

室内服务机器人导航方法研究

陆新华 张桂林

(华中科技大学图像识别与人工智能研究所智能控制实验室 武汉 430074)

摘 要: 本文对近年来室内服务机器人的导航研究进行了综述并给出了一些商业机器人的实例. 首先简单介绍了当前导航系统的特点、分类、工作原理等, 然后比较详细的介绍了一些相对较为成功的导航数据处理方法. 最后根据该领域内已经取得的成果以及进展情况预测了今后室内服务机器人的发展方向.

关键词: 导航; 机器人; 图像处理; 传感器; 融合

中图分类号: TP24 **文献标识码:** B

SUMMARIZATION ON INDOOR SERVICE ROBOT NAVIGATION

LU Xin-hua ZHANG Gui-lin

(Inst. for Pattern Recognition & AI, HUST, Wuhan 430074)

Abstract: In this paper, research in navigation of indoor service robots was summarized and some examples about the application of commerce service robots were given. Firstly feature, classification, theory, and other information on current navigation system was demonstrated. Secondly some comparatively successful methods on navigating data processing were described in detail. At last by summing up all sectors achieved in the indoor service robot navigation, the trends toward intelligent navigation of autonomous robot was predicted.

Keywords: navigation, robot, image processing, sensor, fusion

1 引言(Introduction)

近年来随着传感器等领域的技术进步, 智能机器人系统开始应用在服务行业中, 开辟了机器人自主服务的新领域. 以往服务机器人的研究和开发主要在大学和研究所中进行, 而如今越来越受到企业界和商业界的重视^[1]. 室内服务机器人的出现主要原因有: 一是人们想摆脱令人烦恼枯燥的重复性工作, 如家务劳动、照料病人等等; 二是电器设备成本的下降. 由服务机器人代替人完成家务劳动, 是一项有良好应用前景的高技术行业. 在机器人系统中, 自主导航是一项核心技术, 是机器人研究领域的重点和难点问题. 在导航过程中, 常常面临无法预先知道、不可预测或动态变化的环境. 移动机器人感知环境的手段通常是不完备的, 传感器给出的数据是不完全、不连续、不可靠的. 因此, 解决机器人自主导航是一项迫不及待但又十分艰巨的任务.

2 室内服务机器人的特点(Features of indoor service robots)

目前对服务机器人的初步定义为: 服务机器人是一种半自主或全自主工作的机器人, 它能完成有益于人类健康的服务工作, 但不包括从事生产的设备. 服务机器人往往是可以移动的, 在某些情况下, 服务机器人可以由一个移动平台构成, 在它上面装有一只或几只手臂, 其控制方式与工业机器人手臂的控制方式相同. 我们这里所指的室内服务机器人是在室内环境工作能够自主移动的智能机器人.

2.1 工作环境

室内服务机器人最常见的工作环境是结构化环境, 如办公室、超级市场、家庭居室等等. 这些场所的共同特征是平整的地板、垂直的墙壁、规范的门厅和走廊. 在这种环境中, 机器人可能和人类经常要发生互动作用. 家具可以挪动地方, 人也可以来回走动, 然而, 机器人必须设法使它自己穿梭于各种事物之

中. 同时, 在这种环境中, 机器人设计者可以通过假设有关环境的约束来平衡目前可以得到的环境感知技术的缺陷^[1].

2.2 导航的基本任务

(1) 基于环境理解的全局定位: 通过环境中景物的理解, 识别人为路标或具体的实物, 以完成对机器人的定位, 为路径规划提供素材.

(2) 目标识别和障碍物检测: 实时对室内地面上障碍物进行检测或对特定目标进行检测和识别, 提高控制系统的稳定性.

(3) 安全保护: 能对室内地面上出现的凹陷或移动物体等作出分析并避免对机器人造成的损伤.

2.3 基本特性

从使用上与工业机器人相比, 室内服务机器人一般体积较小, 灵活性高, 需要自备电源, 智能化程度更高. 特点如下^[2]:

(1) 可移动性

为了能在某一区域进行作业或者执行某项特殊的任务, 服务机器人一般都具有一定的行走功能. 服务机器人的运动可以通过行走机构(主要是轮子、或推进装置等)实现. 为了能运动自由, 服务机器人一般有多个控制轮且往往都配有自备能源.

(2) 轻便性

由于服务机器人功能较全、机构较多, 这就要求尽可能减轻其自重和体积, 以减少对能量的消耗和增加机动灵活性. 服务机器人的传动装置和控制装置也趋向轻型化, 并尽量减少中间传动机构以提高机械传动效率.

(3) 易操作性

服务机器人与人的关系十分密切, 有时人机之间还需进行合作与协调. 因此, 使用者和机器人之间的相互联系必须快捷、方便.

(4) 适应性

为了对执行作业的未知环境作出适应性反应, 如发现障碍物并自行回避等, 有些服务机器人具有学习、感觉和判断功能, 并广泛采用高性能的视觉、听觉、触觉等多种传感器, 使其具有感知能力和自主能力.

3 国外室内服务机器人发展现状(Current situation about foreign indoor service robots)

目前, 国外在室内智能服务机器人方面的研究很多, 而且已经开发出一些商业化产品, 如智能吸尘器. 在西方发达国家, 移动式自主服务机器人已广

泛应用于医疗福利服务、商场超市服务、家庭服务等领域.

DC06 型自主式真空吸尘器是英国 Dyson 公司生产的第六代产品, 在导航和行进路径控制上, 采用了螺旋形清扫路径, 记忆清扫过的位置, 自动确定前进方向, 提高单位电池能量的清扫面积, 具备自动避障和非正常情况的智能决策能力. DC06 是从墙上开始工作的, 然后向房间中央以一种螺旋型方式清洁室内的房间, 这样可以避免撞上障碍物, 当它走到楼梯的尽头时, 甚至会停下来的, 防止其从楼梯上摔下来. 若发现旁边有小猫、小狗或小孩, 会立即停止工作. 它由三台微型电脑和许多传感器构成, 运用了最先进的微处理器控制的 SR 驱动电机. 内有 3 台电脑接收由 50 个光、红外线和超声波传感器传送的信息, 每秒钟接收 16 次. 该吸尘机器人靠蓄电池工作. 在蓄电池里的电快要耗尽时, 它会自动走向立在墙角的充电处, 自己充电. 类似产品还有由瑞典 Electrolux 开发的全自动智能吸尘器, 日本松下电器公司的电气化住宅设备研究所试制成功了自走式电池吸尘器.

由美国运输研究会(TRC)研制的 HelpMate 是一个自主式运送系统. 1993 年推出其商业化的产品, 主要工作在医院, 担任送饭、传递医疗记录、诊断样品和其他物品. 其目的是通过机器人的服务来使护士和其他医务人员能有更多的时间照看病人. HelpMate 导航系统是基于建筑物的 AutoCAD 地图模型识别法和测距法相结合的传感器融合系统, 它比仅由观察天花板的氖灯和机器人旁边的墙来定位的系统, 具有更高的准确性. 该机器人也能在无线调制解调器的帮助下开门和乘电梯.

美国匹兹堡市的美国 Probotics 公司 1999 年生产的 Cye 小型家用移动式服务机器人. 它可牵引一辆小型拖车在室内运送饮料、信件等生活用品, 或牵引吸尘器进行室内清扫工作. Cye 采用双轮差动驱动方式, 环境信息的获取采用地图输入方式, 可跟踪声音信号, 任务完成后能自动返回总站待命. 它的外形像一个安装有两个轮子的畚箕, 由个人电脑通过无线联接方式对其进行控制, 操纵信号从一个插在个人电脑串行端口、内含信号发射器的小盒子发出. 在 Cye 开始工作之前, 它必须绘制出周围的环境. 用户使用电脑鼠标指挥它来到关键性的标志处, 如门口和角落等, 然后它就可以开始从事自己的工作. Cye 还可以通过探测轮子的阻力来了解周围的环境, 能通过计算每一个轮子转动的次数来得出自己移动

的具体情况.当然,Cye 也有许多缺点,如无法处理好吸尘器缠绕在一起的电线等,而且,工作时发出的噪声也相当大. Probotics 公司目前正在和卡耐基·梅隆大学的机器人技术研究院进行合作,让 Cye 的自动化能力更强,并能够用声音直接进行控制.

荷兰的一些零售连锁超级市场已经开始使用一种机器人来清洁地板,播放音乐并向购物者传递商品销售信息.这种机器人名叫“Schrobbie”,由德国的西门子电子公司和荷兰的清洁设备制造商 RTB 公司联合开发,它可以在营业时间以智能方式在超市内移动,一边走一边擦洗地板. Schrobbie 装备了特殊的导航系统,可以躲开障碍物,一旦遇到顾客,会礼貌地请顾客避让. 机器人 Schrobbie 十分灵敏,它会识别墙角和货架的准确位置,既不碰撞,也不会遗漏需要清扫的地面. 该机器人的心脏是来自西门子的智能导航系统 Sinas, Sinas 的特别之处在于她不需要安装附加的导航辅助设备(如反射镜),能独立地使去自己适应周围环境. 为了获取周围的环境知识,机器人首先要有一个环境学习过程,其间通过利用内嵌激光扫描仪的眼来创建一幅基于陆标的地图. 她将该地图存储在自己的内存中,以后地图和其他可用的来自激光扫描仪、超声、陀螺仪(一种特殊罗盘)等传感器数据来实现导航. 她能识别和避开障碍物,灵巧的通过狭小的过道,紧贴着墙壁和架子的边缘移动,当她陷入死区时能自动发觉并退出.

还有很多实例,如由日本机械技术研究所(MEL)开发的“MELKONG”护理机器人, Cybermotion 公司的最新产品——被称为 CyberGuard 的哨兵机器人.

4 室内服务机器人的导航问题(Navigation problems of indoor service robots)

4.1 导航方式分类

室内机器人有多种导航方式. 根据环境信息的完整程度、导航指示信号类型等因素的不同,可以分为 3 大类:基于地图的导航、基于创建地图的导航、无地图的导航^[3].

基于地图的导航是完全依靠在机器人内部保存的由用户创建的关于环境的几何模型或拓扑地图等完整信息,并在预先规划出的一条全局路线的基础上,采用路径跟踪和避障技术,实现机器人导航.

基于创建地图的导航是利用传感器(如,里程仪、声纳、激光测距仪、视觉传感器等)来创建关于当前环境的几何或拓扑模型地图,然后利用这些模型

来实现导航.

无地图的导航是在环境信息完全未知的情况下,可通过摄像机或其他传感器(如超声、激光测距传感器)对周围环境进行探测,利用对探测的物体进行识别或跟踪来实现机器人导航.

当机器人对周围环境并不完全了解时,则可采用基于陆标的导航策略,也就是将环境中具有明显特征的景物存储在机器人内部,机器人通过对陆标的探测来确定自己的位置,并将全局路线分解成陆标与陆标之间的片段,再通过一连串的陆标探测和陆标制导来完成导航任务^[4]. 实际上在相对规整的环境中,还可以在路面或路边画出一条明显的路径标志线,机器人在行走的过程中利用传感器不断的对标志线进行探测并调整行进路线与标志线的偏差,当遇到障碍时或是停下等待或是绕开障碍,避障后再根据标志线的指引回到原来的路线上去,最终在标志线的指引下到达指定的目的地.

4.2 导航系统分类

根据导航采用的硬件的不同,可将目前导航系统大致分为两大类:视觉导航系统和非视觉传感器组合导航. 根据已取得的移动机器人智能导航的研究成果,我们觉得视觉导航和其他传感器融合将是移动机器人智能导航的主要发展方向. 视觉传感器,以面为单位进行获取信息;非视觉传感器,主要以点或线来获取信息. 机器人普遍采用先搜集环境信息后进行路径规划与实时避障方法相结合的方式作业.

4.2.1 视觉导航系统

视觉系统在导航研究中主要起到环境(障碍和陆标)探测和辨识(陆标的识别)的作用. 这里,障碍物被定义为高出或低于“地面”的物体. 视觉导航的优点在于具有很高的空间和灰度分辨率,其探测的范围广、精度高,能够获取场景中绝大部分信息. 缺点是难以从背景中分离出要探测的目标. 为了将障碍与背景分开,所需的图像计算量很大,导致系统的实时性能较差,可采用一些特殊图像处理算法和并行处理技术. 为了能够正确的计算障碍物信息,可能需要在系统实际工作前进行摄像机定标,以便确定一些参数.

目前视觉导航信息处理的内容包括以下几个方面:视觉信息的压缩和滤波、路面检测和障碍物检测、环境特定标志的识别、三维信息感知与处理. 其中,路面、障碍物检测和识别是视觉信息处理中最重要的、最困难的过程. 视觉信息的获取是局部路径规划

和导航的基础,路面障碍物检测的成功与否决定了机器人能否正确识别当前的地面环境,能否正确作出局部路径规划并执行路径跟踪^[5]。对于室内机器人,其检测技术一般都以边缘检测为基础,辅以 Hough 变换、模式匹配等,并利用最小二乘法处理对应于路面边界的线条,得出路面的几何描述。采用 Hough 变换从图像中提取墙壁等直线信息,然后通过多个墙壁的距离来实现自身的定位^[4]。障碍物检测原理与路面检测原理差不多,但其重点是对障碍物位置和大小的描述。使用 Hough 变换从图像中提取直线形式的路面边界,并通过对比探测到的路面信息与机器人内部存储的地图,修正偏差,实现导航,这种方法可以提高导航的鲁棒性。

在三维信息感知与处理方面,现有方法大都通过各种手段获得环境的三维信息,进而判断路面上障碍物的情况。三维信息的获取一般有两类方法:一类是通过测距系统,如激光测距仪,直接获取,这种方法的装置价格昂贵。另一类方法是模拟人类视觉系统,利用两个(或多个)摄像机或运动图像序列来恢复三维信息,还有学者用基于全方位时空图像的多尺度视觉导航方法,采用不同时空尺度的视觉传感器和处理方法,将空域大尺度的全方位“环视”,小尺度的双目“注视”和时域大尺度的时空“远视”相结合,综合完成道路图像的理解^[6,7]。

对机器人内部的目标图形库采用树型存储,可以提高探测到的二维图像与目标的匹配速度;由于仅通过单幅图像信息来判断障碍物的距离和速度是很不准确的,因此在实际应用中,可使用多个摄像机,或是利用一个摄像机的多幅连续图像序列来计算目标的距离和速度,还可采用 SSD 算法,根据一个摄像机的连续画面来计算机器人与目标的相对位移,并用自适应滤波对测量数据进行处理,以减小环境的不稳定性造成的测量误差。为了避免大量的图形运算,可用多种传感器来辅助完成测距工作^[4]。

4.2.2 非视觉传感器组合导航

为了让机器人正常工作,必须对机器人的位置、姿态、速度和系统内部状态等进行监控,还要感知机器人所处的工作环境的静态和动态信息,使得机器人相应的工作顺序和操作内容能自然地适应工作环境的变化。有效地获取内部和外部信息,对移动式服务机器人的正常工作、提高工作效率、节省能源和防止意外事故都是非常重要的。

传感器的选择在很大程度上影响了机器人的导航质量。传感器主要用来探测环境,其种类很多,如

探针式、电容式、电感式、力学传感器、雷达传感器、光电传感器等。但针对测距和障碍探测的特殊要求,目前采用最多的导航传感器仍是红外线和超声波传感器。

超声传感器,是目前应用较广泛的测距手段,具有信息特性直接、处理简单、价格低廉等优点。但是,超声传感器的探测波束角度过大,方向性差,空间分辨率很低,单一传感器的稳定性不理想等,只能提供场景中尺度较大的物体区间距离,不能描述目标图像边缘和形状细节信息。在实际应用中,往往采用其他传感器来补偿,或采用多传感器融合技术。

又如,非成像的红外或激光传感器的情况与超声波传感器相仿属于发射/接收工作状态的传感器。它们一般由一个发射源发射红外或激光波束,用若干个光检测器接收反射光能量,比较分析各自接收光能量的差异,可以得到物体的距离信息。红外探测可昼夜工作,由于其探测视角小,方向性强一些,测量精度也有所提高,但受环境如物体的表面特性影响较大。对红外探测数据进行 EKF 滤波后用于定位是一个可行的方法。

又如,微波雷达。微波雷达是另一种主动方式工作的测距传感器,过测定量波的多普勒频移和波的传播时间就能得到障碍物的有关信息。微波雷达可以全天候工作,波长较短,有较高的探测灵敏度,但对于紧贴地面工作的设备,地杂波干扰将严重影响它的应用。

由于现有传感器普遍存在着有效探测范围小、数据可靠性低等缺点,在实际应用中往往使用多种传感器共同工作,并采用传感器融合技术对检测数据进行分析、综合和平衡,利用数据间的冗余和互补特性进行容错处理,以求得到所需要的环境特性^[4]。

传感器之间的冗余数据增强了系统的可靠性,传感器之间的互补数据扩展了单个的性能。多传感器融合系统具有以下优点:①提高系统的可靠性和鲁棒性;②扩展时间上和空间上的观测范围;③增强数据的可信程度;④增强系统的分辨能力^[8]。

4.3 机器人的定位

在自主移动机器人导航中,无论是局部实时避障还是全局规划,都需要精确知道机器人(或障碍物)的当前状态,这就是机器人的定位问题。通过定位传感器感知周围的景物,以确定与周围景物的相对位置,计算自身在参考坐标系中的绝对位置和方法,从而可以实时地去顶自己的运送状态和相对位置,并完成导航、避障及路径规划等任务。比较成熟

的定位系统和定位传感器装置可以分为两类:被动式传感器系统和主动式传感器系统。

被动式传感器系统,通过码盘、加速度传感器、陀螺仪、多普勒速度传感器等传感器感知机器人自身运动状态,经过累积计算得到定位信息。优点是成本较低、可靠性较高、原理简单、容易实现、对外部环境无特殊要求,可在一段时间内获得较高定位精度;缺点是由于数据需要推算容易引入误差,往往会随时间不断累积,最终导致测量结果失效。如:推算航行法(dead reckoning),即依靠对轮子转动信息进行积分得到当前位姿。所以,此类方法难以独立应用。

主动式传感器系统,通过包括超声传感器、红外传感器、激光测距仪以及视频摄像机等主动式传感器感知机器人外部环境(或人为设置的路标),与系统预先设定的模型进行匹配,从而得到当前机器人与环境(或路标)的相对位置,从而获得定位信息。该方法灵活,但计算量很大,一般需要改造外部环境或建立较精确的环境模型,系统一般也较复杂。路标识别是常用方法之一。基于环境模型的目标匹配主要针对环境变化或目标模式已知的情况,不需要改变环境特征使自动化程度大大提高,但是匹配速度可能影响了实时性能。融合多传感器的信息用于机器人定位将是一个很有前途的方向。将两类方法相结合,以求得到精度较高、实时性较强的移动机器人定位信息,是全面解决移动机器人定位问题的最终途径^[9]。

目前视觉定位方法主要有:精确(或全局)定位、增量定位、路标跟踪定位。关于这些定位方法的文献也是相当多的。

另外,还可利用彩色图像对移动机器人进行定位,利用颜色空间转换使颜色成为图像的唯一特征,简化了图像的特征抽取,这样可以大大提高了图像的处理速度和特征抽取的鲁棒性^[10]。基于红外主动路标的全方位移动机器人全局定位方法,采用光学视觉原理,通过 CCD 摄像机,经半球形反光球面,获得全方位景物的影像,采用路标方位角定位方法,计算出机器人在相对坐标系中的坐标^[11]。

4.4 导航数据处理

通过一个或多个传感器获得数据,或多或少,都需要采用合适的方法处理。下面是一些常见的处理方法,在实际应用上往往是相互渗透的。

4.4.1 图像处理与重建

这里主要是指从视觉传感器中获得的一幅或多幅二维图像,然后处理。主要算法有:边缘提取(如,

高阶相关 HOC 抽取^[12,13]、图像分割、细化^[14,15]等。在图像中查找具有一定特征的目标(如直线),可以采用匹配等方法,如改进的互相关测度、光带分布中心^[16]等。

这里介绍一下最常用的直线目标提取方法——Hough 变换。Hough 变换在对参数空间进行检测时,需对所有点进行计算,当图像分辨率较高时,计算工作量大,检测效率低。为此,可采用图像边缘提取时的中间计算结果,提高计算效率。首先,检测时仅对二值图像中的可能边缘点进行计算,而边缘数据量比原来整幅图像的数据量大大减小,另外,利用在边缘提取时已求得的边缘方向,代入参数方程中测不必在整个转角范围内进行计算,而只计算点的可能方向,从而,又可大大节省计算量,提高计算效率。实际应用时,由于噪声及周围环境的影响,原本属于同一条直线上的点,可能检测出来以后并不是在同一条直线上,或不在宽度等于一个像素的直线上,这时,需对属于同一直线的点进行合并或类聚,从而得到真正属于该线上的点^[17]。

在三维信息处理上,基于传统立体视觉三维重构的障碍物检测方法,一般采用立体匹配求视差的原理。由于速度较慢,限制了其在实际系统中的应用。环境物体具有复杂的形状,地面由于阴影等因素的影响会有较多的纹理。此时立体对应变得困难和复杂,影响了系统的实时性和可靠性。近年来有不少采用图像重投影变换的思想简化立体匹配和反透视映射及类似技术进行室内近距离双摄像机地面障碍物的检测工作^[7]。

4.4.2 数据融合技术

数据融合技术主要用来处理由多个传感器得到的数据。所谓多传感器融合,是指将多个传感器采集的信息进行合成,形成对环境某一特征的综合描述的一种方法。使用这种方法,可使探测到的环境信息具有冗余性、互补性、实时性和低成本的特点,同时还可以避免摄像机系统中巨大的数据处理量。成熟的多传感器信息融合方法主要有:经典推理法(加权平均法)、卡尔曼滤波法、贝叶斯估计法、统计决策理论方法、Dempster-Shafer 证据推理法、聚类分析法、参数模板法、产生式规则法、物理模型法、熵法、品质因数法、估计理论法和专家系统法等。近年来,用于多传感器数据融合的计算智能方法主要包括:模糊集合理论、神经网络、粗集理论、小波分析理论和支持向量机等^[8,18]。

4.4.3 增强的卡尔曼滤波器

由于单纯依靠卡尔曼滤波实现导航存在很多问题,于是研究者们提出不少整合的方法。如:扩展卡尔曼滤波器-阈值综合法,把扩展卡尔曼滤波器与阈值技术结合起来,成功地确定了当环境中没有未知物体的情况下移动机器人的位置,纠错能力很强^[19]。

又如,联合卡尔曼滤波器进行信息融合,通过局部滤波器中的信息分配方法,对滤波器进行改进,从而保证了整体状态估计的最优性,克服了集中化卡尔曼滤波器,阶次太高,计算量太大系统没有容错能力的问题,以及分散卡尔曼滤波方法要求局部状态估计不相关的局限性^[20]。

4.4.4 人工智能与神经网络

在自主移动机器人采用传感器避障的情况下,系统要解决机器人躲避实时动态障碍碰撞问题。由于系统是一个实时系统,因此,既要求对所有的移动目标进行动态分析,并根据动态的碰撞态势,及时给出总控制器 PC 机一个或多个避障方案,同时要求保证避障行动前后的一致性与连贯性,在依次避让障碍后,系统及时给出复航的提示。我们采用遗传算法或建立避障专家系统。

如果将避障专家系统与导航系统合并,可构成一个自主移动机器人智能避障系统。机器人能理解形式与事件,在上述理解的基础上自主做出决策,并根据决策自主完成避障运动。大致过程:首先,接受 PC 机发来的碰撞情况信息,确定碰撞优先级,决定主目标。然后,对机器人进行避障推理及碰撞情况分析部分完成机器人碰撞局面的分析、判断,每一障碍的运动参数、计算和危险度的分析计算以及机器人避让多目标的选取;推理部分以避障规则库为基础,根据碰撞情况分析的结果,建立动态事实库,由推理机给出当前碰撞局面应采取的避障方案;方案优化部分根据不同的约束条件,判断当前的方案是否可行。方案执行后,系统将在下一个运动关系下进行新的碰撞情况分析和推理^[21]。

神经网络是人工智能的一个重要分支。由于神经网络是一个高度并行的分布式系统,所以可用来完成对视觉系统探测到的图像进行快速处理,充分利用其非线性处理能力达到环境及陆标辨识的目的。它还具有一定的容错能力,并且对学习过程中未遇到的情况,也能进行一定的处理。另外,基于环境拓扑结构组织的网络,在给出目标后,可以通过网络能量函数的收敛得到一条最优路径^[4]。

神经网络在导航中的应用还在于对避障、阴影

消除^[18]、路径规划、导航数据处理方面^[22]。由于避障和路径规划工作没有明显的规则和难以进行事件分类,可以让神经网络通过大量的实例学习来掌握。广义 BP 神经网络进行组合导航定位数据的非线性滤波方法具有以下特点:实时数据处理可并行计算,速度快,对组合导航系统模型结构及其统计特性无要求。基于 CMAC 神经网络的多步 Q 再励学习算法可以实现机器人的避障或目标导航行为。Hopfield 神经网络比较适合用于解决全局路径规划问题。但是神经网络样本集的完整性研究尚未取得突破。

4.4.5 模糊逻辑

采用模糊逻辑,能够分离图像中的边界像素,获取物体轮廓。模糊推理在导航中的应用,主要在于基于行为的导航。传感器数据用模糊逻辑进行融合后,可以确定是否激发低层行为,然后再利用模糊推理对存在冲突的低层行为进行优先权判别,从而决定实际操作,并且有研究者已经实现了图像边缘提取、实时滚动路径规划及控制^[23]。

模糊逻辑推理则侧重于模糊规则的选取,但有些规则很难形式化描述,或者必须用大量的规则描述而增大运算量,这样就背离了模糊逻辑应用的初衷。因此近年来将神经网络与模糊逻辑结合起来的模糊神经网络应用到自主导航研究中就成了机器人研究的热门课题。模糊神经网络提供了一种推理方法,能够把模糊理论所具有的较强的推理能力与神经网络所具有的自学习、自适应、容错性和并行性相结合。模糊神经网络所遇到的困难在于,一个复杂的系统往往需要大量的模糊语言规则描述,从而造成模糊神经网络的复杂性较大。如何在有限的时间内进行有效规则的提取是一个非常重要的问题。

4.4.6 势场法与栅格法

势场法由于它的简单性和优美性被广泛用于机器人和操纵器的避障。1989 年 J. Borenstein 曾采用 Grids 表示环境,用势场法决策出 VFF 算法。1991 年 Y. Koren 和 J. Borenstein 在 IEEE 会议上通过数学分析和 VFF 算法实验指出,势场法的存在的 4 个固有缺陷:(1)存在由于局部最小导致的陷阱区域;(2)在两邻近的障碍物之间不能发现路径;(3)在障碍物出现时会震荡,导致移动不稳定,这是最大的局限性;(4)在狭窄通道中会摆动。针对势场法的缺陷,国内外的许多专家学者,通过寻找新的途径,例如结合栅型声纳测试,建立新类型的势场函数,为距离转换路径发现算法,可以解决传统势场法中存在的部分问题。之后,他们就放弃势场法转而提出新的快速避

障方法,称为 VFH,即栅格法,可以平滑不震荡和摆动的移动而且改动 VFF 算法中的采用时间和硬件^[24].

但是栅格法存在着环境分辨率与环境信息存储量大的矛盾,因此,在实用上受到一定的限制,不能满足实时性的要求.采用一定的环境信息优化策略,删除移动机器人后面一定距离的信息.从环境坐标系取出一栅路,当此栅路落后于车体的距离大于一定值时,则从环境坐标系中删除此栅路,由此可减少处理时间^[19].

5 服务机器人的导航发展前景 (Prospect of indoor service robots)

随着计算机技术、人工智能技术和传感技术的迅速发展以及导航算法的不断改进和新算法的提出,移动服务机器人导航技术已经取得了很大的进展.但是对于应用比较复杂或通用性较高的导航方法还没有取得重大的突破.

根据服务机器人的工作环境和执行任务可以采用不同的导航方法.室内移动服务机器人自主执行任务时,应以最大的人员安全性及功能可靠性为条件,实现机器人室内行进过程中的障碍物(包括整体性和局部障碍物)自动检测、规避,并作出动作决策,能够按照规则自动完成指定的任务,如遍历工作空间等.

使用传感器探测环境、分析信号,根据精度需要通过适当的建模方式来理解环境.由于单个非视觉传感器获取信息比较少,可以采用多个或多种传感器来获取环境信息,再采用合理的算法从中分离出有用的信息.过去几十年里,机器视觉的进展非常缓慢.一是由视觉问题本身的复杂性,难以很好描述视觉过程;二是传统的计算手段的束缚.近几年硬件设备的飞速发展,使得当前机器人视觉导航的研究非常活跃.视觉传感器获取的信息量大,而且视觉导航比较接近人的导航机理.在基于视觉信息的自主式移动机器人导航控制研究中,遇到的主要问题是算法的复杂性与实时性的矛盾.复杂的真实世界要求视觉系统准确地提取出导航必需的环境特征(如路标),算法的鲁棒性常常由于环境噪声的影响和难以分离目标与背景而被削弱.为了提高系统的实时性和减小系统的复杂性,可以采用视觉传感器与非视觉传感器进行融合的方法.但是传统的视觉导航单纯依靠图象使得数据处理非常困难,因此应该在保留以前快速处理算法的基础上增加其他信息

获取的辅助手段.

服务机器人要能准备完成任务多数时候需要一定精度的定位.为了得到精度较高、实时性较强的移动机器人定位信息,可以采用绝对定位与相对定位相结合、主动路标匹配定位和自动模型识别定位相结合的方法.

导航数据处理根据使用传感器的不同,处理的方法有所不同.通用的方法有数据融合技术、人工智能、神经网络、模糊逻辑、势场法与栅格法、增强的卡尔曼滤波器等.事实上这些方法在单独使用时很难有比较好的效果,往往一个系统的几个部分中都使用了一种或多种数据处理方法.融合多个学科的知识来规划导航系统、处理导航数据,制定一个结构简单、实时性好、性能可靠的导航方案是今后的一个发展方向.

参考文献 (References)

- [1] 李开生等. 国外服务机器人的发展动态和前景. 制造业自动化, 2000, 22(6)
- [2] 马骏骑. 服务机器人. 昆明理工大学学报, 1997, 22(3)
- [3] Desouza G N, Kak A C. Vision for Mobile Robot Navigation: A Survey, Pattern Analysis and Machine Intelligence. IEEE Transactions on, 2002, 24(2): 237-267
- [4] 冯建农等. 自主移动机器人智能导航研究进展. 机器人, 1997, 19(6)
- [5] 欧青立. 室外智能移动机器人的发展及其关键技术研究. 2000, 22(6)
- [6] 朱志刚等. 多尺度全覆盖视觉导航方法. 机器人, 1998, 20(4)
- [7] 朱志刚. 全视野时空视觉导航. 高等教育出版社, 2001年12月
- [8] 王耀南. 多传感器信息融合及其应用综述. 控制与决策, 2001, 16(5)
- [9] 仲欣等. 基于多传感器信息融合的斜面移动机器人定位新方法. 机器人, 1999, 21(5)
- [10] 吴卫国等. 基于彩色图像的移动机器人定位. 机器人, 1999, 21(5)
- [11] 孟凯等. 基于主动路标的全方位移动机器人定位系统. 沈阳工业大学学报, 2000, 22(2)
- [12] Liou R-J, Azimi-Sadjadi M R. Dim target detection using high order correlation method Aerospace and Electronic Systems. IEEE Transactions on, 1993, 29(3): 841-856
- [13] Kameyama K, Sakamoto M, etc. Robot vision system using high order correlation analysis Higher-Order Statistics, 1993. IEEE Signal Processing Workshop on, 1993: 86-90
- [14] 胡汉平, 李德华等. 基于知识的细化与补断算法. 华中理工大学学报, 2000, 28(12)
- [15] 杨承磊, 孟祥旭. 一种新的快速细化算法的设计与实现. 工程图学学报, 1998, (3)
- [16] 周会成, 陈吉红等. 用激光线光源实现快速测量. 计量技术, 1998, (7)

[17]王丰元,周一鸣,孙壮志.车辆引导路线检测的计算机视觉技术初探.农业机械学报,1998,29(1)

[18]朱晓芸等.神经网络的多传感器数据融合基于新算法在障碍物识别中的应用.机器人,1997年5月

[19]李贻斌,李彩虹等.移动机器人导航技术.山东矿业学院学报(自然科学版),1999,18(3)

[20]房建成,万德钧.多传感器系统的信息融合及容错技术研究.工业仪表与自动化装置,1996,(6)

[21]李智军,吕恬生.机器人动态避障实时专家系统的研究.机械科学与技术,2000,19(4)

[22]曾连芬.基于人工神经网络的导航数据处理方法研究.上海海运学院学报,1999,20(3)

[23]崔茂源,田彦涛,赵中祺.基于模糊逻辑的自主移动机器人实时滚动路径规划及控制.吉林工业大学自然科学学报,1999,29(93)

[24]Y Koren, J Borenstein. Potential Field Methods and Their Inherent Limitations for Mobile Robot Navigation. Proceedings of the IEEE Conference on Robotics and Automation, Sacramento, California, April 7-12, 1991: 1398-1404

[25]王炎,周大威.移动式服务机器人的发展现状及我们的研究.电气传动,2000年第4期

作者简介：

陆新华 (1977-),男,硕士生.研究领域:机器人视觉导航,数字图像处理与算法等.

张桂林 (1944-),男,教授.研究领域:电视跟踪系统,ATR算法性能评估,机器人导航等.

告广大作者、读者

尊敬的作者、读者：

我部自开通电子信箱投稿以来,极大地方便了广大作者、读者.现在网上投稿日益增多,造成信件大量堆积.一方面由于编辑部条件有限;另外,有的电子邮件带病毒,使网络经常出现故障,严重地影响了编辑部的正常工作.鉴于上述原因,今后我部决定不再接收电子信箱投稿,作者、读者投稿一律通过邮局寄往我部.经审查,编辑部决定录用的稿件可以通过电子信箱发来.

望广大作者、读者周知.

《机器人》、《信息与控制》编辑部

2002.4.10