFSR 运动学模型 .....	122
11.1.1	运动学模型 .....	122
11.1.2	运动学方程 .....	123
11.2	多 FFSR 动力学模型 .....	126
11.2.1	关节力递推式 .....	126
11.2.2	动力学方程 .....	127
11.3	协调控制算法 .....	129
11.3.1	协调控制方案 .....	129
11.3.2	稳定性分析 .....	130
11.4	计算机仿真 .....	131
11.5	小结 .....	133
<b>第十二章</b>	<b>FFSR 地面实验平台</b> .....	<b>134</b>
12.1	地面实验平台系统组成 .....	134
12.2	机器人模型 .....	135
12.3	主控板 .....	136
12.3.1	控制板总体方案设计 .....	136
12.3.2	直流电机的模糊控制算法 .....	137
12.4	视觉系统 .....	139
12.4.1	FFSR 地面实验平台全局视觉方案 .....	139
12.4.2	视觉系统软件的工作原理 .....	142
12.5	操作台 .....	143
12.5.1	操作台显示信息 .....	143
12.5.2	操作台命令 .....	144

12.6	规划系统	145
12.6.1	捕捉策略	145
12.6.2	基于广义雅可比矩阵捕捉目标的运动规划	146
12.6.3	基于姿态受限广义雅可比矩阵捕捉目标的运动规划	146
12.7	无线通信系统	147
12.8	网络系统	148
12.8.1	网络系统构成	148
12.8.2	服务器端的框架	149
12.8.3	控制台结构	149
12.9	气浮系统	150
12.10	仿真实验	150
12.10.1	捕捉目标	150
12.10.2	操作目标	151
12.10.3	对接目标	151
12.11	小结	152
<b>参考文献</b>		<b>153</b>

# Contents

<b>Chapter 1 Introduction</b> .....	1
1.1 Definition and Classify of the Space Robot .....	1
1.2 Main Application and Rearch Purpose of FFSR .....	5
1.3 Research Summarizing of FFSR .....	6
1.3.1 Research on Basic Theory .....	6
1.3.2 Development of Ground Testbed .....	8
1.3.3 Development on Space Experiment System .....	9
1.4 Outline of the Book .....	10
<b>Chapter 2 Kinematics Model and Kinematics Characteristics of FFSR</b> .....	12
2.1 Kinematics Model of DFFSR .....	12
2.1.1 Kinematics Model and Parameters Definitions of DFFSR .....	12
2.1.2 Kinematics Equations .....	13
2.2 Unified Kinematics Model of DFFSR .....	21
2.2.1 Kinematics Equations .....	21
2.2.2 Kinematics Analysis .....	23
2.3 Kinematics Characteristics of DFFSR .....	24
2.3.1 Attitude Disturbance Characteristic .....	24
2.3.2 Redundancy Characteristic .....	25
2.3.3 Noholonomic Characteristic .....	25
2.4 Workspace and it's Partition of DFFSR .....	26
2.4.1 Workspace .....	26
2.4.2 Workspace Partition .....	28
2.4.3 Effect on the Workspace by Link Mass .....	29
2.5 Kinematics Model of Multi-Arm FFSR .....	29
2.5.1 Kinematics Model .....	29
2.5.2 Kinematics Equations .....	31
2.6 Summary .....	33
<b>Chapter 3 Parameter Identification of FFSR based on Neural Networks</b> .....	34
3.1 Approximation Capabilities and Learning Algorithm of NN .....	34
3.1.1 Approximation Capabilities of Multilayer Feedforward NN .....	34

3.1.2	Learning Algorithm for Multilayer Feedforward NN .....	34
3.2	A Nonlinear Homotopy Synthesized Learning Algorithm .....	35
3.2.1	Homotopy BP Learning Algorithm .....	35
3.2.2	Nonlinear Homotopy BP Learning Algorithm .....	36
3.2.3	A Nonlinear Homotopy Synthesized Learning Algorithm .....	38
3.2.4	Comparison of the Different Learning Algorithm .....	38
3.3	Parameter Identification of FFSR .....	39
3.3.1	Parameter Identificationbased on NN .....	39
3.3.2	Simulation .....	41
3.4	Summary .....	43
<b>Chapter 4</b>	<b>Motion Planning of FFSR Capturing Target .....</b>	<b>44</b>
4.1	Motion Planning of FFSR .....	44
4.2	Motion Control Algorithm of FFSR .....	45
4.2.1	Resolved Motion Rate Control .....	45
4.2.2	Resolved Motion Acceleration Control .....	46
4.2.3	Analysis of the Given Typical Motion of Manipulators .....	46
4.3	Path Planning of FFSR Capturing Static Target .....	48
4.3.1	Strategy of Capturing Static Target .....	48
4.3.2	Path Planning Algorithm of Capturing Static Target .....	49
4.3.3	Simulation .....	51
4.4	Path Planning of FFSR Capturing Moving Target .....	52
4.4.1	Strategy of Capturing Moving Target .....	52
4.4.2	Path Planning Algorithm of Capturing Moving Target .....	53
4.4.3	Simulation .....	54
4.5	Collision-free Path Planning of FFSR .....	54
4.5.1	Bi-directional and Double Heuristic Functions .....	54
4.5.2	Path Planning Algorithm of Finding Collision-free Path .....	55
4.5.3	Simulation .....	56
4.6	Summary .....	56
<b>Chapter 5</b>	<b>Attitude Control Algorithm Based on RMDM .....</b>	<b>57</b>
5.1	Attitude Control Method of FFSR .....	57
5.2	Disturbance Map and Enhanced Disturbance Map .....	59
5.2.1	Disturbance Map .....	59
5.2.2	Enhanced Disturbance Map .....	59
5.3	Calculation of Attitude Disturbance and RMD .....	61
5.3.1	Calculation of Attitude Disturbance .....	61
5.3.2	Restricted Minimum Disturbance Map .....	63
5.3.3	Comparison of RMDM and EDM .....	65
5.4	Attitude Control Algorithm based RMDM .....	66

5.4.1	Calculation of Zero Attitude Disturbance .....	66
5.4.2	Attitude Control Algorithm based RMDM .....	67
5.4.3	Simulation .....	69
5.5	Summary .....	71
<b>Chapter 6</b>	<b>Motion Planning of Redundant FFSR Based on Attitude Stability .....</b>	<b>72</b>
6.1	Motion Analysis of Redundant FFSR Based on Attitude Stability .....	72
6.1.1	Analysis of the Redundancies in FFSR .....	72
6.1.2	Attitude-Restricted Generalized Jacobian Matrix .....	72
6.1.3	Resolved Motion Acceleration Control .....	74
6.1.4	Avoiding Dynamic Singularities of FFSR .....	75
6.2	Motion Planning of FFSR Based on ARGJM .....	75
6.2.1	Motion Planning of Capturing Target under Free-Floating State .....	75
6.2.2	Motion Planning of Capturing Target under Free-Flying State .....	76
6.2.3	Simulation .....	77
6.3	Summary .....	81
<b>Chapter 7</b>	<b>Synthesized Algorithm for Attitude Control of FFSR .....</b>	<b>82</b>
7.1	Attitude Control of Satellite .....	82
7.2	Attitude Control based on the Prediction of Attitude Disturbance .....	83
7.2.1	Basic Ideas .....	83
7.2.2	Theoretic Analysis .....	84
7.2.3	Simulation .....	85
7.3	Synthesized Algorithm for Attitude Control of FFSR .....	87
7.3.1	Synthesized Algorithm for Attitude Control .....	87
7.3.2	Motion Planning of Operation in Space after Capturing Target .....	89
7.4	Summary .....	91
<b>Chapter 8</b>	<b>Motion Control Algorithm Based on Joint Driving Torque for FFSR .....</b>	<b>92</b>
8.1	Recursive Algorithm of Joint Driving Torque .....	92
8.1.1	Kinematics Model .....	92
8.1.2	Rate Analysis of FFSR .....	94
8.1.3	Acceleration Analysis of FFSR .....	95
8.1.4	Computational Formula of Joint Driving Torque for FFSR .....	96
8.2	Control of Capturing Target Based on Joint Driving Torque .....	97
8.2.1	Control Strategy .....	98
8.2.2	Control Algorithm of Capturing Target of FFSR .....	98
8.3	Simulation .....	99
8.4	Summary .....	103
<b>Chapter 9</b>	<b>Fuzzy Motion Control Algorithm of FFSR .....</b>	<b>104</b>

9.1	Fuzzy Logic and Hierarchical Fuzzy Controller .....	104
9.2	Motion Control Algorithm of Robot Based on Fuzzy Rule .....	105
9.2.1	Design of Fuzzy Controller of 2-DOF Robot .....	106
9.2.2	Design of Fuzzy Controller of 3-LR FFSR .....	108
9.2.3	Motion Control Algorithm of FFSR Based on Fuzzy Logic .....	109
9.3	Simulation .....	110
9.4	Summary .....	110
<b>Chapter 10</b>	<b>Flying Trajectory Optimization of FFSR .....</b>	<b>111</b>
10.1	Mathematic Model of Flying Trajectory Optimization .....	111
10.1.1	Flying Trajectory Optimization of FFSR Approaching the Target .....	111
10.1.2	Flying Trajectory Optimization of FFSR Intercepting the Target .....	114
10.1.3	Flying Trajectory Optimization of Multi-FFSR .....	116
10.2	Method Parameter Optimization .....	117
10.3	Simulation .....	118
10.3.1	Simulation of FFSR Approaching the Target .....	118
10.3.2	Simulation of FFSR Intercepting the Target .....	119
10.3.3	Simulation of Multi-FFSR Approaching the Target .....	120
10.4	Summary .....	120
<b>Chapter 11</b>	<b>Control Algorithm of Multi-FFSR Coordinative Operation .....</b>	<b>122</b>
11.1	Kinematics Model of Multi-FFSR Coordinative Operation .....	122
11.1.1	Kinematics Model .....	122
11.1.2	Kinematics Equation .....	123
11.2	Dynamic Model of Multi-FFSR Coordinative Operation .....	126
11.2.1	Recursive Formulation of the Joint Torque .....	126
11.2.2	Dynamic Equation .....	127
11.3	Control Algorithm of Coordinative Operation .....	129
11.3.1	Control Scheme .....	129
11.3.2	Stability Analysis .....	130
11.4	Simulation .....	131
11.5	Summary .....	133
<b>Chapter 12</b>	<b>Ground Testbed of FFSR .....</b>	<b>134</b>
12.1	System Structure of Ground Testbed .....	134
12.2	Robot Model .....	135
12.3	Main Control Board .....	136
12.3.1	Design Scheme of Main Control Board .....	136
12.3.2	Fuzzy Control Algorithm of DC Motor .....	137
12.4	Vision System .....	139

12. 4. 1	Overall Vision System of FFSR .....	139
12. 4. 2	Working Principle of Vision Software .....	142
12. 5	Operating Platform .....	143
12. 5. 1	Display Information of Operating Platform .....	143
12. 5. 2	Command Mode of Operating Platform .....	144
12. 6	Motion Planning System .....	145
12. 6. 1	Strategy of Capturing Static Target .....	145
12. 6. 2	Motion Planning of Capturing Target Based on GJM .....	146
12. 6. 3	Motion Planning of Capturing Target Based on ARGJM .....	146
12. 7	Tele-Communication System .....	147
12. 8	Network System .....	148
12. 8. 1	Structure of Network System .....	148
12. 8. 2	Frame of Service Computer .....	149
12. 8. 3	Structure of Control Platform .....	149
12. 9	Floating System .....	150
12. 10	Simulation .....	150
12. 10. 1	Capturing the Target .....	150
12. 10. 2	Manipulating the Target .....	151
12. 10. 3	Abuting the Target .....	151
12. 11	Summary .....	152
<b>References</b>	.....	<b>153</b>

# 第一章 绪 论

近年来,随着科学技术的飞速发展,经过科学家们坚持不懈的努力,人类遨游宇宙太空的梦想正逐步得以实现,如发射卫星,漫步火星、月球,建立地外空间站等。宇宙已经成为人类另一个生存和活动的空间。宇宙空间为人类提供了特殊的生产基地和科学实验场所。研究和开发太空资源已经成为人类文明发展的一个重要标志。然而恶劣的空间环境,如放射线、高温差、超真空等给人类在太空的生存和活动带来了巨大的威胁。要使人类在太空停留,需要庞大而复杂的环境控制系统、生命保障系统、物质补给系统、救生系统等,这些系统耗资巨大。

在未来的空间活动中,如交会对接、卫星捕获及大量的空间加工、生产、装配、检测、维修和空间科学实验等任务,仅靠航天员是完成不了的。世界各国空间技术研究人员愈来愈清楚地认识到,采用空间机器人协助航天员完成太空作业、太空实验和太空考察是当今行之有效的最佳选择。

空间机器人学作为一门新兴的边缘学科,涉及到计算机、人工智能、自动控制、无线电通信、传感器融合、人工生命、机械学和力学等多个研究领域。目前美国、日本、加拿大、德国和法国等都在加紧进行空间机器人的研制和实验工作。我国空间机器人的研究起步比较晚,因此必须跟踪世界先进水平,加速发展空间机器人的研究工作。

## 1.1 空间机器人的概念及分类

空间机器人(Space Robots, SR)是在太空环境中运用的特种机器人,主要应用于在轨装配与服务、科学实验载荷照料以及星球表面探测等方面。空间机器人技术已成为人类探索、开发和利用太空资源的重要手段,也是当今衡量一个国家高科技发展水平的重要标志。空间机器人将在扩大人类空间活动能力、提高安全性、提高生产效率 and 经济效益等方面发挥巨大的作用。根据不同的标准和原则,空间机器人有多种分类方法。

### 1. 按用途划分

#### 1) 行星探测机器人

发展行星探测机器人的目的是满足行星表面探测任务的需要。在行星探测中,机器人将被用来探测可能的着陆地点、感兴趣的科学考查地域、放置科学仪器、收集用来分析并可能被送回地球的物质样品。行星探测需要机器人具有高度的自主性,包括区域自主导航、确定有潜在科学考查价值的地域、管理自身资源并制定活动计划,所有这些工作仅需少量的地面指令。其研究的重点是移动系统、微型机械装置、任务规划和自主导航。火星探路者(Mars Pathfinder)就是该种机器人,它是1996年12月4日从肯尼迪空间中心发射



的,经过7个月的长途跋涉,于1997年7月4日登上火星。登陆器中装载有漫游机器人,取名为索杰纳(Sojourner),如图1-1所示。火星探路者登上火星后,索杰纳离开登陆器在火星表面漫游,移动范围只有几十米。该漫游机器人主要用做技术实验,验证微型漫游机器人在火星表面的运动特性,以确保将来的火星漫游机器人具有更有效的导航和运动性能。

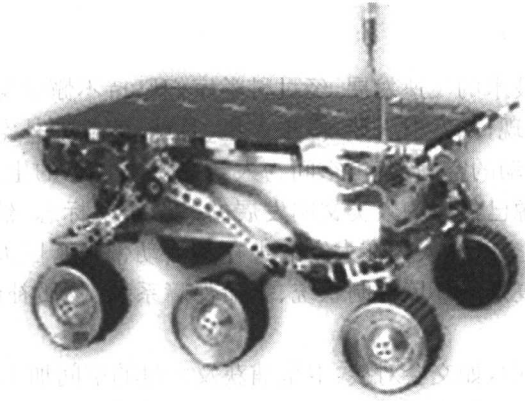


图 1-1 火星漫游机器人索杰纳

## 2) 舱内服务机器人

舱内服务机器人主要用于在舱内进行科学实验的维护和照料。它可以代替航天员的一部分工作,以减轻航天员的负担。舱内服务机器人需要质量小和体积小,具有冗余度和灵活性,它主要作为空间站舱内使用的机器人,如图1-2所示。发展舱内服务机器人的目的在于降低科学试验载荷对航天员的依赖性,甚至航天员不在现场的情况下也能对科学载荷进行照管。舱内服务机器人最典型的应用是国际空间站舱内活动机器人和美国天空实验中的实验看管机器人。

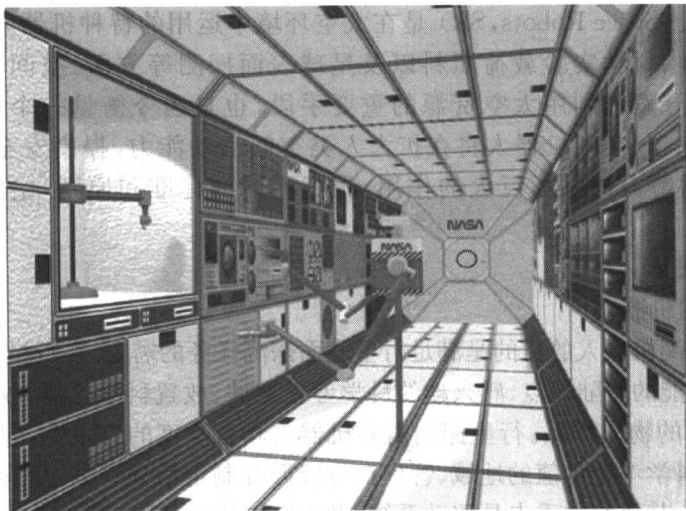


图 1-2 空间站舱内服务机器人