

特种机器人的模块化设计的研究^①

刘璇^② 张明路 刘伟 吕晓玲

(河北工业大学机械工程学院 天津 300130)

摘 要 使用自底向上的模块化设计方法研究了功能相似的特种机器人的体系结构,以获得具有较宽应用范围的模块化机器人系统的设计方法。首先对攻击、排爆、侦察三种机器人分别进行研究,建立各自的功能结构,然后利用模块启发法进行模块划分,得到模块划分方案后,通过对这三种机器人各自的划分方案进行比对,提炼出这三种机器人的共享模块和个性模块,为建立能够响应多种用户需求的模块化的特种机器人系统提供依据。过程中引入了用户定制思想,使用定制模块描述个性模块,建立个性模块与其他模块之间的关系,以便于根据用户需求进行功能扩展与开发。

关键词 特种机器人, 模块化, 设计方法, 自底向上, 用户定制

0 引言

模块化设计能够节省产品开发成本和缩短产品开发周期。通过更换相应的模块,可以实现设备的更新与功能升级。目前,模块化设计在特种机器人领域已得到应用,并取得了很好的效果。美国、日本等国在模块化机器人研究方面处于领先地位,推出了多个商品化系统,如美国福斯特-米勒公司研制的 MAARS^[1]模块化作战机器人、iROBOT 实验室研制的 Packbot^[2]机器人、日本的蛇形可重构搜救机器人等。我国 863 计划将“机器人模块化体系结构设计”列为重点项目,开展面向未来产业化发展的机器人模块化体系结构框架设计关键技术研究。国内部分高校及研究机构已取得一定成果,例如,北航机器人研究所研制出了模块化履带式侦察机器人^[3],中国科学院沈阳自动化研究所研制出了可重构星球探测机器人^[4]等。

现有模块化机器人的模块划分方法较多,机器人设计方法多从自顶向下的角度出发,关注于模块的结构特性,因而仅适用于全新模块化机器人的设计,若应用于已有机器人的模块化上就会存在一定困难。考虑到自底向上^[5]的模块化设计方法以现有产品为基础,充分利用现有资源,从很大程度上节省设计开销,本文以现有特种机器人作为研究对象,采用自底向上的设计方法,分别对攻击、排爆、侦察三类

机器人进行了模块划分并比较,得到了机器人的共享模块和个性模块。同时,辅以 IDEF0 建模方法描述系统结构,建立模块间的相互关系,以便于设计任务下达时,利用已有模块进行装配,从而实现对需求的快速响应。过程中引入了用户定制思想,使用定制模块描述个性模块,建立个性模块与系统中其他模块之间的关系,以便于机器人系统的功能扩展与开发。

1 模块化设计方法

在不同的产品和过程中,存在大量相似的信息和活动,而这些相似性又有各种不同的形式。文献[6]对产品相似性进行了研究,将功能相似性定义为部件或产品功能之间的相似性。一个产品具有多个功能,各功能的组合即为产品的总功能。如果不同产品具有一个或多个相同的重要功能,那么这些产品就具有设计相似性——功能相似^[7,8]。

本文引入的自底向上的设计方法,在对一组功能相似产品进行功能结构分析的基础上,得出其共享功能结构,提炼出通用模块,从而为模块化产品的设计确定基础。该方法用非模块化产品归纳产品共性,提炼通用模块,是将非模块化产品模块化的有效途径。

该方法中涉及的术语有功能元、流、功能基、伪功能基。其中,功能是系统输入量和输出量之间的

^① 863 计划(2006AA04Z221)资助项目。

^② 女,1980 年生,博士生;研究方向:机器人技术;联系人, E-mail: xuanger1007@163.com
(收稿日期:2009-03-23)

关系,以动词加名词的形式表示^[9]。而这些输入量和输出量被称为流,通常分为能量流、物流和信息流。功能元是在功能分解过程中,分解到不可再分的最小功能。产品的总功能可分解成若干功能元,将系统的各个功能元用流有机地组合起来就得到功能结构。为简化功能结构分析,Stone 提出了功能基的概念^[10]。功能基是用归纳法生成的一种建立功能模型使用的通用设计语言,由功能集合和流集合组成。它也是保证功能分解过程和分解结果唯一且可以复现的必要条件。功能基为设计者提供了一个停止分解的标准,并且使用功能基建立功能模型,能够在同一功能级上比较不同的产品,进而分析产品的相似性。在分析复杂程度较高的机器人产品时,有些具有很高集成度的、软硬件结合的功能部件不需要像传统机械产品一样细化到功能基或功能元,可以作为一个整体应用于结构分析中,因此这里提出伪功能基的概念。在分析系统机构时对伪功能基的进一步细化是不必要的,这是因为:1)作为伪功能基的模块具有固定的功能,系统给出特定的输入即可得到特定的输出;2)由于伪功能基是高度集成的复杂机电产品,对其进行彻底的功能分解需要涉及多个学科的深层次的专业知识,耗费大量时间和精力。然而,这些工作作为整个系统的开发、整合并不能产生与之相符的影响,或没有什么影响。所以,将此类模块(或部件)表示为伪功能基,有助于简明清晰地表达系统功能结构,节约研究时间。

IDEF 是美国空军在结构化分析方法基础上提出的复杂系统建模方法,其中 IDEF0 方法用来描述系统的功能需求及各功能之间的联系,并记录完成功能的实现机制^[11]。IDEF0 使用图形化语言,符合抽象和模块化原则,利用模型来理解一个系统,比较适用于研究分析大而复杂的系统。本文引入 IDEF0 建模方法全面描述系统的功能活动和联系,通过建立各模块的功能模型及相互之间的联系来描述模块化机器人系统的体系结构。

2 模块化分析过程

模块化分析过程如下:

第1步:使用功能元、功能基、伪功能基和流建立已有产品的功能结构。

(1) 确定系统的总功能及输入、输出流。

(2) 将产品总功能逐级分解到功能基或伪功能基,建立功能树。

(3) 为每一个输入流建立功能链。

(4) 连接各功能链得到功能结构。

第2步:找出功能相似产品的共享功能结构。

通过比较获得的功能结构,将多次出现的相同部分作为共享功能结构的共享功能部分,个性部分体现为个性功能部分。建立功能相似产品的共享功能结构可以清楚地表示出多个产品在功能上的差异性和相似性,进而确定共享功能和个性功能。多个产品都使用的功能即为共享功能。反之,只属于特定产品的功能称为个性功能。

第3步:划分模块。

在功能结构的基础上应用 Stone 提出的模块启发法,实施三流原则对产品进行功能模块划分^[10]。主流原则所定义的模块是由一系列被主流联系起来的子功能构成。涉及范围从主流入口开始,到出口或切换点为止;支流原则所定义的模块根据由分支流确定的并行功能链来构成;转换/传输流原则所定义的模块由转换子功能、转换/传输功能组或转换/传输功能链形成。

对于功能相似产品,模块可以划分成共享功能模块和个性功能模块两种类型。由共享功能确定的模块为共享功能模块,个性功能确定的模块为个性功能模块。

第4步:描述模块化系统。

引入 IDEF0 建模方法描述系统中各模块的功能活动和联系。提炼出各共享功能模块后,采用逐层分解的结构化方法描述或建立系统模型的功能,通过结构化分析方法全面描述系统,在装备模块化系统中能起到理论支撑和方法指导的作用。通过 IDEF0 方法定义规划流程的功能结构树,明确流程中各模块的纵向联系,然后在每个层次上绘制功能活动关系图,以描述该层次上模块间的横向关系,最终建立模块化体系结构的规范化、可操作模型。

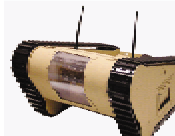
3 方法应用

本节选择具有代表性的攻击、排爆、侦察三类特种机器人进行模块化分析。列举的几例已有产品如表1所示。

采用自底向上法分别对三类特种机器人进行功能分解,划分功能结构,而后根据三幅功能结构图提炼共享模块及个性模块。根据 IDEF0 方法建立模块化机器人系统的功能模型图,并提出定制模块用于描述特定机器人的特定功能,建立其与其他模块之

间的关系图。

表 1 特种机器人举例

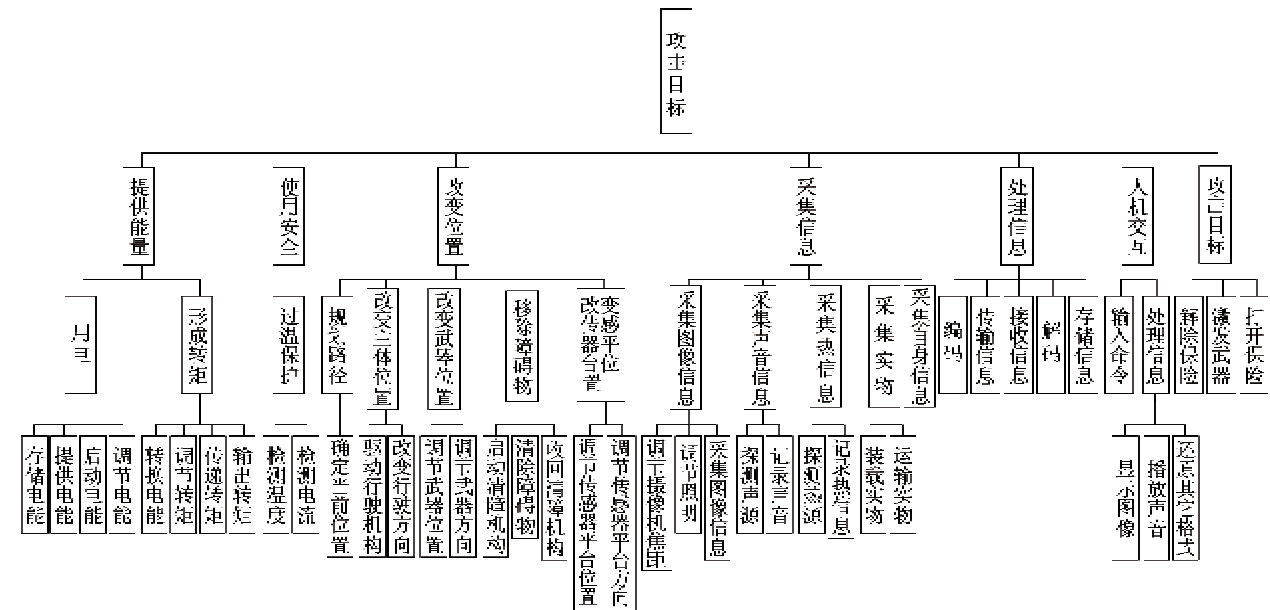
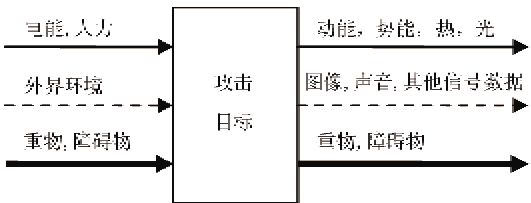
侦察机器人	排爆机器人	攻击机器人
		
Packbot(美国)	MK-III(英国)	SWORDS(美国)
		
Mati da(美国)	Defender(英国)	TALON(美国)
		
MARV(美国)	灵蛇-B(中国)	MAARS(美国)

具体步骤如下:

步骤 1 建立攻击、排爆、侦察机器人的功能结构。以攻击机器人为例,确定其总功能及输入、输出流(如图 1),其中粗实线表示物流,细实线表示能量流,虚线表示信息流,将产品功能逐级分解建立功能树(如图 2),建立攻击机器人的功能结构(限于篇幅,不再详细介绍建立功能结构的步骤),见图 3。

建立排爆、侦察机器人的功能结构,限于篇幅限制,这里仅给出对应的个性功能(图 4,图 5 所示)。

步骤 2 建立共享功能结构。综合以上三种产品的功能结构得到共享功能结构(如图 3),进而确定共享功能和个性功能。在图 3 中,虚线选定部分为共享功能,点划线框内为个性功能。



步骤 3 划分模块。用三流原则确定每个产品的模块,分别为提供能量模块、安全模块、能量转换模块、移动模块、传感器调节模块、视觉模块、定位模块、听觉模块、热成像模块、自身监控模块、信息处理模块、人机交互模块、载重模块和清障模块,如功能结构中的虚线部分所示(见图 3)。

步骤 4 描述模块化系统。结合 IDEF0 建模方法分析系统中各共享模块间的关系,并描述完整的模块化机器人体系结构。而后引入定制思想,建立定制模块,描述特定系统所需个性模块,并建立其与其他共享模块之间的关系。

建立特种机器人系统 A0 图(如图 4 所示),描述

各模块或模块组,其中活动框 6 即定制模块,对于不同设计任务可以替换为不同功能模块。细化父图中各元素的子图这里不进行详细描述。

4 结 论

本文应用自底向上的模块化设计方法,从功能角度出发对攻击、排爆、侦察三类特种机器人进行了

体系结构研究,实现了由非模块化机器人获得模块化机器人系统的设计过程,为模块化特种机器人系统的模块库构建提供了指导和依据。过程中应用 IDEF0 建模方法建立系统模型,诠释系统整体结构;引入定制理念,建立定制模块以用于不同产品中个性功能的描述,为模块化特种机器人系统后续开发奠定基础。

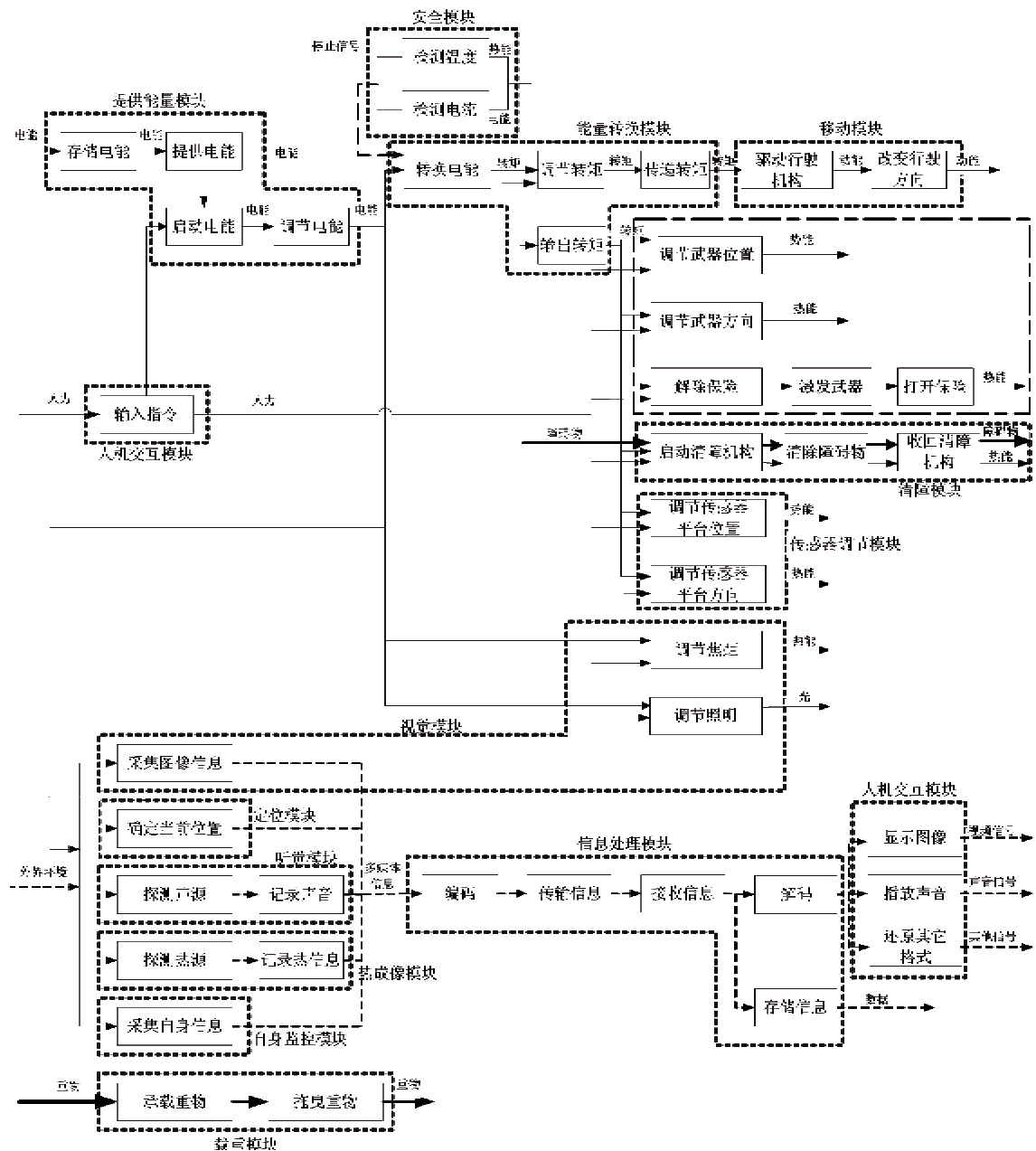


图 3 攻击机器人功能结构

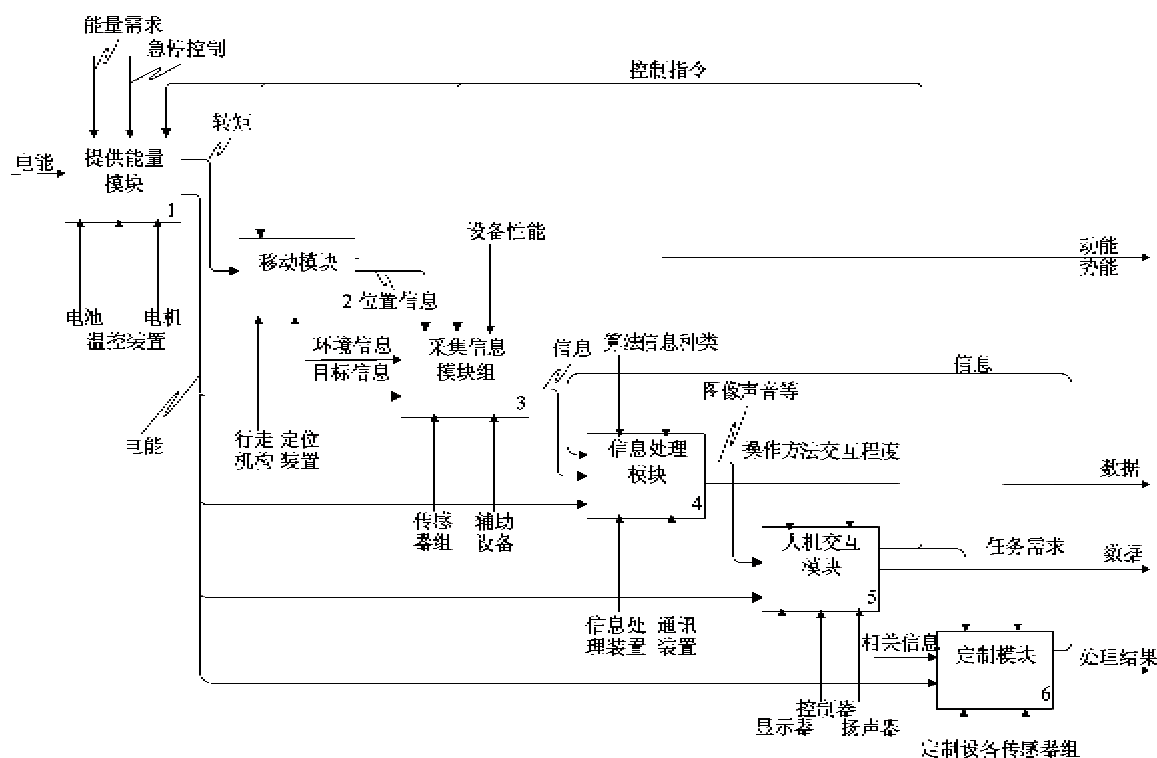


图4 机器人系统 A0 图

参考文献

- [1] Noah Shachtman. New Armed Robot Groomed for War. <http://blog.wired.com/defense/2007/10/tt-tt.html>: Wired.com, 2007
- [2] Brooks R, Angle C. PackBot: a Complete System Solution from the Innovators at iRobot. <http://packbot.com/products/default.asp?bx.com>, 2003
- [3] 梁建宏, 王田苗, 邹丹等. 便携式可重构履带机器人. 中国专利, 200510063049. 2005-4-5
- [4] 王明辉, 马书根, 李斌等. 可重构星球探测机器人控制系统的设计与实现. 机器人, 2005, 27(3): 273-277
- [5] Wang R Y, Storey V C, Firth C P. A framework for analysis of data quality research. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 1995, 7(4): 623-640
- [6] 祁国宁, 顾新建, 杨青海等. 大批量定制原理及关键技术研究. 计算机集成制造系统, 2003, 9(9): 776-783
- [7] McAdams D, Wood K. Quantitative measures for design by analogy. In: *Proceedings of ASME Design Engineering Technical Conferences*. Baltimore, MD, USA: ASME Press, 2000
- [8] 刘芳, 江屏, 张瑞红等. 基于自底向上法的功能相似产品平台设计. 计算机集成制造系统, 2005, 11(7): 947-952
- [9] Pahl G, Beitz W. *Engineering Design: a Systematic Approach*. London: Springer, 2001
- [10] Stone R B. *Towards a Theory of Modular Design: [Ph. D dissertation]*. Austin: University of Texas, 1997
- [11] 陈禹六. IDEF 建模分析和设计方法. 北京: 清华大学出版社, 1999

Research on modular design for special robots

Liu Xuan, Zhang Minglu, Liu Wei, Lv Xiaoling

(School of Mechanical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130)

Abstract

In order to get a modular robot system with a wider range of application in the field of attack or explosive disposal or scout, this paper proposes a design method for it based on the study of some special robots with the similar function using a bottom-up modular design approach. First, the function structure analysis is applied to an attack robot, an explosives disposal robot and a scout robot separately. Then the module heuristics is used to get the module division. After the module division, the three robots' sharing modules and personal modules can be figured out by comparing the module divisions, which provide the basis for establishment of a special robot module system. The idea of custom-made is introduced to describe the personal modules and establish the relationship between the personal modules and other modules, making efforts to function expansion and development of robot assembly systems.

Key words: special robots, modular, design method, bottom-up, custom-made