



富 巍 刘美俊 著

排爆机器人



的研究与开发



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

排爆机器人的研究与开发

富巍 刘美俊 著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以作者所做博士后研究报告为背景,以排爆机器人机械臂单关节遥控操作、联动遥控操作、机械手一次自动到位遥控操作3种工作模式为中心,进行了深入的研究与开发。在特殊约束条件下,解决了5自由度机械手逆运动学求解困难的问题。应用“双目立体视觉”技术,解决了爆炸物目标测距的问题。运用观测图像,实现了排爆机器人手爪柔性控制策略,保障了抓取爆炸物的安全,研制出了具有自主知识产权的排爆机器人。

本书既可供从事机器人、图像处理、兵器工业、自动化等相关工作的技术人员阅读,也可作为大专院校电气工程、机电一体化、仪器仪表、计算机等专业人士的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

排爆机器人的研究与开发 / 富巍, 刘美俊著. —北京: 电子工业出版社, 2010.1

ISBN 978-7-121-10153-3

I. 排… II. ①富…②刘… III. 防爆机器人—研究 IV. TP242.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第240298号

策划编辑: 康 霞

责任编辑: 康 霞

印 刷: 北京东光印刷厂

装 订: 三河市皇庄路通装订厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 15.25 字数: 361千字

印 次: 2010年1月第1次印刷

印 数: 1500册 定价: 42.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前言

排爆机器人是指代替人到不能去或不适宜去的、有爆炸或有危险的环境中,直接在事发现场进行侦察、排除和处理爆炸物或其他危险品,也可以对一些持枪的恐怖分子及犯罪分子实施有效攻击的移动机器人。排爆机器人的关键在于能自主获取、处理和识别目标物信息,具有一定的自主分析能力,能够自主完成较为复杂的操作任务,比一般的工业机器人具有更大的灵活性。要求机器人具有对环境的感知能力,随着机器视觉理论研究的发展以及双目视觉系统本身的仿人优势,视觉传感器成为最重要的选择对象。机器人视觉系统最主要和最基本的功能就是三维空间的定位,即确定机器人观察目标的空间三维坐标。本书以智能排爆机器人的研制为背景,阐述了其双目立体视觉和抓取控制的若干关键技术。

本书主要介绍了如下内容:

双目立体视觉子系统——完成根据图像坐标计算三维坐标的功能。作者详细描述了双目立体视觉的原理、双目立体视觉的数学模型、利用“黑白方格模板”对双目立体视觉进行标定(数学模型参数的识别)的原理和算法步骤,以及对该机器人双目立体视觉子系统的软硬件实现。

运动学控制遥操作子系统——则完成按运动学控制方法对机械臂实施“遥操作”的功能。经过合理的简化处理,我们得到了该“3臂杆5自由度机械臂”的一种解析运动学描述方法。然后基于该解析的运动学模型,实现了该机械臂的遥操作系统,包括后台的遥操作系统软件以及现场的位置伺服控制系统。

针对目前排爆机器人手动控制方式的不足,研究和开发了一种基于双目视觉定位的半智能排爆机器人控制系统,用于实现排爆机器人的自动抓取。提出了排爆机器人的两种智能作业模式:基于视觉的目标物自动抓取模式和联动操作模式。在基于视觉的目标物自动抓取模式中,操作者只需在传回的现场图像中标示出目标物,机械手臂就能自动实施抓取;在联动操作模式中,操作者能对机械手臂进行“整体”的联动控制,控制机械手臂手爪的各个方向运动,从而能很方便地抓取目标物。

本书阐述了半智能排爆机器人控制系统软硬件结构的基本组成,重点介绍了机器人运动控制模型的实现。机器人车载PC/104计算机中的运动控制模型主要完成机器人软硬件的初始化功能、主控制机与目标机的通信功能及各机械臂关节的运动控制。采用Ziegler-Nichols方法,整定增益参数,并综合利用多种PID控制技术,从而设计出一种具有专家特性的PID控制器,机器人关节运动平稳且无静态误差,系统具有很好的鲁棒性和实时性。另外,本书简要介绍了机器人的组成和机械手臂的结构,详细介绍了用几何解法实现机械手的运动学反解的方法,并提出了一种解析的运动学描述,基于该解析的运动学简化模型实现了该机械臂运动学的遥操作系统。除此之外,还介绍了机器人车载PC/104与数据采集卡ADT652等硬件的性能和配置,以及直流电机伺服控制系统的实现过程。

采用双目立体视觉识别系统，给出了图像中可疑爆炸物的质量估计与夹持宽度估计；根据爆炸物预抓取部位图像矩阵的列单色灰度差分，给出了爆炸物表面粗糙度的估计方法。同时构建了完成排爆机器人手爪柔性控制策略所需的电流伺服控制系统。

最后本书介绍了排爆机器人自动控制系统以及遥操作系统的使用，并进行了排爆机器人自动抓取目标物的试验。通过该试验验证机器人控制系统的性能，试验中在 X 、 Y 、 Z 方向上选取多个测试点，测量机器人手臂定位到目标点的误差，获得在 X 、 Y 、 Z 方向的误差趋势，同时得出机械手的最佳抓取空间。

本书得到了合作导师华南理工大学姚锡凡教授，日本早稻田大学蒋梁中教授的指导，对此表示由衷的感谢。同时感谢同实验室的汪伟、范陆桥、杨进、曹杰等同事给予我的诸多帮助。

本书的出版得到了福建省教育厅 JK 类科研课题和厦门理工学院专著出版基金的资助。

著者

2009年12月

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为，歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396; (010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

目 录

第 1 章 排爆机器人发展现状及关键技术	(1)
1.1 排爆机器人研究现状	(1)
1.1.1 国内外的研究现状	(1)
1.1.2 排爆机器人的关键技术	(6)
1.1.3 排爆机器人的发展趋势	(7)
1.2 计算机立体视觉的研究现状	(8)
1.2.1 双目立体视觉的研究内容	(9)
1.2.2 双目立体视觉研究现状	(10)
1.2.3 应用于移动机器人的立体视觉系统	(11)
1.3 机器人的计算机控制技术	(12)
1.4 选题背景及主要研究工作	(13)
1.4.1 选题背景	(13)
1.4.2 目前排爆机器人存在的问题	(14)
第 2 章 智能排爆机器人的系统组成	(15)
2.1 智能排爆机器人总体设计原则	(15)
2.2 履带式排爆机器人移动车体机构设计	(16)
2.3 机械臂	(22)
2.3.1 自由度	(22)
2.3.2 机械臂结构	(23)
2.4 智能排爆机器人的 3 种作业模式	(23)
2.4.1 基于计算机视觉的目标物遥控操作模式	(23)
2.4.2 机械臂联动操作模式	(24)
2.4.3 机械臂单关节操作模式	(25)
2.5 智能排爆机器人系统软件的功能模块	(25)
2.5.1 双目立体视觉子系统	(25)
2.5.2 运动学控制遥操作子系统	(25)
2.6 智能排爆机器人控制系统	(26)
2.6.1 概述	(26)

采用双目立体视觉识别系统,给出了图像中可疑爆炸物的质量估计与夹持宽度估计;根据爆炸物预抓取部位图像中像素的彩色灰度差分,给出了爆炸物表面粗糙度的估计方法。同时构建了完成排爆机器人手爪柔性控制策略所需的电流伺服控制系统。

最后本书介绍了排爆机器人自动控制系统以及系统软件系统的使用,并进行了排爆机器人自动抓取目标物的试验。通过该试验验证机器人控制系统的性能,完成实验。在 3.2 方向上选取多个目标物,进行实验,验证定位到目标点的误差,并得出在 3.2 方向上

2.6.2	现场主控制计算机	(27)
2.6.3	无线传输设备	(28)
2.6.4	嵌入式 PC/104 计算机	(29)
2.6.5	数据采集卡	(30)
2.6.6	光电编码器与直流电机	(31)
2.6.7	H 桥式直流电机驱动电路	(32)
2.7	本章小结	(33)
第 3 章	视频图像捕获及图像预处理	(34)
3.1	视频图像处理方法	(34)
3.1.1	图像捕获硬件系统的选型与设计	(34)
3.1.2	视频图像捕获的软件实现	(36)
3.2	图像预处理方法研究	(40)
3.2.1	图像噪声的分类	(40)
3.2.2	图像滤波去噪声算法的研究	(41)
3.3	基于特定选点的自适应窗口的中值滤波算法	(44)
3.3.1	去噪声算法基本思想	(44)
3.3.2	去噪声算法的实现步骤	(45)
3.3.3	实验结果及分析	(47)
3.4	本章小结	(49)
第 4 章	双目立体视觉系统的标定	(50)
4.1	双目立体视觉系统的透视变换与摄像机模型	(50)
4.1.1	标定中的各种坐标系	(50)
4.1.2	双目立体视觉系统各坐标系的变换	(52)
4.1.3	摄像机的标定参数	(54)
4.1.4	摄像机镜头的畸变	(55)
4.2	摄像机内外参数的标定方法	(56)
4.2.1	传统的摄像机标定方法	(57)
4.2.2	摄像机自标定方法	(59)
4.2.3	基于主动视觉的标定方法	(59)
4.2.4	其他的一些标定方法	(60)
4.3	一种内外参数分离的标定方法	(60)
4.3.1	摄像机内参数标定	(60)

4.3.2	摄像机外参数标定	(64)
4.3.3	摄像机标定实验步骤及结果	(64)
4.4	本章小结	(67)
第5章	双目系统立体匹配与三维坐标的计算	(68)
5.1	双目立体系统匹配的基本问题	(68)
5.1.1	匹配基元的选择	(69)
5.1.2	匹配准则	(69)
5.1.3	双目系统立体匹配的算法结构	(72)
5.2	双目系统立体匹配算法	(72)
5.2.1	常用立体匹配算法	(73)
5.2.2	双目系统立体匹配在理论和技术上存在的问题	(74)
5.2.3	双目立体系统区域相关匹配算法	(75)
5.3	视觉系统控制点修正的金字塔双层动态规划立体匹配算法	(77)
5.3.1	控制点修正的动态规划立体匹配算法	(78)
5.3.2	控制点修正的金字塔双层动态规划立体匹配算法	(80)
5.3.3	实验与结果分析	(82)
5.4	双目立体视觉三维坐标的深度计算	(83)
5.4.1	三维坐标的数值计算	(84)
5.4.2	双目立体视觉系统实验结果	(85)
5.5	本章小结	(88)
第6章	排爆机器人机械臂运动学分析	(89)
6.1	3臂杆5自由度机械臂	(89)
6.1.1	机械臂工作平面分析	(90)
6.1.2	手腕摆动关节设计(第四关节)	(92)
6.1.3	前臂结构设计	(94)
6.1.4	前臂刚度校核	(95)
6.1.5	肘关节设计(第三关节)	(97)
6.1.6	上臂结构设计	(98)
6.1.7	驱动系统设计	(100)
6.1.8	第一关节设计	(101)
6.2	3臂杆5自由度机械臂的运动学特性分析	(102)
6.2.1	3臂杆5自由度机械臂运动学方程	(103)

6.2.2	3 臂杆 5 自由度机械臂运动学方程求解	(104)
6.3	3 臂杆 5 自由度机械臂运动学求解过程简化	(105)
6.3.1	机械臂平面内的运动	(106)
6.3.2	腰部回转关节的运动	(108)
6.3.3	解析的正逆运动学方程	(108)
6.4	本章小结	(109)
第 7 章	排爆机器人的伺服控制系统	(110)
7.1	介绍 MATLABRTW、xPC 的概念	(110)
7.1.1	MATLABRTW 的基本介绍	(110)
7.1.2	xPC 目标应用环境	(113)
7.1.3	排爆机器人控制系统控制模型的开发	(115)
7.2	运动控制模型	(116)
7.2.1	模型总体框架	(116)
7.2.2	系统初始化	(116)
7.2.3	主控制模块	(118)
7.2.4	机械臂运动关节的位置伺服控制模型	(119)
7.3	控制指令	(124)
7.4	排爆机器人手爪的柔性控制	(126)
7.4.1	手爪夹持机构的受力分析	(126)
7.4.2	可疑爆炸物的质量估计与夹持宽度估计	(128)
7.4.3	可疑爆炸物的夹持表面粗糙度估计	(128)
7.4.4	排爆机器人电流伺服控制系统的实现	(129)
7.5	本章小结	(130)
第 8 章	排爆机器人遥操作控制流程及误差分析	(131)
8.1	遥操作子系统软件	(132)
8.2	DirectInput 简介	(133)
8.3	DirectInput 组件	(133)
8.4	遥操作过程及控制指令	(133)
8.5	智能排爆机器人的排爆操作过程	(134)
8.6	实验研究	(140)
8.6.1	实验设备和仪器	(140)
8.6.2	机器人自动抓取目标物实验	(140)

第1章 排爆机器人发展现状及关键技术

8.6.3 误差分析	(143)
8.7 本章小结	(144)
第9章 摇杆控制	(145)
9.1 主要程序代码	(145)
9.2 控制指令	(153)
9.2.1 串口通信	(153)
9.2.2 手柄控制指令	(155)
第10章 供电与辅助系统设计	(162)
10.1 供电系统设计	(162)
10.2 辅助系统设计	(162)
结论	(163)
附件一 排爆机器人开发软件	(165)
参考文献	(225)

1.1.1 国内外的研究现状

1. 国外的研究现状

在国外，排爆机器人的研究起步较早，发展迅速，技术日益成熟，并已进入实用阶段。英、美、德、法、加拿大等西方国家已广泛在军警部门装备使用。

由英国军用车辆研究所和皇家陆军军械部队研制、英国 Morfitt 公司生产的“手推车”(Wheelbarrow) 举世闻名，已向 50 多个国家的军警部门销售了 500 多台，并不断发展有多种型号，如 MK7、MK8、SuperM (超级手推车) 等。其中，SuperM 排爆机器人是一种可在恶劣环境下工作的遥控车 (图 1-1)。该车重 20kg，长 1.2m，宽 0.6m，完全展开时最大高度 1.32m。摄像头可在距地面 65mm 处工作，因此它可用来检查可疑车辆底部。它采用橡胶履带，最大速度为 2km/h，有一整套的有线控制系统及彩色电视摄像头、一支猎枪和两个红外探测装置。

英国 P.W.A.R. 公司生产的 Defender 是一款人型排爆机器人 (图 1-2)，它的一系列先进功能能够满足正在发展的反恐需求。例如，处爆爆炸化装置、分布式电子结构、扩展的光谱射频传感器装置，可通过有线操控，也可通过无线 SSRF 遥控。采用定向天线，控制半径达到 2km。车体采用模块化结构，主要部件使用强度高、质量轻的材质，大容量的配置均采用标准配件，结实耐用、维护简单、通用性好、可靠性高^[1]。

“搜索者”(Hunter) 也是英国研制的轮履结合的排爆机器人。它有一个独特的辅助驱动系统，使快速通过障碍物，也可用轮子在平整的道路上以较快的速度行驶。其活动半径达 4m，最大仰角 37°，携带重 100kg 的重物，其底盘可旋转 360°，手重 9kg 达 54kg。数字式脉码调制无线电通信由微处理器控制。当使用无线电时，将通信系统转

第1章 排爆机器人发展现状及关键技术

1.1 排爆机器人研究现状

排爆机器人是指代替人到不能去或不适宜去的有爆炸危险等环境中,直接在事发现场进行侦察、排除和处理爆炸物及其他危险品,也可对持枪、持械等一些恐怖分子实施有效攻击的机器人。

排爆机器人的研制始于20世纪60年代,随着国际上反恐形势日趋严峻和反恐斗争的深入,特别是“911”恐怖袭击事件以来,国内外的一些大公司、大学及科研院所,如美国的 Remotec、iRobot,英国的 P.W.Allen、ABP,德国的 Telerob,加拿大的 Pedesco,我国中科院沈阳自动化研究所、北京航空航天大学、上海交通大学、华南理工大学等,也都先后从事相关系统和技术的研究,并取得了卓有成效的进展。

1.1.1 国内外的研究现状

1. 国外的研究现状

在国外,排爆机器人的研究起步较早,发展迅速,技术日益成熟,并已进入实用阶段,英、美、德、法、加拿大等西方国家已广泛在军警部门装备使用。

由英国军用车辆研究所和皇家陆军军械部队研制、英国 Morfax 公司生产的“手推车”(Wheelbarrow)举世闻名,已向50多个国家的军警部门销售了500多台,目前发展有多种型号,如 MK7、MK8、SuperM(超级手推车)等,其中,SuperM 排爆机器人是一种可在恶劣环境下工作的遥控车(图1-1),该车重204kg,长1.2m,宽0.69m,完全展开时最大高度1.32m,摄像机可在距地面65mm处工作,因此它可用来检查可疑车辆底部;它采用橡胶履带,最大速度为2km/h,有一整套的无线电控制系统及彩色电视摄像机、一支猎枪和两个爆炸物排除装置。

英国 P.W.Allen 公司生产的 Defender 是一款大型排爆机器人(图1-2),它的一些先进功能能够满足正在发展的反恐需求,例如,处理核生化装置、分布式电子结构、扩展的光谱射频遥感测量装置,可通过线缆操控,也可通过无线 SSRF 遥控,采用全向天线,控制半径达到2km,车体采用模块化结构,主要部件使用强度高、质量轻的钛,大范围的配置并采用标准配件,结实耐用、维修简单、通用性好、可靠性高^[1]。

“搜索者”(Hunter)也是英国研制的轮履结合的排爆机器人。它有一个独特的辅助驱动系统,能迅速选用履带越过障碍物,也可用轮子在平整的道路上以较高的速度行驶。其伸缩臂的活动半径达4m,最大仰角87°,能举起100kg的重物,其手爪可旋转360°,手爪夹持力达54kg,数字式脉码调制无线电通信由微处理器控制,当出现无线电干扰时,将通信系统转

换到预先编好程序的自动防止故障的状态，直到干扰停止，信号质量恢复为止。它可安装一个或两个臂，臂上装有半自动猎枪，可与激光目标指示器配合，在 45m 远处命中直径为 2.5cm 的小目标。



图 1-1 SuperM 排爆机器人



图 1-2 Defender 排爆机器人

美国 Remotec 公司开发的 Andros 系列排爆机器人中，Andros F6A 是一款功能强大的经典排爆机器人（图 1-3）。自身质量 159kg，最高速度达 5.6km/h，无级调速，能爬 45° 的斜坡或台阶，最大攀高或越沟达 46cm，水平伸展距离 122cm，垂直伸展距离 213cm，完全伸展时抓举能力达 11kg，伸展 46cm 时抓举能力达 46kg，其控制方式有无线电、有线电缆和光缆三种^[1]。

德国 Telerob 公司 2002 年研制的 TEODOR 排爆侦察机器人（图 1-4），长 130cm，宽 68cm，高 110cm，质量 360kg，速度达 3km/h，最大抓举能力达 100kg，夹持力为 60kg。



图 1-3 Andros F6A 排爆机器人



图 1-4 TEODOR 排爆机器人

加拿大 Pedesco 公司生产的 RMI-9WT 排爆机器人是其生产的系列化排爆机器人中最大的一种型号（图 1-5），广泛应用于搜查、排爆、监控及对放射性物质的排除等危险环境。其主

要特点有：6 轮驱动配履带，攀爬能力强，移动灵活；4 个彩色摄像机，图像最大可放大 128 倍，另加配高灵敏度、低照度红外摄像机；3 种可选抓取器，即标准型、可旋转型、超大型；双水炮带闪烁激光瞄准器可连续打击目标，并且水炮枪控制器带自动延时功能，能有效保证操作人员安全；通过手控或智能遥控现场拍摄可疑物图像，并可选配各种延伸杆^[1]；它还配有一友装有激光瞄准器的 5 连发霰弹枪，曾在纽约有过击毙 4 名歹徒的成功范例。另外，该公司生产的 RMI-10 是一款中型排爆机器人，为 4 轮驱动配履带。

法国 Cybernetix 公司研制的 TSR200 排爆机器人(图 1-6)^[1]，重 265kg，长 1.2m，高 1m，橡胶履带，最大行驶速度 65m/min，能爬行 40°的斜坡和 30°的侧坡，并可跨越 1.2m 的壕沟，其液压操作臂长 2.4m、6 个自由度，操作臂完全展开时，可举起 12kg 重物，在臂处于折叠位时，可举起 70kg 的物体。TSR200 采用电缆（控制距离 200m）和无线电控制（控制距离 300m）。该机器人现已装备在法国的陆军、空军和警察部队中使用。

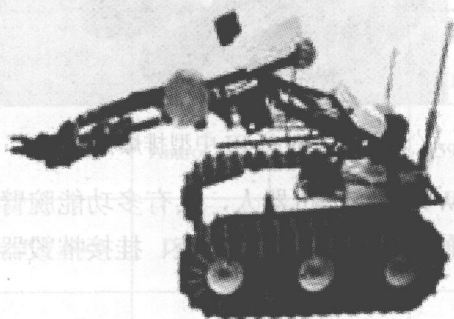


图 1-5 RMI-9WT 排爆机器人

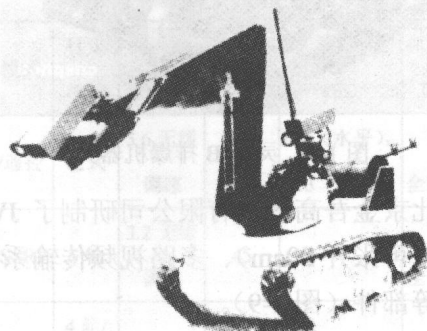


图 1-6 TSR200 排爆机器人

2. 国内的研究现状

相对国外，我国对排爆机器人的研究起步较晚，目前，国内在该领域进行研究的主要有中国科学院沈阳自动化研究所、上海交通大学、北京航空航天大学，以及华南理工大学等。

中国科学院沈阳自动化研究所先后研制了“灵蜥-A”，“灵蜥-B”(图 1-7)，“灵蜥-H”等反恐防爆机器人。其中，“灵蜥-H”是其与广州卫富机器人公司研制的反恐防爆机器人，自重 200kg，最大直线运动速度 2.40km/h，可通过小于 40°斜坡或楼梯，三段履带设计让机器人平稳地上下楼梯，可跨越 400mm 高的障碍；装备有爆炸物销毁器、连发霰弹枪、催泪弹等武器；6 自由度机械手最大伸展时抓重 5kg，最大作业高度达 2.2m；还装备了自动收线装置、便捷操纵盒、高效电池等；具有有缆操作（控制距离 100m）和无缆操作（控制距离 300m）两种控制方式，可根据需要进行切换。2005 年 8 月通过国家“863”验收的排爆机器人，采用 6 自由度可伸缩式关节手臂联动机构，开发有爆炸物转运箱，可提高爆炸物转移速度；车底爆炸物检测机器人采用两节等长履带腿复合型移动机构，有很强的地形适应能力；其控制系统采用 PC/104 计算机及基于其总线的四轴联动运动控制卡。

上海交通大学是我国最早从事机器人技术研发的高校之一，2002 年以来开始排爆机器人的研制。

Super-DII 型排爆机器人是“863”计划项目，由上海交通大学与北京中泰通公司联合研

制, 2004 年 6 月在北京参加了第二届国际警用装备博览会。最近研发的 Spuer-III 中型排爆机器人(图 1-8), 整机重 250kg, 长 1.6m, 宽 0.84m, 高 1.3m, 行走速度 2.4km/h; 可跨越 350mm 高的障碍物或壕沟, 爬 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 斜坡或楼梯, 同时可将整体机身抬高 350mm; 手臂伸展全长 1.75m, 由 6 自由度的 3 臂杆结构组成, 全长手臂抓取质量约 15kg; 大小中臂自由度运动范围为 $0\sim 210^{\circ}$, 腰转水平运动 $\pm 90^{\circ}$, 手爪开合距离 240mm, 腕转 $\pm 360^{\circ}$; 另外还配备了国内外最大威力爆炸物销毁器、水弹、穿孔弹等攻击弹种^[2]。

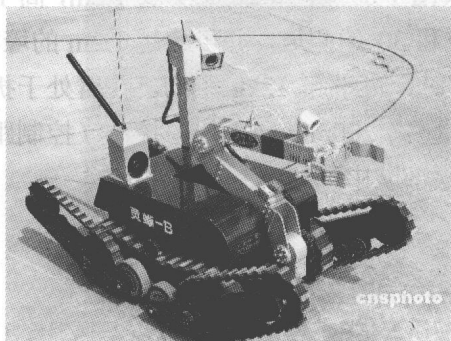


图 1-7 灵蜥-B 排爆机器人

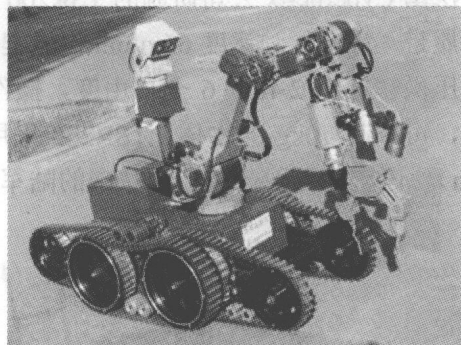


图 1-8 Super-III 中型排爆机器人

北京金吾高科技有限公司研制了 JW901B 和 JW902 排爆机器人, 具有多功能腕臂、大爪手(可张开 50cm)、多路视频传输系统可切换画面、排爆工作存储系统、挂接摧毁器和 X 光机等部件(图 1-9)。

2005 年, 北京航空航天大学机器人研究所与北京瑞琦伟业科技发展有限公司合作开发了 RT3-EDO 小型模块化排爆机器人和 RAPTOR 中型排爆机器人, 在便携性、模块化和动力驱动等关键技术问题上具有鲜明特色(图 1-10)。

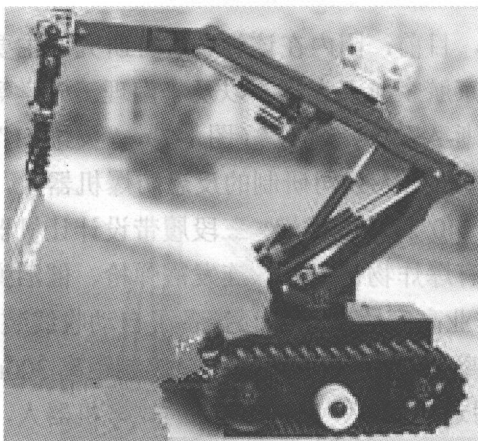


图 1-9 JW902 排爆机器人

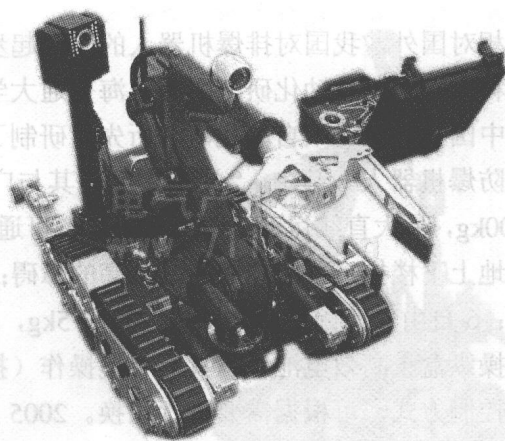


图 1-10 RT3-EDO 排爆机器人

华南理工大学排爆机器人研究室在广东省公安厅的支持下, 研制了 I 型、II 型两台排爆机器人样机 MRC-5(图 1-11), 其控制系统具有鲜明特色, 除了遥控功能以外, 它能够在视觉系统的引导下计算可疑目标物的三维坐标, 并控制手爪自动抓取可疑目标物^[3]。



图 1-11 MRC-5 排爆机器人

在表 1-1 中汇总了国内外典型排爆机器人的归属国家、型号、尺寸及技术指标。

表 1-1 国内外典型排爆机器人技术指标

国家	公司或院所	型号	外形尺寸 (cm)	质量 (kg)	自由度	控制模式	行走 机构	速度 (km/h)	爬坡能 力(°)	伸展距离 (cm)	抓举质量 (kg)
美国	Remotec	Andros F6A	132×45×112	159	7	线控/遥控	轮式	5.6 无级 调速	45	122 (水平), 213 (垂直)	11 (完 全伸展)
英国	P.W.Allen	Defender		250	6	线控/SSRF	6 轮	3.2 无级 调速	45		30 (完 全伸展)
英国	AB Precision	独眼龙	40×87×40	30	6	光纤/遥控	4 轮/ 履带	5			
法国	Cybernetix	RS200	120×70×100	265		线控/遥控		4	40	240	70
加拿大	Pedsco	RMI-9WT			6	线控/遥控	6 轮/ 履带				80
德国	TELEROB	TEODOR	130×68×110	360	6	线控/遥控	履带	3			20 (完 全伸展)
中国	沈阳自动化所/ 卫富	灵晰-H		180	4	线控/遥控	轮/履/ 腿	2.4	40		5 (完全 伸展)
中国	上海交大 /中泰通	SUPPER-DII	160×84×130	250	5+1	线控/遥控	4 轮/ 双摆	2.4	40	180	10 (完 全伸展)
中国	北航/瑞琦伟业	RT3-EOD	90×36×60	50	3	线控/遥控	履带	4.3		130	6 (完全 伸展)
中国	北京金吾高科 技	JW901B				线控/遥控	6 轮	3.6		270	

1.1.2 排爆机器人的关键技术

1. 移动机构

移动机构作为排爆机器人的移动载体, 必须具有如下特点: 一定的移动速度和低能耗; 良好的姿态稳定性和高运动精度; 能适应各种地理环境, 一定的爬坡和越障能力。现有的排爆机器人移动机构主要有: 轮式、履带式、轮履结合式。轮式机器人作为目前最常见的移动机构, 具有结构简单、质量轻、滚动摩擦阻力小、机械效率高等特点, 但由于轮子与地面的附着力不如履带式, 因而越野性能不如履带式, 特别是爬楼梯、爬台阶、越壕沟的能力较差; 履带式机器缺点是质量大, 能耗大; 轮履结合式机器人融合轮式机构的高速高性能和履带式机构的地形适应能力强的优点, 其缺点是结构相对复杂, 控制较为困难^[2]。

2. 基于计算机视觉的定位和抓取控制技术

排爆机器人最终排爆功能的实现, 取决于其精确的定位和抓取控制。现有排爆机器人的视觉系统大多只作为一个监视系统, 其操作控制方式由操作者根据从现场 CCD 返回的图像, 通过操作面板上的手柄或键盘来遥控机器人。这种视频监视系统通过操作者的眼睛、大脑和手形成一个大的控制闭环, 整个系统的控制精度和效率不可避免地要受到操作者精神状态、熟练程度的影响。因此, 在原有视觉监视系统基础上增加视觉反馈信息尤为重要, 这种视觉信息的集成也将为排爆机器人的半自动化和自动化打下技术基础, 并对操作对象的安全、稳定及准确操作具有重要意义^[3-7]。

3. 导航、定位和路径规划技术

对排爆机器人来说, 使用地图匹配、陆标和味觉等导航方式存在局限性, 传统的路径规划和跟踪方法也不能发挥作用, 必须研究新的导航方法。如研究利用楼道墙壁边沿的路径跟踪导航; 在机器人的视觉反馈图像上指定一扇门或窗户, 命令机器人向门或窗户运动, 即基于图像匹配的视觉跟踪导航; 或在视觉图像上指定几个点, 要求机器人依次走过这些路径点, 即视觉伺服的路径点跟踪导航等^[8]。

4. 通信系统和控制方式

排爆机器人的通信系统负责完成前方与后方之间双向信息交流, 包括数据通信、视频信号、音频信号的通信, 其视频、音频信号由微波设备进行无线传输, 控制指令由有线或无线遥控系统完成。目前, 排爆机器人的控制方式主要有有线控制、无线遥控、自主式控制。有线控制可靠性高, 但控制电缆很容易被现场的障碍物缠绕甚至切断; 无线遥控式控制操作方便, 机器人行动灵活, 但控制信号易受到楼道等的屏蔽或外来信号的干扰; 而自主式控制排爆机器人具有多种感知功能如视觉反馈、障碍物识别等, 可进行复杂的逻辑推理、规划和决策, 在作业环境中自主行动, 具有很高的智能性^[9]。