

文章编号: 1002-0446(1999)06-0421-05

多移动机器人合作系统中的单机 控制体系结构研究

赵忆文 谈大龙

(中国科学院沈阳自动化所机器人学开放研究实验室 110015)

摘要: 随着机器人技术的不断发展,出现了合作多移动机器人系统这一新的研究和应用领域,随之而来的是对机器人控制体系的新的要求.本文分析了合作多移动机器人系统对单机控制体系结构的要求,并以此为背景,在比较两种典型的智能机器人体系结构的基础上,提出一种混合分层的体系结构.

关键词: 合作多移动机器人系统; 体系结构

中图分类号: TP24 **文献标识码:** A

1 引言

随着机器人技术的不断发展,机器人的应用在许多领域得到了拓展,已经从传统的工业操作手拓展到更为复杂的应用中,在这些应用中,许多要求由多台机器人共同完成复杂任务(1)在军事应用领域,由移动机器人构成的侦察或作战小组,可在降低人员伤亡同时提高部队的作战能力^[8].(2)在发生意外事故的核反应堆等危险环境中,可利用多移动机器人清除危险物,进行排险及搜索作业.(3)在码头、仓库、车间利用移动机器人构成具有更高柔性的物料传输系统^[7].因此,对多机器人的研究也成为当今机器人学研究的一个热点^[2].Y. U ny^[1]将这些实际的应用中合作多移动机器人所面临的任务加以抽象,列出了一些代表性的任务.包括:(1)交通控制:指当多台移动机器人在一共同的的空间内工作时,如何相互避碰,也可视为是资源争用问题.(2)推箱子:由多个移动机器人合作推一个物体.(3)采蜜(foraging):由一群机器人将散落在各处的目标收集到指定点.

2 合作多移动机器人系统对单机控制体系结构的要求

2.1 环境的复杂动态特性

从多机器人的应用背景来看,在许多情况下机器人面对的是动态的非结构环境.在战场上,由于是开放的室外环境,不可能预先建立精确的世界模型,对方的运动更是未知的,造成环境的动态变化.在搜索及排险中,同样也是以非结构环境为主,即使在核电厂这种人造环境,由于事故的发生,环境被改变,因而已有的模型将不能反应现实的情况.在工厂、码头等环境中,虽然正常情况下是一种结构环境,而且机器人的运动是按一定固定路线运动,但考虑到在一个大系统中,意外情况的发生是不可避免的,从而导致环境的变化,通过提高机器人对环境变化的适应能力,可以提高整个劳动生产效率,也有利于提高系统的柔性.另外,不论哪一种应用,

都是有多台机器人在一个共同的空间内运动,对于任何一个机器人单体来说,其他机器人的运动及作业都将引起环境的动态改变.

2.2 任务的复杂与动态

在多移动机器人的应用中,机器人的运动一般都不能通过事先的示教编程实现,首先,环境是动态复杂的,而且移动机器人自身的运动精度较低,有一定的不可预测性及不可控性,这使机器人的运动大量依赖传感器的在线感知.其次,机器人间的合作是以相互间的信息交换为基础的,尽管交换渠道可能有所不同,有时是间接通过环境的变化或共同的作用对象,有时则直接通过机器人具有的通讯设备,但信息交换的存在使每个机器人个体不再是一个封闭的系统,而是一个开放系统.系统状态的变化要受到外界其它机器人的影响.由于其它机器人可能发出合作请求,机器人的任务可能随时变化,如果通过现有的机器人控制语言实现这种变化是困难的.

2.3 合作性的行为

多机器人系统中,机器人不仅有单机目的性的行为,更多的情况下,是在与其他机器人的交互中实现合作性的行为.多机器人的合作一般定义为,由设计者给定一任务,由多个机器人通过实现的协商机制来提高系统完成任务的效率.而协商必须通过交换信息来完成,这种信息的交换不应仅靠对环境的感知来传递,而应依靠主动的机器人间的通讯来实现.可见,多机器人系统对合作行为的要求,导致了机器人获得外部信息的多样性,不仅来自传感器,还来自于与其他机器人的通讯.

2.4 自主决策及监控能力的加强

由于系统规模的扩大,环境及任务较单机应用更为动态复杂,很自然的对机器人的自主决策能力提出了更高的要求.但与此同时,我们应该看到,在目前水平下,机器人还不具备完全自主的能力,在许多情况下还需要人的参与.另外,随系统的规模的扩大,系统出现故障的概率也将增大,这同样需要人对整个系统运行情况的实时监控.

综上所述,在一个合作多移动机器人系统中,系统的状态是由每个机器人的位置、速度、加速度等空间运动状态和决策状态决定的.机器人本身的决策状态决定了其获得外界信息后所做出的反应,可能的反应包括改变其空间运动状态、改变决策状态、通过合作协商机制影响其他个体的状态、或向上层监控传递某些信息,所有这些反应将导致整个系统的状态的变化.在这里我们将这种反应定义为机器人的行为,某一时刻

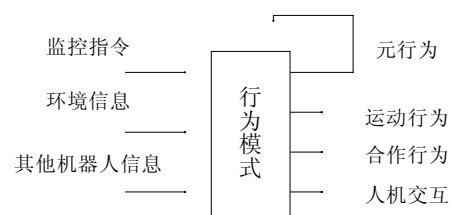


图1 多移动机器人系统中机器人的行为

机器人所处的决策状态也就是当前机器人响应外部信息的行为模式.机器人的行为包括,空间运动、合作协商、人机交互,及改变自身行为模式的行为,后者我们称之为元行为.在任何行为模式下,单台机器人的行为都是由三个方面的信息输入决定的:监控站的监控命令,传感器的感知,其它机器人的信息.这些信息一般都是动态发生的,机器人的行为不是固定的.同时,我们应该看到,机器人的行为模式也不是固定的,体现为在不同的系统状态下,对相同的信息输入有不同的行为响应.在执行某项任务时,应该允许要求机器人的控制系统有很强的信息获取和处理能力,并能根据这些信息实时决策,完成任务.

3 对现有智能机器人系统体系结构的分析

实际上,对于智能机器人的研究一直受到关注,为提高机器人的自主决策能力,许多学者从不同的角度提出不同的智能机器人系统体系结构,各种体系结构都有其自身的优点与不足^[3],本文只想以合作多移动机器人系统为背景讨论两种典型的体系结构的特点。

3.1 分层递阶

该类结构以 NBS 模型为代表,是以问题的分解,规划为基础的。每一层都有一个统一的问题表达方式,也可认为是该层的世界模型,往往上层模型比下层具有更高的抽象层次,处理更为复杂的问题。当某层收到上层下发的任务后,要根据本层的世界模型,将该任务表达为本层问题,将该问题分解为下一层可解决的子问题序列,并将其作为任务继续下发给下层。这样,一个总任务经层层分解,直到最底层,一般为执行机构的驱动层。从这一过程可以看出, NBS 任务分解与规划基本是离线的过程,其传感器的作用是为离线规划提供世界模型,这种模型是静态的,重新规划发生在上层下达新任务及下层报告某子任务无法完成时。而无论在何种情况下,所有已有的分解及规划结果都将被舍弃,而代之以新的规划结果。因此,我们只有两种途径处理动态环境的问题,一是建立可以表达这种动态环境的世界模型,这样就可以事先对环境的变化作出反应,做出合理的规划。但对动态环境建立有效的模型是很困难的,虽然对于某些问题可能有一些统计意义上的模型,但这对于建立在精确问题描述基础上的传统人工智能中的问题求解算法是不适用。因而,在高度动态环境中,只能通过传感器等信息来源感知环境的变化,在 NBS 中环境的变化导致某层任务的失败,该失败将被上报给上层,同时,环境的变化将被感知并引起世界模型的变化,上层或重新规划或将任务失败信息继续上报,直到某一合适的功能层重新规划为止。因此,任何环境的变化都有可能导致重新规划的发生,而且可能在多个层次上发生,如果这种重新规划的频率过高,将大大降低任务的完成效率,减弱机器人的反应能力。

基于问题求解的分层体系不利于人机交互与自主的共存。当我们试图改变机器人的运动时,必须选择在何层次上介入,通过修改该层的任务序列来干预或取代机器人的自主运动。这一过程对于下层来说是透明的,对其没有影响,但对于上层来说,问题就变得复杂了。其上层任务是否完成了呢?该任务序列是上层对自身任务的分解结果,并且用来判断该任务的完成情况,而且该分解是根据传感器信息及世界模型规划而得,当在人的干预下,机器人执行了其他运动,这种改变显然不是该层规划器所期望的。而且,问题在于机器人将不知道这种改变的起因,如果不采取特殊的方法,机器人会把人的干预指令作为一种干扰,并力图将其抑制掉,通过传感器的反馈,规划器将有一种重新规划以纠正错误的趋势。这种抑制作用在机器人具有很强的自主能力时会很强。显然,我们期望人的干预指令应能与机器人的自主性和谐共存,在某些情况下,例如,遥操作,由于传输延迟的存在,用人的指令无条件的改变机器人的自主规划结果是不合理的,甚至是危险的。但在分层体系中,任务分解规划是其结构的基础,这种自主与指令间的冲突是不可避免的。

3.2 基于行为

该类体系首先出现于 Brooks 的包容结构^[4,5]。基于行为的思想与其说是一种体系结构,还不如说是一种人工智能的方法论。它改变了那种传统的自上而下的基于层层分解的问题求解的方法,这种方法被广泛用于智能机器人的研究。基于行为采用自下而上的构造系统的方式,

系统的功能由一些基本的,简单的行为完成.机器人的在现实世界中表现出来的行为,往往是其许多目的性子行为的综合体现.机器人自身有许多相互独立的目的,每个目的由一个或几个行为实现,这些简单行为的组合形成事实上的复杂行为,提高在动态环境中的鲁棒性.例如,要求一台移动机器人在运动的同时,保持其摄像机对准某目标,这一复杂行为就可以分解为两个简单的目的性行为,其一是其中心的按轨迹运动,另一个就是其绕轴心的转动,以保持相机的朝向,这两种行为的并行执行就导致了机器人在其构型空间的复杂曲线运动.这是一种比较明显的行为分解,另一个例子就是对最常见的运动避碰功能的行为分解,对这种运动可以将其分解为向目标运动和实时避碰两个简单行为.

4 一种混合分层的体系结构

针对多机器人的应用背景,在分析了现有的机器人控制体系结构的基础上,我们综合分层递阶和基于行为两种结构的特点,提出了混合分层的体系结构.

首先,借鉴基于行为的体系结构的思想,我们将机器人的不同行为分为不同的软件模块来独立执行,各行为之间的交互构成一个网状结构,形成体系结构的核心行为层.在核心行为层之下,设计了行为综合层接受来运动行为模块的不同的期望运动,根据当前的行为模式进行综合,得到综合后真正的期望运动目标点.该目标点经运动学反解后作为伺服级期望输入,控制机器人的运动.

同时,考虑到在多机器人系统中的行为模式的多样性,在行为层之上增加监控与管理层,该层接受上级控制站的任务命令,监控任务的执行.根据当前任务和环境情况,调整行为模式,改变行为综合的策略.

基于行为的体系结构其核心是将机器人的所需功能划分成相互独立的且又较简单的行为,这些行为又以何种方式相互交互,如何组合,这也是其难点所在.这种划分对于不同的应用背景应有不同的原则.我们认为其一般的原则是,根据机器人与外界的交互通道为基准划分不同的行为.机器人与外界有两种基本的交互方式,接受信息和运动.所谓机器人控制器的功能从外界来看,就是通过各种渠道,包括传感器、通讯等,获取信息,包括环境信息和用户信息,然后对各种信息进行处理,作出决策,控制机器人的运动.当划分行为时应使单个行为只处理一个或多个相同表达方式的信息来源,因而,可以直接通过特定算法做出决策,这种决策可能直接影响运动,也可能影响其他行为的执行.

5 结论

本文分析了合作多移动机器人系统对单机控制体系结构的要求,包括,环境的复杂动态特性,任务的复杂与动态,合作性的行为,自主决策及监控能力的加强.随后在比较两种典型的智能机器人体系结构的基础上,提出一种混合分层的体系结构,该结构分三层,监控与管理层、行

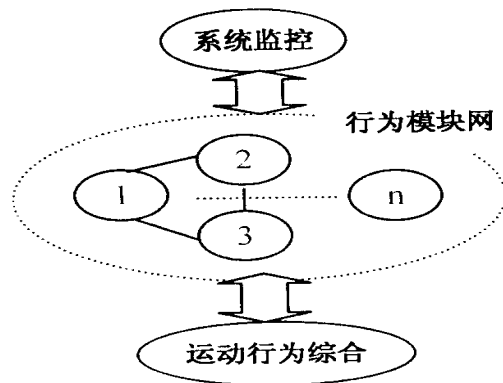


图 2 混合分层的体系结构

为层、行为综合层, 以适应多移动机器人系统的要求.

参 考 文 献

- 1 Uny Y Cao, Alex S. Fukunaga, Andrew B. Kahng and Frank Meng. Cooperative Mobile Robotics: Antecedents and Directions", in Proc. IROS'95
- 2 王越超, 谈大龙. 协作机器人学的研究现状与发展. 机器人, 1998, 20(1):
- 3 蒋新松. 机器人学导论. 辽宁科技出版社
- 4 Brooks R A. From earwigs to humans. Robotics and Autonomous System, 1997, 20: 291- 304
- 5 Brooks R A. A Robust Layered Control System For A Mobile Robo. IEEE Journal of Robotics and Automation, 1986, RA- 2(1)
- 6 Parker L E. ALLIANCE: An Architecture for Fault Tolerant Multirobot Cooperation. IEEE Transaction on Robotics and Automation, 1998, 14(2): 220- 240
- 7 Alam i R, Fleury S, Herrb M, Ingrand F, Robert F. Multi-robot Cooperation in the MARTHA project. IEEE Robotics & Automation Magazine, March 1998
- 8 Brooks T L. Supervisory Control of Multiple Vehicles. SPIE, 1988, 1007, Mobile Robots III

STUDY OF ROBOT ARCHITECTURE IN MULTIPLE MOBILE ROBOTS SYSTEM

ZHAO Yi-wen TAN Da-long

(Shenyang Institute of Automation, Robotics Laboratory, The Chinese Academy of Science 110015)

Abstract: The multiple mobile robots system is a new study and application field following the development of robotic technology. So there are many new requests to the control system architecture of mobile robot. In this paper, these new requests are analyzed. And a hybrid-layered architecture is gave after compare two typical intelligent robot architecture.

Keywords: Cooperative multiple mobile robots system; architecture

作者简介:

赵忆文 (1972-), 男, 博士生. 研究领域: 移动机器人控制及运动规划.

谈大龙 (1931-), 男, 研究员, 博士生导师. 研究领域: 机器人学.