

文章编号: 1002-0446(2002)05-0475-06

移动机器人技术研究现状与未来*

李磊 叶涛 谭民 陈细军

(中国科学院自动化研究所 复杂系统与智能科学试验室 北京 100080)

摘要: 本文综述了智能移动机器人技术的历史、研究现状及未来展望. 对移动机器人的导航和定位、多传感器融合等技术进行了较为详细的分析, 指出了优点与不足. 同时对仿生机器人、多机器人系统与机器人足球等移动机器人技术, 做了进一步的分析.

关键词: 导航与定位; 路径规划; 多传感器融合; 多机器人系统与机器人足球

中图分类号: TP24 **文献标识码:** B

PRESENT STATE AND FUTURE DEVELOPMENT OF MOBILE ROBOT TECHNOLOGY RESEARCH

LI Lei YE Tao TAN Min CHEN Xi-jun

(Lab. for Complex System and Intelligence Science, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100080)

Abstract: In this paper, the history, present situation and future of intelligent mobile robots technology are summarized. We analyze the technologies of robot navigation and localization, multisensor fusion etc. In addition, point out the advantages and disadvantages of these technologies. we also further describe the mobile robot technologies concerning biomimetic robot, multi-robot system and robocup.

Keywords: navigation and localization; path planning; multisensor fusion; multi-robot system and robocup

1 引言(Introduction)

移动机器人的研究始于 60 年代末期. 斯坦福研究院(SRI)的 Nils Nilsson 和 Charles Rosen 等人, 在 1966 年至 1972 年中研造出了取名 Shakey^[1] 的自主移动机器人. 目的是研究应用人工智能技术, 在复杂环境下机器人系统的自主推理、规划和控制. 与此同时, 最早的操作式步行机器人也研制成功, 从而开始了机器人步行机构方面的研究, 以解决机器人在不平整地域内的运动问题, 设计并研制出了多足步行机器人. 其中最著名是名为 General Electric Quadruped^[2] 的步行机器人. 70 年代末, 随着计算机的应用和传感技术的发展, 移动机器人研究又出现了新的高潮. 特别是在 80 年代中期, 设计和制造机器人的浪潮席卷全世界. 一大批世界著名的公司开始研制移动机器人平台, 这些移动机器人主要作为大学实验室及研究机构的移动机器人实验平台, 从而促进了移动机器人学多种研究方向的出现. 90 年

代以来, 以研制高水平的环境信息传感器和信息处理技术, 高适应性的移动机器人控制技术, 真实环境下的规划技术为标志, 开展了移动机器人更高层次的研究.

2 移动机器人分类(The categories of mobile robot)

移动机器人从工作环境来分, 可分为室内移动机器人和室外移动机器人; 按移动方式来分: 轮式移动机器人、步行移动机器人、蛇形机器人、履带式移动机器人、爬行机器人等; 按控制体系结构来分: 功能式(水平式)结构机器人、行为式(垂直式)结构机器人和混合式机器人; 按功能和用途来分: 医疗机器人、军用机器人、助残机器人、清洁机器人等. 按作业空间来分: 陆地移动机器人、水下机器人、无人飞机和空间机器人. 本文仅论述陆地移动机器人.

3 移动机器人技术的主要研究方向(The main research direction of mobile robot technology)

3.1 导航和定位

导航和定位是移动机器人研究的两个重要问题. 移动机器人的导航方式可分为: 基于环境信息的地图模型匹配导航; 基于各种导航信号的陆标导航、视觉导航和味觉导航等.

环境地图模型匹配导航是机器人通过自身的各种传感器, 探测周围环境, 利用感知到的局部环境信息进行局部地图构造, 并与其内部事先存储的完整地图进行匹配. 如两模型相互匹配, 机器人可确定自身的位置, 并根据预先规划的一条全局路线, 采用路径跟踪和避障技术, 实现导航. 它涉及环境地图模型建造和模型匹配两大问题^[3,4].

陆标导航是事先将环境中的一些特殊景物作为陆标, 机器人在知道这些陆标在环境中的坐标、形状等特征的前提下, 通过对陆标的探测来确定自身的位置. 同时将全局路线分解成为陆标与陆标间的片段, 不断地对陆标探测来完成导航. 根据陆标的不同, 可分为人工陆标导航和自然陆标导航. 人工陆标导航^[5]是机器人通过对人为放置的特殊标志的识别实现导航, 虽然比较容易实现, 但它人为地改变了机器人工作的环境. 自然陆标导航不改变工作环境, 是机器人通过对工作环境中的自然特征的识别完成导航, 但陆标探测的稳定性和鲁棒性是研究的主要问题^[6].

视觉导航主要完成障碍物和陆标的探测及识别. Trahanias^[7]利用视觉探测陆标来完成机器人导航. 其中陆标不是事先定义的人工陆标, 而是在学习阶段自动抽取的自然陆标. 视觉导航中边缘锐化、特征提取等图像处理方法计算量大, 实时性差始终是一个瓶颈问题. 解决该问题的关键在于设计一种快速的图像处理方法. Stanley^[8]提出了基于神经网络的机器人视觉导航技术. 该技术中估算逆雅可比矩阵是基于视觉导航的一个关键问题. 它将图像特征的变化与机器人的位置变化对应起来, 通过神经网络训练来近似特征雅可比矩阵的逆阵. 该技术, 通过提取几何特征、平均压缩、向量量化和主成分提取来简化图像处理, 实现实时视觉导航.

味觉导航^[9,10]是通过机器人配备的化学传感器感知气味的浓度, 根据气味的浓度和气流的方向来控制机器人的运动. 由于气味传感器具有灵敏度高、

响应速度快以及鲁棒性好等优点, 近年来许多研究人员在气味导航技术上做了许多研究工作. 但该项技术能够真正应用到实际环境中的却很少, 仍处于试验研究阶段. Figaro Engineering Inc. 公司研制的氧化锡气味传感器, 被广泛用于气味导航试验. 石英晶体微平衡气味传感器、导电聚合物气味传感器和一种模仿哺乳动物鼻子功能的电子鼻等用于移动机器人味觉导航的传感器都处于试验阶段. 目前的味觉导航试验多采用将机器人起始点和目标点之间用特殊的化学药品, 如酒精和樟脑丸等, 引导出一条无碰气味路径, 机器人根据不同的道路跟踪算法, 用气味传感器感知气味的浓淡和气味源的方向进行机器人导航试验. 味觉导航的研究具有很好的研究价值, 该种移动机器人可用来寻找化学药品泄露源.

3.1.1 定位

作为移动机器人导航最基本环节, 定位是确定机器人在二维工作环境中相对于全局坐标的位姿. 定位方法根据机器人工作环境复杂性, 配备传感器的种类和数量等不同有多种方法. 主要方法有: 惯性定位、陆标定位和声音定位等. 惯性定位是在移动机器人的车轮上装有光电编码器, 通过对车轮转动的记录来粗略地确定位置和姿态. 该方法虽然简单, 但是由于车轮与地面存在打滑现象, 产生的累积误差随路径的增加而增大, 定位误差会逐渐累积, 引起更大的误差. Yamauchi^[11]使用推测航行法和证据栅格来实现动态环境中的机器人位置. 该方法把在不同时段建立的证据栅格匹配起来, 使用一种爬山算法搜索可能的平移与转动空间, 来消除推测航行法的误差累积; 陆标定位^[5]在移动机器人工作的环境里, 人为地设置一些坐标已知的陆标, 如超声波发射器、激光反射板等, 通过对陆标的探测来确定自身的位姿.

三角测量法是陆标定位常用的方法, 机器人在同一点探测到三个陆标, 并通过三角几何运算, 可确定机器人在工作环境中的坐标. 陆标定位是普遍采用的方法, 可获得较高的定位精度且计算量小, 可用于实际的生产中. 但该方法需要对环境作一些改造, 不太符合真正意义的自主导航; 声音定位^[12]用于物体超出视野之外或光线很暗时, 视觉导航和定位失效的情况之下. 基于声音的无方向性和时间分辨率高等优点, 采用最大似然法、时空梯度法和 MUSIC 方法可实现机器人的精确定位.

3.1.2 路径规划

不论采用何种导航方式, 智能移动机器人主要

完成路径规划、定位和避障等任务。路径规划是自主式移动机器人导航的基本环节之一。它是按照某一性能指标搜索一条从起始状态到目标状态的最优或近似最优的无碰路径。根据机器人对环境信息知道的程度不同,可分为两种类型:环境信息完全知道的全局路径规划和环境信息完全未知或部分未知,通过传感器在线地对机器人的工作环境进行探测,以获取障碍物的位置、形状和尺寸等信息的局部路径规划。

全局路径规划包括环境建模和路径搜索策略两个子问题。其中环境建模的主要方法有:可视图法(V-Graph)、自由空间法(Free Space Approach)和栅格法(Grids)等。可视图法^[13]视机器人为一点,将机器人、目标点和多边形障碍物的各顶点进行组合连接,要求机器人和障碍物各顶点之间、目标点和障碍物各顶点之间以及各障碍物顶点与顶点之间的连线,均不能穿越障碍物,即直线是可视的。搜索最优路径的问题就转化为从起始点到目标点经过这些可视直线的最短距离问题。运用优化算法,可删除一些不必要的连线以简化可视图,缩短搜索时间。该法能够求得最短路径,但假设机器人的尺寸大小忽略不计,使得机器人通过障碍物顶点时离障碍物太近甚至接触并且搜索时间长,对于 N 条连线的搜索时间为 $O(N^2)$ ^[14]。Voronoi Diagrams 法和 Tangent Graph 法^[15]对可视图法进行了改进;自由空间法应用于机器人路径规划,采用预先定义的如广义锥形和凸多边形^[16]等基本形状构造自由空间,并将自由空间表示为连通图,通过搜索连通图来进行路径规划。该法比较灵活,起始点和目标点的改变不会造成连通图的重构,但算法的复杂程度与障碍物的多少成正比,且不是任何情况下都能获得最短路径;栅格法^[17]将机器人工作环境分解成一系列具有二值信息的网格单元,多采用二叉树或八叉树表示工作环境,并通过优化算法完成路径搜索。该法以栅格为单位记录环境信息,环境被量化成具有一定分辨率的栅格,栅格的大小直接影响着环境信息存储量的大小和规划时间的长短。栅格划分大了,环境信息存储量小,规划时间短,但分辨率下降,在密集环境下发现路径的能力减弱;栅格划分小了,环境分辨率高,在密集环境下发现路径的能力强,但环境信息存储量大,规划时间长,可以采用改进的栅格法^[18]弥补栅格法的不足。路径搜索策略主要有:A*算法^[19]、D*最优算法^[20]等。

局部路径规划的主要方法有:人工势场法(Arti-

ficial Potential Field)、遗传算法(Genetic Algorithm)和模糊逻辑算法(Fuzzy Logic Algorithm)等。人工势场法^[21]是由 Khatib 提出的一种虚拟力法。其基本思想是将机器人在环境中的运动视为一种虚拟的人工受力场中的运动。障碍物对机器人产生斥力,目标点产生引力,引力和斥力的合力作为机器人的加速力,来控制机器人的运动方向和计算机器人的位置。该法结构简单,便于低层的实时控制,在实时避障和平滑的轨迹控制方面,得到了广泛的应用,但对存在局部最优解的问题,容易产生死锁现象(Dead Lock)^[22],因而可能使机器人在到达目标点之前就停留在局部最优点;J. Holland^[23]在 60 年代初提出了遗传算法,以自然遗传机制和自然选择等生物进化理论为基础,构造了一类随机化搜索算法。它利用选择、交叉和变异来培养控制机构的计算程序,在某种程度上对生物进化过程做数学方式的模拟。它不要求适应度函数是可导或连续的,而只要求适应度函数为正,同时作为并行算法,它的隐并行性适用于全局搜索。多数优化算法都是单点搜索算法,很容易陷入局部最优,而遗传算法却是一种多点搜索算法,因而更有可能搜索到全局最优解。由于遗传算法的整体搜索策略和优化计算不依赖于梯度信息,所以解决了一些其它优化算法无法解决的问题。但遗传算法运算速度不快,进化众多的规划要占据较大的存储空间和运算时间;基于实时传感信息的模糊逻辑算法^[24]参考人的驾驶经验,通过查表得到规划信息,实现局部路径规划。该方法克服了势场法易产生的局部极小问题,适用于时变未知环境下的路径规划,实时性较好。

3.2 多传感器信息融合方面的研究

移动机器人的多传感器信息融合方面的研究始于 80 年代。多传感器融合^[25]的常用方法有:加权平均法、贝叶斯估计、卡尔曼滤波、统计决策理论、D-S 证据推理、神经网络和模糊推理法以及带置信因子的产生式规则。其中加权平均法是最简单也最直观的方法,一般用于对动态低水平的数据进行处理,但结果不是统计上的最优估计;贝叶斯估计是融合静态环境中多传感器底层数据的常用方法,适用于具有高斯白噪声的不确定性传感信息融合;对于系统噪声和观测噪声为高斯白噪声的线性系统模型用卡尔曼滤波(KF)来融合动态低层次冗余传感信息,对于非线性系统模型采用扩展卡尔曼滤波(EKF)或者分散卡尔曼滤波(DKF);统计决策理论用于融合多

个传感器的同一种数据,常用于图像观测数据;D-S证据推理是贝叶斯估计法的扩展,它将局部成立的前提与全局成立的前提分离开来,以处理前提条件不完整的信息融合;基于神经网络法根据系统要求和融合形式,选择网络拓扑结构,通过网络学习确定网络连接权值,对各传感器的输入信息进行融合.系统具有很强的容错性和鲁棒性;模糊推理法首先对多传感器输出进行模糊化,将所测得的距离等信息分级,表示成相应的模糊子集,并确定模糊子集的隶属度函数,通过融合算法对隶属度函数综合处理,再将模糊融合结果清晰化,求出融合值;带置信因子的产生式规则主要用于符号水平层表达传感器信息,结合专家系统对多传感信息进行融合.

3.3 多机器人系统与机器人足球

多机器人系统的研究始于20世纪70年代.随着机器人应用领域的不断拓展、机器人工作环境复杂度、任务的加重,对机器人的要求不再局限于单个机器人,多机器人的研究已经成为机器人学研究的一个热点.多机器人系统的研究分为多机器人合作(Multi-robot Coordination)和多机器人协调(Multi-robot Cooperation)两大类,主要研究给定一个多机器人系统任务后,如何组织多个机器人去完成任务,如何分解和分配任务以及如何保持机器人之间的运动协调一致.近年来,国际上很多研究机构在该方面的研究取得了一定的成果.美国Oak Ridge国家试验室的Cooperative Robotics实验系统^[26]研究的协作机器人是集成了感知、推理、动作的智能系统,着重研究在环境未知且在任务执行过程中环境动态变化的情况下,机器人如何协作完成任务.美国USC大学Socially Mobile和The Nerd Herd^[27]实验系统在多机器人学习、群行为、协调与协作等方面开展工作.日本Nagoya大学的CEBOT系统^[28]的研究,涉及到系统的体系结构、通讯、信息交互等许多方面.中国科学院沈阳自动化所的MRCAS系统^[29]在多机器人协作理论研究的基础上开展多机器人协作的实验研究.

机器人世界杯足球赛(RoboCup)^[30]是以Multi-agent系统(MAS)与分布式人工智能(DAI)为主要研究背景的,其主要目的就是通过提供一个标准的、易于评价的比赛平台,促进DAI与MAS的研究与发展.涉及的研究领域包括:智能机器人系统、智能

体结构设计、传感器融合技术、多智能体系统、实时规划和推理和基于网络的三维图形交互等. RoboCup比赛自1997年在日本Nagoya举办的第一届以来已经举办了五届. RoboCup的比赛水平直接反映了机器人与智能控制技术的研究水平.同时,其产生的国际影响又大大促进了机器人与智能控制技术的发展.

4 仿生学与机构的研究(The study of bionics and mechanics)

近年来,全球许多机器人研究机构都开展了仿生学与机构的研究工作.在生态学基础上,研究昆虫、爬行动物等自然界生物的各种生存策略与形态,如:蚂蚁的群体协作、觅食、路线跟踪与搜索和信息传递等策略,蜜蜂的定位和采粉策略,蛇的爬行动态等,将各种生物的特长再现于机器人上. NASA的Snakebot蛇形机器人,能够穿梭在受灾现场的瓦砾狭缝之中,寻找幸存者.该蛇形机器人由于重心低且完全模仿蛇的动作因而行动灵敏、鲁棒性好,可以用于受灾现场生还者的寻找和军事侦察; SONY公司1999年推出的宠物机器人Aibo具有喜、怒、哀、厌、惊和奇6种情感状态.它能爬行、坐立、伸展和打滚,而且摔倒后可立即爬起来.在Aibo的头部内置有用于视觉的180,000像素的彩色CCD摄像机、语音输入和输出的微型麦克风和扬声器、红外避障传感器和触觉传感器. Aibo的身上除了装有64位RISC处理器、16MB内存用于处理传感器所输入的数据和控制自身个关节部位的动作外,还装有保持平衡的重力加速度传感器和角速度传感器、以及感知自身温度的温度计;本田公司1997年研制的Honda P3类人机器人代表着当今世界双足步行机器人的最高水平.它体重130Kg、高1,600mm、宽600mm,工作时间25 minute,最大步行速度为2.0Km/h(人的步行速度约为3.0Km/h). P3的CPU采用了两个主频为110MHz的Microspec II处理器,身上装有用于视觉导航的视觉传感器、感知自身姿态的陀螺仪、保持平衡的重力加速度传感器和两个脚踝处的6维力传感器、实现语音功能的麦克风和扬声器,以及用于测量行走时腿运动的关节角度传感器. P3的驱动装置采用138V【Ah镍锌电池供电和带有谐波减速器的直流伺服电机. 通讯系统采用了无线以太网(Wireless Ethernet system)通讯. P3能够自主地动态行走在颠

簸起伏的路面上,也能够在倾斜的路面上动态行走,甚至能够上、下楼梯,单脚站立。

5 移动机器人传感技术常用的传感器(The usual sensors applied in transducer technology of mobile robot)

移动机器人传感技术主要是对机器人自身内部的位置和方向信息以及外部环境信息的检测和处理。采用的传感器分为内部传感器和外部传感器。其中内部传感器有:编码器、线加速度计、陀螺仪、磁罗盘、激光全局定位传感器、GPS(Global Position System)、激光雷达。其中编码器粗略地确定机器人位置;线加速度计获取线加速度信息,进而得到当前机器人的线速度和位置信息;陀螺仪测量移动机器人的角度、角速度、角加速度以得到机器人的姿态角、运动方向和转动时的运动方向的改变等绝对航向信息弥补应用编码器测位置的航位推测法的不足;激光全局定位传感器运用三角测量法得到机器人的位置坐标信息,与 GPS 一样多用于室外移动机器人定位。外部传感器有:视觉传感器、超声波传感器、红外传感器、接触和接近传感器。视觉传感器采用 CCD 像机进行机器人的视觉导航与定位、目标识别和地图构造等;超声波传感器测量机器人工作环境中障碍物的距离信息和地图构造等;红外传感器多采用红外接近开关来探测机器人工作环境中的障碍物以避免碰撞;接触和接近传感器多用于避碰规划。

6 移动机器人主要研究和发展趋势(The main research and development trends of mobile robot)

目前影响智能移动机器人技术研究的因素主要有:导航与定位、通讯、传感技术和运动控制策略等。步入 21 世纪,随着电子技术的飞速发展,机器人用传感器的不断研制、计算机运算速度显著提高和机器人应用领域的进一步扩大,移动机器人技术将逐渐地得到完善和发展。移动机器人技术的研究与发展的趋势^[31~33]包括:

- (1) 导航与定位 无论是单个移动机器人还是多个移动机器人系统,导航与定位始终是一项难题。在完全未知或部分未知环境下,基于自然路标导航与定位技术以及视觉导航中路标的识别和图像处理的快速算法的研究,并通过专用数字信号处理器(DSP)的开发与研制,可以为导航与定位提供突破性进展。
- (2) 仿生学和类人机器人机构与能源方面的研

究 日本本田公司的 Honda P3 步行机器人虽然代表着当今世界类机器人的最高水平,但仍存在供电时间短、行走缓慢和语音功能不完善等方面的问题。P3 机器人目前采用的镍锌电池只能供给 25 分钟电量,电池的体积、重量与其蓄电容量相比,庞大而笨重,远不能满足未来服务步行机器人的工作时间要求。需研制适用于移动机器人携带的蓄电容量大且体积小、重量轻的蓄电池,以解决可携带能源问题;类人机器人的语音功能远未达到未来同人类共存与合作所应具备的语音功能,需要在语音信号特征提取和模式匹配、抗噪声以及语音识别器的词汇量扩充等方面,进行探讨;类人机器人的行走速度同人类的行走乃至奔跑速度还有较大差距。需要研制体积小、重量轻驱动力大的驱动系统和完善行走机构来近似人类的肌肉和骨骼;同时,研究自然界各种生物的觅食、定位及路径跟踪等生态策略,将人类所不及的生物特长赋予机器人,研制如机器蛇、机器狗和机器鱼等各种仿生机器人。

- (3) 多传感器信息的集成融合 多传感器信息融合的算法很多,但多数算法都是基于线性正态分布的平稳随机过程前提下,解决非线性和非平稳非正态分布的现实信息还有待深入地研究。

- (4) 网络机器人 随着计算机网络的扩展延伸,网络技术的发展完善,通过计算机网络遥控机器人,为人机交互技术、监控技术、远程操作技术和图像与控制命令的网络传输及并发多进程数据通讯等通讯技术提出了更高的挑战。

- (5) 多机器人系统 目前多机器人系统的研究尚处于理论研究阶段,对于多机器人系统体系结构与协作机制、信息交互以及冲突消除等方面将是多机器人系统的进一步研究方向。

- (6) 特种机器人 移动机器人在各个领域中的应用刺激了特种机器人的研究与开发。战场上,为保护士兵的生命,刺激了无人战车、扫雷机器人和侦察机器人等军用机器人的不断研究;人民生活水平的提高促进了娱乐机器人、外科手术机器人和助残机器人等民用服务机器人的开发。

7 结论(Conclusion)

综上所述,移动机器人技术已经取得了很多可喜的进展,研究成果令人鼓舞,但还远未达到实用要求。随着传感技术、智能技术和计算技术等的不断提高,智能移动机器人一定能够在生产和生活中扮演人的角色。

参考文献 (References)

- [1] N Nilsson. A mobile automation: An application of artificial intelligence techniques. In Proc IJCAI, 1969
- [2] R S Mosher. Test and evaluation of a versatile walking truck. In Proc of the off-road Mobility Res Symp Int Soc Terrain Vehicle Systems, Washington DC. 1968: 359-379
- [3] Chong K S, Kleemam L. Sonar Based Map Building for a Mobile Robot. Proc of IEEE Intern. Conf. on Robotics and Auto, 1997, 2: 1700-1705
- [4] E Bourque, G Dudek. Automated image-based mapping. In workshop on perception for creating virtual environments. In Proc IEEE Int Conf On Robotics and Automation, Leuven Belgium, 1998
- [5] Thrun S. Finding Landmarks for Mobile Robot Navigation. Proc of IEEE Inter Conf Robotics and Auto, 1998, 2: 958-963
- [6] O Wijk, H I Christensen. Localization and navigation of a mobile robot using natural point landmarks extracted from data. Robotics and Autonomous Systems. 2000, 3: 131-42
- [7] Trahanias P. Visual Recognition of Workspace Landmarks for Topological Navigation. Autonomous Robotics, 1999, 7(2): 143-158
- [8] Stanley K, Wu Q M J. Neural Network-Based Vision Guided Robotics. Proceedings of the 1999 IEEE Inter Conf on Robotics and Automation. 1999, 1: 281-286
- [9] Marques L, de Almeida, A T. Application of odor sensors in mobile robotics. In Autonomous Robotic Systems, Lecture Notes in Control and Information Sciences 236 1998: 264-275
- [10] R Andrew Russell. Survey of Robotic Applications for Odor-Sensing Technology. The International Journal of Robotics Research. 2001, 20(2): 144-162
- [11] Yamauchi B. Mobile robot localization in dynamic environments using dead reckoning and evidence grids. Proc of IEEE Inter. Conf. on Robotics and Automation. 1996, 2: 1401-1406
- [12] Jie Huang, Tadawate Supaongprapa. A model-based sound localization system and its application to robot navigation. Robotics and Autonomous Systems. 1999, 27: 199-209
- [13] Pere. Automatic Planning of Manipulator Movements. IEEE Trans on Sys Man and Cyb. 1981, 11(11): 681-698
- [14] Gregory Dudek, Michael Jenkin. Computational Principles of Mobile Robotics. Cambridge Univer Press. 2000: 132-145
- [15] J C Latombe. Robot Motion Planning. Kluwer, Norwell. MA. 1991
- [16] R A Brooks. Solving the Find-path problem by Good Representation of Free Space. IEEE Trans on Sys Man and Cybern. 1983, 13(3): 190-197
- [17] M B Metea. Planning for Intelligence Autonomous Land Vehicles Using Hierarchical Terrain Representation. Proc of IEEE Int Conf on Robotics and Automation. 1987: 1947-1952
- [18] 袁曾任, 高明. 在动态环境中移动机器人导航和避碰的一种新方法. 机器人, 2000, 22(2): 81-88
- [19] C Alexopoulos, P M Griffin. Path Planning for a Mobile Robot. IEEE Trans on Sys Man and Cybern. 1992, 22(2): 318-322
- [20] Yahja A, Singh S Stentz. An efficient on-line path planner for outdoor mobile robots. Robotics and Autonomous Systems. 2000, 32(2-3): 129-143
- [21] O Khatib. Real-time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots. Int J Robotics Research, 1986, 5(1): 90-98
- [22] Yong K Hwang, Narendra Ahuja. A Potential Field Approach to Path Planning. IEEE Transactions on Robotics and Automation. 1992, 8(1): 23-32
- [23] Holland J H. Genetic Algorithms and the Optimal Allocations of Trails SIAM Journal of Computing, 1973, 2(2): 88-105
- [24] Nelson H C, Yung Cang Ye. An Intelligent Mobile Vehicle Navigator Based on Fuzzy Logic and Reinforcement Learning. IEEE Trans on Sys Man and Cybern. Part B: Cybernetics, 1999, 29(2): 314-321
- [25] 王军, 苏剑波, 席裕庚. 多传感器集成与融合概述. 机器人, 2001, 23(2): 183-192
- [26] Lynne E Parker. Cooperative Robotics for Multi-Target Observation, Intelligent Automation and Soft Computing, special issue on Robotics Research at Oak Ridge National Laboratory, 1999, 5(1): 5-19
- [27] M J Mararic', Learning to Behave Socially, in D Cliff, P Husbands, J-AMeyer, S Wilson, eds. From Animals to Animats: International Conference on Simulation of Adaptive Behavior, 1994: 453-462
- [28] Ueyama T, Fukuda T. Self-organization of Cellular Robots Using Random Walk with Simple Rules. Proceedings of IEEE I-CRA, 1993, 3: 595-600
- [29] 王越超. 多机器人协作系统研究. 哈尔滨工业大学博士论文, 1999
- [30] Asada M, Kitano H. The Robocup Challenge. Robotics and Autonomous Systems 1999, 29(1): 3-12
- [31] 蒋新松. 未来机器人技术发展方向的探讨. 机器人, 1996, 18(5): 285-291
- [32] 蔡鹤皋. 机器人将是 21 世纪技术发展的热点. 中国机械工程, 2000, 11(1-2): 58-60
- [33] 谭民, 范永, 徐国华. 机器人群体协作与控制的研究. 机器人, 2001, 23(2): 178-182

作者简介:

李 磊 (1975-), 男, 博士研究生. 研究领域: 移动机器人视觉导航与路径规划, 智能控制, 模式识别.

叶 涛 (1976-), 男, 博士研究生. 研究领域: 移动机器人语音导航与路径规划, 多传感器融合.

谭 民 (1962-), 男, 研究员、博士生导师. 研究领域: 故障诊断与可靠性, 复杂系统控制理论及应用, 制造系统与先进机器人控制等.

作者: 李磊, 叶涛, 谭民, 陈细军
作者单位: 中国科学院自动化研究所, 复杂系统与智能科学试验室, 北京, 100080
刊名: 机器人 ISTIC EI PKU
英文刊名: ROBOT
年, 卷(期): 2002, 24(5)
引用次数: 212次

参考文献(33条)

1. [N Nilsson](#) [A mobile automation: An application of artificial intelligence techniques](#) 1969
2. [R S Mosher](#) [Test and evaluation of a versatile walking truck](#) 1968
3. [Chong K S](#), [Kleemam L](#) [Sonar Based Map Building for a Mobile Robot](#) 1997
4. [E Bourque](#), [G Dudek](#) [Automated image-based mapping](#) 1998
5. [THRUN S](#) [Finding Landmarks for Mobile Robot Navigation](#) 1998
6. [O Wijk](#), [H I Christensen](#) [Localization and navigation of a mobile robot using natural point landmarks extracted from data](#) 2000
7. [Trahanias P](#) [Visual Recognition of Workspace Landmarks for Topological Navigation](#) 1999(02)
8. [Stanley K](#), [Wu Q M J](#) [Neural Network-Based Vision Guided Robotics](#) 1999
9. [Marques L](#), [de Almeida A T](#) [Application of odor sensors in mobile robotics](#) 1998
10. [R Andrew Russell](#) [Survey of Robotic Applications for Odor-Sensing Technology](#) 2001(02)
11. [Yamauchi B](#) [Mobile robot localization in dynamic environments using dead reckoning and evidence grids](#) 1996
12. [Jie Huang](#), [Tadawate Supaongprapa](#) [A model-based sound localization system and its application to robot navigation](#) 1999
13. [Pere](#) [Automatic Planning of Manipulator Movements](#) 1981(11)
14. [Gregory Dudek](#), [Michael Jenkin](#) [Computational Principles of Mobile Robotics](#) 2000
15. [J C Latombe](#) [Robot Motion Planning](#) 1991
16. [R A Brooks](#) [Solving the Find-path problem by Good Representation of Free Space](#) 1983(03)
17. [M B Metea](#) [Planning for Intelligence Autonomous Land Vehicles Using Hierarchical Terrain Representation](#) 1987
18. 袁曾任, 高明 [在动态环境中移动机器人导航和避碰的一种新方法](#)[期刊论文]-[机器人](#) 2000(02)
19. [C Alexopoulos](#), [P M Griffin](#) [Path Planning for a Mobile Robot](#) 1992(02)
20. [Yahja A](#), [Singh S](#), [Stentz](#) [An efficient on-line path planner for outdoor mobile robots](#) 2000(2-3)
21. [O Khatib](#) [Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots](#) 1986(01)
22. [Yong K Hwang](#), [Narendra Ahuja](#) [A Potential Field Approach to Path Planning](#) 1992(01)
23. [Holland JH](#) [Genetic Algorithms and the Optimal Allocations of Trails](#) 1973(02)
24. [Nelson H C](#), [Yung Cang Ye](#) [An Intelligent Mobile Vehicle Navigator Based on Fuzzy Logic and Reinforcement Learning](#) 1999(02)
25. 王军, 苏剑波, 席裕庚 [多传感器集成与融合概述](#)[期刊论文]-[机器人](#) 2001(02)
26. [Lynne E Parker](#) [Cooperative Robotics for Multi-Target Observation, Intelligent Automation and Soft](#)

27. [M J Mararic](#) [Learning to Behave Socially](#) 1994
28. [Ueyama T](#), [Fukuda T](#) [Self-organization of Cellular Robots Using Random Walk with Simple Rules](#) 1993
29. [王越超](#) 多机器人协作系统研究[学位论文] 1999
30. [Asada M](#), [Kitano H](#) [The Robocup Challenge](#) 1999(01)
31. [蒋新松](#) 未来机器人技术发展方向探讨 1996(05)
32. [蔡鹤皋](#) 机器人将是21世纪技术发展的热点[期刊论文]-[中国机械工程](#) 2000(01)
33. [谭民](#), [范永](#), [徐国华](#) 机器人群体协作与控制的研究[期刊论文]-[机器人](#) 2001(02)

相似文献(10条)

1. 学位论文 [吴延霞](#) 基于GPS/GIS的激光平地机作业路径规划方法的研究 2007

激光控制平地系统是实现节水灌溉的重要技术装备,其作业路径规划是实现土地平整的关键技术。本课题基于GPS/GIS技术,对激光平地系统的路径规划方法进行了系统研究,并对平地效果进行了分析评价。

首先,研究了激光平地机路径规划系统的整体框架,确定了软件系统开发的方式和软件系统的构成。应用VC++6.0的编程技术,以ESRI公司的GIS控件MDO为工具进行了软件系统的开发。系统软件主要包括GPS模块、地图编辑模块、数据分析模块和平地设计模块四个子模块。

其次,论述了所搭建的基于铁牛654拖拉机的激光平地系统的基本构成、工作原理,研究了GPS的数据处理方式、设计高程和土方量的计算方法。

第三,开发了一套用于平地的导航电子地图;为了利用GPS进行导航和跟踪,编制了GPS的串口通讯、坐标转换、定位和路径回放等程序模块;利用添加内置工具的方法,实现了电子地图的放大、缩小、添加图层、漫游等管理功能。

第四,研究了激光平地系统作业路径的常规规划方法和基于高程的规划方法,根据地块形状及农机具特点等因素,实现了平地作业期望路径的规划;利用GPS的导航与定位功能,实现了拖拉机当前作业位置与期望路径偏差的实时显示,可辅助驾驶员高效完成平地作业。

最后,对系统进行了仿真试验及田间试验,试验结果表明,所提出的路径规划方法比较理想,可以满足激光平地的一般要求。

2. 学位论文 [欧志平](#) 基于自适应加权数据融合的移动机器人GPS导航及路径规划研究 2008

导航定位以及路径规划是移动机器人研究领域的重要方向之一。在对国内外移动机器人定位导航技术的现状与发展趋势进行分析的基础上,从多个方面对移动机器人的运动控制与路径规划进行了研究,并提出基于GPS定位的移动机器人导航定位系统方案。

主要研究工作包括:

1. 研究工作以美国ActivMedia Robotics公司Pioneer 3-Dx型机器人为对象,该移动机器人平台采用上下位机结构;下位机实现底层传感器信号采集以及执行器动作控制,上位机则负责数据融合、导航与定位、路径规划、通信等高级功能。针对该实验平台,建立了移动机器人的运动模型并研究了在给定目标任务情况下的机器人运动控制方法;

2. 对GPS的系统组成、定位原理进行了阐述,并深入分析了GPS数据格式,利用Windows API通信函数实现了GPS与移动机器人上位机的串口通信和数据提取。实现了GPS经纬度数据的直角坐标系数据转化,并进行了GPS定位的精度测量实验;

3. 采用多传感器数据融合技术构建了基于GPS的移动机器人多传感器定位系统。首先利用GPS、方向传感器、激光传感器通过多传感器数据融合技术完成移动机器人的初始定位;然后基于多传感器自适应加权融合估计算法融合GPS、方位传感器和光磁盘的数据信息,完成移动机器人的实时定位,实验表明该算法提高了移动机器人的定位精度,并可满足实时性要求;

4. 提出了一种适用于移动机器人路径规划的改进人工势场算法,该算法可有效解决目标不可达性问题;同时针对人工势场法存在的局部最小值问题,提出了沿边行走行为模式,有效的提高了路径规划的效率。仿真实验结果表明该算法有效可行。

研究工作对于对于实现低成本的室外移动机器人和智能车辆的定位导航系统具有较好的应用价值。

3. 学位论文 [胡征峰](#) 基于多传感器信息融合的移动机器人导航定位研究 2003

该文首先在第一章介绍了移动机器人的发展与当前的研究状况,移动机器人导航定位系统的组成与原理,信息融合的概念、原理与层次结构。第二章:在简单介绍能力风暴机器人平台的组成和开发系统的基础上,对实验平台的通信系统进行了无线通讯扩展设计,并选择一种成熟而有效的通信协议——MODBUS协议,同时对机器人控制中用到的参数进行了初步规划,分配好各功能寄存器的地址。然后,在第三章里说明了实验平台的传感器系统后,描述了基于多传感器信息的环境建模技术,在提出一种根据环境特征对环境信息分类的建模方法基础上,相应的建立了一种根据三类环境信息分层栅格化的电子地图导航技术,还阐述了多机交互与协作技术及其在环境建模中的应用。第四章:初步设计出基于多传感器信息的导航系统,根据第三章说明的环境模型,按照移动机器人导航与定位的需要,从实用化的角度出发,详述了传感器系统对环境信息的采集和处理,分别阐述自定位中采用卡尔曼滤波器的信息融合技术,障碍检测与识别中应用证据理论法的融合技术,以及栅格化分层地图上的基于射线扩展的动态路径规划技术。第五章:针对三、四章节的模型与方法进行了实物实验与仿真,通过分析实验结果,一方面验证相关理论与方法的有效性,同时提出在实验的过程中发现的一些问题及其出现的可能原因和一些解决办法,通过实践反馈出理论上的不足。

4. 学位论文 [梁华为](#) 基于无线传感器网络的移动机器人导航方法与系统研究 2007

移动机器人在许多场合被寄予了替代人类自动执行某些日常性与危险性任务的厚望。在移动机器人的相关研究中,导航与定位技术是其核心技术,也是移动机器人实现真正的智能化和完全自主移动的关键技术。

目前,移动机器人常用的导航方法主要有惯性导航、视觉导航、基于传感器数据导航和卫星导航等。惯性导航的优点是可以提供完全的自主性和完备的导航信息,缺点是定位误差会随着机器人航程的增长而增加。视觉导航具有定位精度高的优点,但视场范围有限。基于传感器数据导航(如:声纳等)常用于局部导航和避障。美国全球定位系统(GPS)是迄今为止投入使用的最精确的卫星导航系统,它与惯性导航系统(INS)组合使用可获得相当高的导航精度。但GPS是由美国国防部控制的,对非授权用户,其所能获得的定位导航精度较低,且使用安全性无法得到保障。对于外星球探测等GPS信号无法覆盖和战场环境等安全性要求高的应用场合,需要研究新的、不依赖GPS等卫星信号的导航定位方法。

本文将无线传感器网络引入移动机器人的研究中,提出了一种基于无线传感器网络定位技术的移动机器人导航新方法,作为现有导航方法的有益补充。例如,在不能或不适宜使用卫星系统进行导航时,可以用该方法代替卫星导航系统对各种移动机器人进行导航和定位,并能利用无线传感器网络获取的各种环境信息(温度、湿度、坡度等),为导航与路径规划提供决策支持,使机器人在路径规划时能避开危险区域、选择优化路径。

论文的主要研究内容和创新点如下:

- 1、能量受限是无线传感器网络面临的首要挑战。为了高效使用节点携带的有限能量、延长网络和导航系统的使用寿命,本论文研究并提出了一种基于蚁群优化的无线传感器网络能量均衡路由算法,利用群智能的思想,实现网络信息的高效传输和能量的均衡消耗。仿真实验表明,该算法能够有效的延长无线传感器网络和导航系统的寿命。

- 2、为充分发挥能量均衡路由算法的性能,在分析了基于电压的能量检测方法和基于电流的能量检测方法的基础上,根据无线传感器网络节点能耗模型,结合无线传感器网络节点的工作特点,设计了一种电压和电流检测相结合的节点能量检测方法,实现了无线传感器网络节点剩余能量的实时准确检

测。

3、为了实现移动机器人的定位，为环境建模和导航提供位置信息，论文研究了无线传感器网络的定位方法，基于Chipcon(TI)CC2431研制了具有定位功能的无线传感器网络节点。测试实验表明，节点的定位性能和GPS相当，能满足移动机器人导航的应用要求。

4、论文结合无线传感器网络的特点，提出了一种基于无线传感器网络的环境建模和地图创建方法，利用无线传感器网络采集的分布环境信息，建立基于多元信息的环境模型和栅格地图。仿真分析表明，使用该方法建立的环境模型具有较高的地图匹配度。

5、为了适应动态变化环境的导航应用要求，论文利用无线传感器网络对环境动态监测的功能，研究并提出了基于无线传感器网络的移动机器人在线路规划方法。仿真研究表明，该方法可以实现移动机器人在线路规划，并能通过调整算法参数使移动机器人在安全性与有效性之间进行不同的权衡。

6、构建了基于无线传感器网络的移动机器人导航实验系统，进行了移动机器人导航实验。完成的导航实验结果表明，本论文研究的基于无线传感器网络的移动机器人导航方法能够满足机器人导航应用的要求。

5. 期刊论文 郭戈, 胡征峰, 董江辉 移动机器人导航与定位技术—微计算机信息(测控仪表自动化) 2003, 19(8)

导航与定位是移动机器人应用中的一个瓶颈技术,针对移动机器人所处的不确定环境和自身状态的不可测性,本文系统综述了导航中相关关键技术,并提出了若干应用需求中的技术问题。

6. 学位论文 王宁 基于GPS/GIS的车辆导航定位系统的研究与应用 2001

电子地图作为车辆导航定位系统的关键部件,不仅可以提高整个导航系统的定位精度,同时可以提供可视化、人性化的导航环境.该文从数据模型、信息需求以及构造方法等多个方面对面向导航系统的电子地图进行了研究,主要包括:1.在传统的关系数据库和拓扑数据结构的基础上构造了电子地图数据库的概念模型和逻辑模型,采用图形—属性一体化的数据存储策略实现空间数据管理.2.采用软件工程的思想与方法,以结构化和面向对象技术为基础设计了车辆导航与监控系统软件.该软件具有定位点在电子地图上的实时显示、轨迹录像及重放、路径规划及地图匹配算法等多项功能.经试验测试,该软件各功能运行可靠.3.研究了三种不同的制作电子地图的方法,并进行了实践.跑车试验表明,用此方法生成的电子地图完全符合车辆导航与定位的需要。

7. 学位论文 徐浩 GPS车辆导航与定位系统的地图匹配算法研究 2007

本文研究的主要内容包括调研现有车辆导航系统的地图匹配算法研究现状,分析GPS轨迹数据和交通矢量地图研究其误差特性,并且根据GPS车载接收机误差和交通矢量地图误差的特点与现有算法的不足,设计具有更高准确性的地图匹配算法来保证车辆导航系统的导航准确、及时和稳定。

在当前的车辆导航应用中,GPS车载导航系统由于其定位的准确性、稳定性一直是研究与应用的焦点.由于独立GPS导航系统低廉的价格和易于部署安装的因素,独立车载导航系统是民用车载导航系统中的主流.要满足用户对准确性与实时性的要求,最基本的一步就是提高导航与定位系统的定位准确度,这包括两个方面:确定当前车辆正在行驶的路段的准确性与确定车辆在行驶路段上的位置的准确性.在独立GPS车辆导航系统中定位的准确性主要依靠地图匹配算法克服GPS误差和交通矢量地图的误差,使GPS轨迹匹配到矢量地图道路上的对应位置.这不仅满足用户了解其在道路上准确位置的需求,而且为更高级的路径规划和导航提示功能提供定位基础。

根据对GPS误差和地图误差的研究,论文中设计了两个能够有效提高地图匹配准确性的新地图匹配算法,与现有算法相比,这两个算法能够有效提高车辆在沿道路方向上的准确性,GPS轨迹沿道路方向上的误差是现有地图算法一直无法克服的.同时第二个新算法根据GPS误差特点,重新设计了卡尔曼滤波器在地图匹配算法中的应用模型,使车辆行驶过程中的慢漂误差和随机误差都能够得到有效校正.在车辆导航系统仿真平台上的使用结果表明,两个新算法都能够有效处理车辆导航过程中GPS轨迹与对应地图道路点之间的误差,包括:垂直道路方向误差和沿道路方向误差.通过仿真平台的验证,这两个算法能够明显提高定位的准确性,尤其是在交叉路口附近,保证了车辆导航系统,路径规划和导航提醒的实时性与准确性。

8. 期刊论文 徐国保, 尹怡欣, 周美娟 智能移动机器人技术现状及展望—机器人技术与应用 2007, ""(2)

智能移动机器人技术涉及到机器人导航与定位,路径规划,运动控制等.本文综述了移动机器人技术的历史,现状以及未来.首先简要回顾了移动机器人的发展历史,介绍了移动机器人主要体系结构.其次详细论述了移动机器人的主要导航技术,路径规划技术以及多传感器信息融合技术,并指出它们优缺点.最后指出基于硬件电路图像处理器的视觉导航技术,高智能情感移动机器人等技术是移动机器人发展趋势。

9. 学位论文 侯清涛 基于虚拟定标线和电子地图的机器人视觉导航研究 2009

随着计算机和机器人技术的发展,人们对于机器人的性能要求也在不断提高.现代机器人已经不再像早期局限在工业制造自动化方面,而是广泛地应用在军事、民用、科学研究等各个领域,机器人技术也将成为新世纪的主导技术.因此,开发研制以工业领域、服务业领域为应用背景的,且易于用户二次开发的移动机器人平台具有良好的市场潜力和研究意义.自主移动机器人导航技术是智能机器人领域的一个重要研究方向,其中视觉导航具有其它传感器导航方式所无法比拟的优点,是自主移动机器人的关键技术和研究热点.本文针对基于视觉导航技术的室内移动机器人导航与定位算法问题开展研究工作.主要内容如下:

1、首先对自主移动机器人研究领域的发展、机器人导航技术、移动机器人视觉系统与视觉导航的研究现状作了简要的回顾,并对本文的选题背景、主要组成结构作了介绍。

2、导航线识别.通过边缘检测,找出导航线的边缘,然后计算导航线的重心,以该重心为界计算出导航线上下部分的重心,将它们连接就是机器人的行走轨迹,即导航线。

3、电子地图.移动机器人的智能性主要体现在认知周围的环境、阅读电子地图和自主规划路径.通过电子地图,一方面可以拓展机器人的应用范围和环境,例如在危险场合可以利用电子地图进行机器人路径规划,从而使机器人在实际应用中更加灵活方便;另一方面可以提供直观便捷的人机接口,便于人们根据实际需要安排机器人作业.把机器人运行的真实路径网络绘制成平面地图嵌入到导航系统中.当输入机器人的目的地时,机器人根据迪杰斯特拉算法找出一条从当前位置到目的地的最优路径,并能够直观的显示机器人将要经过哪些路口和节点。

4、编码识别.为了正确定位并且按照规划路径行走,提出了一套对不同节点进行编排序号的编码方案.编码方案:编码区域分为九个矩形框,每个框代表一个码字区域,编码形式为0、1字符串,即在每个框内放置黑色矩形块与白米表示1或者0.通过图像处理来识别这些矩形框并判断编码的字符串,然后进行十进制解码就可以得到该节点出的编码。

5、模糊决策及转弯控制.为了让机器人沿着规划的导航线行走,需要控制机器人的左右轮速.提出了虚拟定标线方法和利用了模糊控制策略.虚拟定标线是视频图像上一组虚拟直线,由摄像头的俯仰角决定.如果导航线不在机器人视野中间的一定范围内,则机器人必定偏离了规划路径,于是可以计算出偏离距离 d .不需要全局坐标系,仅通过比较导航线和定标线的夹角,就可以方便地计算出机器人偏离导航线的倾斜角 θ .然后按照不同的隶属度函数,对计算出的距离 d 和倾斜角 θ 进行模糊划分,从而构造出一个模糊查找表并按照经验值填表,于是就实现了对机器人的模糊控制.在转弯路口前的导航线上设置断点,通过图像处理找到该断点,可以执行转弯策略,即机器人轮速下降,减小惯性,就可以实现机器人的平稳转弯控制。

机器人目前能够识别出导航线,在模糊控制下能够调整姿态,稳定的前进行和转弯;能够识别地面编码、存储电子地图和自主路径规划.在此基础上机器人能够完成指定的简单任务,如机器人巡检等。

下一步的工作是研究基于单目视觉的机器人避障问题,主要处理两种障碍物,即凸出物和凹陷坑.目前,课题组正在针对这两种情况研究避障策略。

10. 学位论文 薛东飞 分布式传感器环境下的行为控制 2008

移动机器人在许多场合被给予了替代人类自动执行某些日常性与危险性任务的厚望.在移动机器人的相关研究中,导航与定位技术是其核心技术,也是移动机器人实现真正的智能化和完全自主移动的关键技术。

无线传感器网络是由大量密集布设在监控区域的、具有通信与计算能力的微小传感器节点,以无线的方式连接构成的自治测控网络系统.无线传感器网络是继因特网(Internet)之后,将对21世纪人类生活方式产生重大影响的IT热点技术之一.无线传感器网络的定位功能为将无线传感器网络应用于移动机器人的定位和导航提供了可能。

由于现有机器人导航技术,比如说:惯性导航,视觉导航,基于GPS定位系统的导航,存在着相当多的不足之处,运算量大,难以存储,鲁棒性差,价格较高.因此本论文将无线传感器网络引入到移动机器人的研究中来,提出了基于无线传感器网络行为控制的环境建模和机器人导航新算法。

无线传感器网络的行为包括:单个节点的行为竞争(握手,睡眠,通讯等),网络节点间的组织行为,整个网络的合作行为(环境建模),以及基

于无线传感器网络的机器人控制.

全文主要的研究工作总结如下:

1, 无线传感器网络的组织行为

对于泛洪的网络信息传播方式进行了研究, 从通讯效率和分布效率两方面进行了讨论. 为了降低路由开销, 实现网络信息的高效传输. 通过传感器簇点的分布式自主式选择激活和簇内节点竞争式的行为控制实现网络能量的均衡消耗, 达到延长无线传感器网络和导航系统寿命的目的. 并且还设计了适用于无线传感器的分布式算法, 并进行了仿真.

2, 无线传感器网络的合作行为

结合无线传感器网络多元化监测, 分布式放置的特点, 提出了一种基于竞争性聚类风格算法的环境建模方法, 利用无线传感器网络采集的分布环境信息, 通过对传感器节点之间的通讯合作进行控制, 从而建立具有良好动态特性的环境模型和拓扑地图. 并且将此算法推广到分布式智能体系中, 完成了分布式环境建模的方法.

3, 基于无线传感器网络的移动机器人路径规划

利用无线传感器网络对环境动态实时监测的特点, 提出了一种基于无线传感器网络的移动机器人在线路径规划方法, 适用于动态变化环境中移动机器人导航应用的要求.

4, 导航系统仿真和实验验证

设计实现了一个基于无线传感器网络的移动机器人导航仿真系统, 建立了机器人工作区域的地理环境模型和环境拓扑地图, 并进行了移动机器人导航实验. 实验结果表明, 所构建的基于无线传感器网络的导航系统能够满足移动机器人的导航应用要求.

引证文献(214条)

1. 模糊控制在移动机器人路径规划中的应用[期刊论文]-计算机工程与应用 2009(31)
2. 邓高峰, 张雪萍, 刘彦萍 一种障碍环境下机器人路径规划的蚁群粒子群算法[期刊论文]-控制理论与应用 2009(8)
3. 祝琨, 杨唐文, 阮秋琦, 王红波, 韩建达 基于双目视觉的运动物体实时跟踪与测距[期刊论文]-机器人 2009(4)
4. 柴宝仁, 郑晓东, 吕丹 移动机器人自动定位方法研究[期刊论文]-科技信息 2009(17)
5. 纪萃萃 一种基于元胞自动机的机器人运动规划算法[期刊论文]-山东教育学院学报 2009(3)
6. 赵慧, 阮祥伟 多足步行机器人单腿柔性建模与仿真[期刊论文]-机床与液压 2009(6)
7. 刘莉丽 基于凸区划分的移动机器人路径规划算法[期刊论文]-信息技术 2009(5)
8. 刘旭涛, 林福严 门卫机器人移动平台的设计及运动控制[期刊论文]-机电产品开发与创新 2009(3)
9. 苑丕伟, 张小超, 胡小安 苹果采摘路径规划最优化算法与仿真实现[期刊论文]-农业工程学报 2009(4)
10. 廖卫强, 李振宇 基于遗传势场法的足球机器人路径规划[期刊论文]-集美大学学报(自然科学版) 2009(2)
11. 刘羽楠, 高飞, 石建飞 清洁机器人全覆盖算法的研究[期刊论文]-中国新技术新产品 2009(6)
12. 容茂成, 祖丽楠, 杨鹏 移动机器人听觉定位技术研究[期刊论文]-机器人技术与应用 2009(1)
13. 梁毓明, 徐立鸿 移动机器人路径规划技术的研究现状与发展趋势[期刊论文]-机电一体化 2009(3)
14. 毛立民, 吕勤 移动机器人多功能电源的设计及应用[期刊论文]-制造技术与机床 2009(3)
15. 孙亮, 王巍然, 阮晓钢, 于建均 双轮自平衡机器人行走伺服控制算法[期刊论文]-控制工程 2009(2)
16. 田琦, 张国良, 刘岩 全方位移动机器人模糊PID运动控制研究[期刊论文]-现代电子技术 2009(5)
17. 郭闯强, 尤波, 令狐丹, 肖永强 基于TMS320DM642芯片和COFDM技术的移动机器人无线监控系统设计[期刊论文]-哈尔滨理工大学学报 2009(1)
18. 吕勤, 徐首鑫 基于工控机+DSP的移动机器人控制系统设计[期刊论文]-电气传动自动化 2009(1)
19. 于洪艳 基于模糊自适应算法的肢体机器人力控制研究[期刊论文]-机械与电子 2009(2)
20. 谭永宏, 陈爱武 轮式移动机器人的模糊轨迹跟踪控制[期刊论文]-制造业自动化 2009(2)
21. 毛立民, 吕勤 移动机器人多功能电源的设计及应用[期刊论文]-仪器仪表用户 2009(1)
22. 阮晓钢, 程怀玉, 于乃功, 左国玉 一级直线倒立摆匀速行走的模糊控制研究与实现[期刊论文]-计算机测量与控制 2009(1)
23. 周兴超, 段智敏 移动机器人的避障模糊算法[期刊论文]-沈阳理工大学学报 2008(4)
24. 辛江慧, 李舜酩, 廖庆斌 基于传感器信息的智能移动机器人导航评述[期刊论文]-传感器与微系统 2008(4)
25. 张学习, 杨宜民, 何启承 多机器人系统的一种快速会话建立方法[期刊论文]-计算机工程与应用 2008(35)
26. 李锐, 毛立民, 于海涛 基于DSP的自主越障机器人控制系统设计[期刊论文]-机械设计与制造 2008(11)

27. 郭彤颖, 蔡安勇, 郑春晖 [移动机器人导航与定位技术研究进展](#)[期刊论文]-[科技广场](#) 2008(7)
28. 容茂成, 祖丽楠, 杨鹏 [移动机器人听觉定位技术研究](#)[期刊论文]-[机器人技术与应用](#) 2008(4)
29. 陈得宝, 李庆, 李群, 李峥 [基于内分泌思想的改进粒子群算法](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2008(10)
30. 张赤斌, 王兴松 [基于蚁群算法的完全遍历路径规划研究](#)[期刊论文]-[中国机械工程](#) 2008(16)
31. 赵涛, 李俊, 周良荣 [一种简单的轮式移动机器人控制器设计](#)[期刊论文]-[燕山大学学报](#) 2008(4)
32. 陈曦, 谭冠政, 江斌 [基于免疫遗传算法的移动机器人实时最优路径规划](#)[期刊论文]-[中南大学学报\(自然科学版\)](#) 2008(3)
33. 廖晓辉, 沈大中, 王东署 [智能轮椅的研究现状与关键技术分析](#)[期刊论文]-[制造业自动化](#) 2008(4)
34. 高云婷, 邢军 [基于可拓控制的机器人路径规划方法研究](#)[期刊论文]-[微计算机信息](#) 2008(11)
35. 常继科, 赵建辉 [基于环境模型的路径规划算法研究](#)[期刊论文]-[科技创新导报](#) 2008(9)
36. 郭再新, 李艳宏, 刘涛 [多移动机器人路径规划技术的研究现状与展望](#)[期刊论文]-[机械](#) 2008(1)
37. 谢贝贝 [移动机器人智能路径规划方法研究](#)[期刊论文]-[福建电脑](#) 2007(10)
38. 谭冠政, 刘关俊 [基于粒子群算法的移动机器人全局最优路径规划](#)[期刊论文]-[计算机应用研究](#) 2007(11)
39. 江万里, 熊蓉, 褚健 [复杂动态环境下基于侧滑力的局部路径规划](#)[期刊论文]-[浙江大学学报\(工学版\)](#) 2007(10)
40. 江贵龙, 李晓明, 刘全浩, 胡旭东 [不确定环境下基于动态子目标搜索的移动机器人导航算法及其实现](#)[期刊论文]-[系统仿真学报](#) 2007(18)
41. 殷炳叶, 马礼, 王韬 [基于MAS的多机器人路径规划研究与应用](#)[期刊论文]-[机械工程与自动化](#) 2007(5)
42. 胡文, 孙容磊 [基于序列图像的视觉定位与运动估计](#)[期刊论文]-[传感器与微系统](#) 2007(7)
43. 袁建明, 武新军, 安佰江, 康宜华 [储罐底板漏磁检测移动机器人的研制](#)[期刊论文]-[石油矿场机械](#) 2007(9)
44. 杨东鹤, 刘喜昂 [智能移动机器人的超声避障研究](#)[期刊论文]-[计算机工程与设计](#) 2007(15)
45. 谭冠政, 贺欢, SLOMAN Aaron [基于ACS算法的移动机器人实时全局最优路径规划](#)[期刊论文]-[自动化学报](#) 2007(3)
46. 刘青峰, 尹久仁 [静态环境下移动机器人MFNN全局路径规划算法研究](#)[期刊论文]-[机械制造与自动化](#) 2007(1)
47. 赵先章, 常红星, 曾隽芳, 高一波 [一种基于粒子群算法的移动机器人路径规划方法](#)[期刊论文]-[计算机应用研究](#) 2007(3)
48. 潘峥嵘, 杜宝强, 王树东, 徐猛 [基于CPLD的彩色视觉移动机器人路径跟踪系统](#)[期刊论文]-[计算机工程与设计](#) 2007(5)
49. 肖潇, 方勇纯, 贺锋, 马博军 [未知环境下移动机器人自主搜索技术研究](#)[期刊论文]-[机器人](#) 2007(3)
50. 唐鸿儒, 宋爱国, 章小兵 [基于宏行为的侦察机器人事务执行机制研究](#)[期刊论文]-[机器人](#) 2007(2)
51. 谢安, 林锦国 [多功能智能简易移动机器人的总体设计](#)[期刊论文]-[机床与液压](#) 2007(7)
52. 戴博, 肖晓明, 蔡自兴, 邹小兵 [一种基于激光雷达的移动机器人环境建模新方法](#)[期刊论文]-[机床与液压](#) 2007(1)
53. 何文浩, 原魁, 邹伟 [一种嵌入式移动机器人控制系统](#)[期刊论文]-[高技术通讯](#) 2007(6)
54. 杨大地, 张雷 [基于分子优化算法的机器人避障规划](#)[期刊论文]-[重庆大学学报\(自然科学版\)](#) 2007(1)
55. 史恩秀, 黄玉美 [自主导航小车AGV定位方法的研究](#)[期刊论文]-[传感技术学报](#) 2007(1)
56. 魏崇竹 [移动机器人视觉信息提取与路径规划研究](#)[学位论文]硕士 2007
57. 魏崇竹 [移动机器人视觉信息提取与路径规划研究](#)[学位论文]硕士 2007
58. 皮旷怡 [未知环境下移动机器人实时避障及定位研究](#)[学位论文]硕士 2007
59. 刘东 [智能控制系统的智能水平评价初期研究](#)[学位论文]博士 2007

60. [王坤坤](#) [基于微粒群算法的移动机器人路径规划研究](#)[学位论文]硕士 2007
61. [TAN Guan-zheng, HE Huan, Aaron Sloman](#) [Global optimal path planning for mobile robot based on improved Dijkstra algorithm and ant system algorithm](#)[期刊论文]-[中南工业大学学报\(英文版\)](#) 2006(1)
62. [陈少斌, 蒋静坪](#) [基于神经网络和粒子群优化算法的移动机器人动态避障路径规划](#)[期刊论文]-[系统仿真技术](#) 2006(4)
63. [雷开友, 邱玉辉, 刘博勤, 贺一](#) [基于改进粒子群算法的移动机器人全局路径规划](#)[期刊论文]-[西南师范大学学报\(自然科学版\)](#) 2006(2)
64. [王俭, 赵鹤鸣, 袁红霞](#) [基于蚂蚁行为的移动机器人局部路径规划](#)[期刊论文]-[苏州科技学院学报\(工程技术版\)](#) 2006(1)
65. [马少华, 蔡诗韵, 曾娟](#) [基于双目视觉的机器人局部路径规划](#)[期刊论文]-[沈阳建筑大学学报\(自然科学版\)](#) 2006(3)
66. [张海涛](#) [基于多超声波传感器的避障系统设计](#)[期刊论文]-[山西科技](#) 2006(1)
67. [谢园园, 朱庆保](#) [动态环境下基于蚁群算法的机器人路径规划](#)[期刊论文]-[南京师范大学学报\(工程技术版\)](#) 2006(3)
68. [樊炳辉, 曾庆良, 车翠莲, 江浩](#) [基于ADAMS的移动机器人仿真](#)[期刊论文]-[中国制造业信息化](#) 2006(9)
69. [徐秀娜, 赖汝](#) [移动机器人路径规划技术的现状与发展](#)[期刊论文]-[计算机仿真](#) 2006(10)
70. [钱善华, 葛世荣, 王永胜, 王勇, 柳昌庆](#) [救灾机器人的研究现状与煤矿救灾的应用](#)[期刊论文]-[机器人](#) 2006(3)
71. [征玉龙, 言勇华](#) [视觉引导下的自主式捡球机器人多目标路径规划算法](#)[期刊论文]-[机电一体化](#) 2006(1)
72. [江贵龙, 金祥克, 胡旭东](#) [基于模糊算法的移动机器人导航](#)[期刊论文]-[机电工程](#) 2006(2)
73. [陈少斌, 蒋静坪](#) [一种改进编码机制在移动机器人路径规划中的应用](#)[期刊论文]-[机床与液压](#) 2006(7)
74. [谢云, 杨宜民](#) [基于单目视觉的自主足球机器人自定位研究](#)[期刊论文]-[电路与系统学报](#) 2006(1)
75. [张毅, 焦江丽](#) [基于Internet的远程控制机器人系统结构设计](#)[期刊论文]-[重庆邮电学院学报\(自然科学版\)](#) 2006(1)
76. [王坤坤, 尹怡欣](#) [基于一种改进PSO的移动机器人路径规划](#)[期刊论文]-[北京邮电大学学报](#) 2006(z2)
77. [贺欢](#) [蚁群算法及其在移动机器人路径规划中的应用](#)[学位论文]硕士 2006
78. [阳田](#) [基于DSP的移动机器人运动控制系统设计](#)[学位论文]硕士 2006
79. [肖潇](#) [未知环境下移动机器人自主搜索技术研究](#)[学位论文]硕士 2006
80. [王淑梅](#) [移动机器人行驶机构与运动控制系统设计](#)[学位论文]硕士 2006
81. [韩永](#) [小型组足球机器人控制系统及运动规划研究](#)[学位论文]硕士 2006
82. [高宁, 彭力, 陈凯健](#) [粮仓环境检测智能巡检小车研制](#)[期刊论文]-[现代电子技术](#) 2010(1)
83. [马洪涛](#) [移动机器人视觉系统的研究与开发](#)[学位论文]硕士 2006
84. [陈全福](#) [智能移动机器人平台控制系统设计](#)[学位论文]硕士 2006
85. [邓云伟](#) [轮式移动机器人运动控制技术研究](#)[学位论文]硕士 2006
86. [况菲](#) [移动机器人二维空间路径规划方法研究](#)[学位论文]硕士 2006
87. [张玉文](#) [基于四腿机器人足球比赛的自主定位研究](#)[学位论文]硕士 2006
88. [郭旭](#) [全方位移动机器人的运动预测控制](#)[学位论文]硕士 2006
89. [齐东流](#) [基于智能控制的AGV路径规划研究](#)[学位论文]硕士 2006

90. [刘海霞](#) 基于多传感器行为融合基础上的AGV导航研究[学位论文]硕士 2006
91. [王兴博](#) 架空电力线路巡检飞行器机器人路径规划研究[学位论文]硕士 2006
92. [洪亮](#) 机器人杆件开孔对其精度影响的研究[学位论文]硕士 2006
93. [伊峰](#) 机器人肢体动作合成建模及仿真实现[学位论文]硕士 2006
94. [张勇波](#) 自动导引小车 (AGV) 路径跟踪控制策略的研究[学位论文]硕士 2006
95. [李睿](#) 室内移动机器人导航技术研究[学位论文]硕士 2006
96. [刘雪飘](#) 机器人足球比赛中的动态路径规划研究与系统软件设计[学位论文]硕士 2006
97. [张涂](#) 机械手控制实验平台的设计与开发[学位论文]硕士 2006
98. [王丽萍](#) X射线摄影医疗系统的运动学计算[学位论文]硕士 2006
99. [王巍](#) 轻型玻璃幕墙清洗机器人结构方案设计研究[学位论文]硕士 2006
100. [田进权](#) 竞赛型移动机器人视觉系统的开发和研究[学位论文]硕士 2006
101. [刘晓垒](#) 五轴焊接机器人控制系统研制及动力学分析[学位论文]硕士 2006
102. [刘奎](#) 移动机器人完全遍历系统研究[学位论文]硕士 2006
103. [肖振伟](#) 基于双DSP结构的移动机器人控制系统设计及环境地图创建技术的研究[学位论文]硕士 2006
104. [谢斌](#) 移动机器人遍历运动规划与多机器人仿真软件开发[学位论文]硕士 2006
105. [葛永喜](#) 移动机器人路径规划研究[学位论文]硕士 2006
106. [沈猛](#) 轮式移动机器人导航控制与路径规划研究[学位论文]博士 2006
107. [赵永利](#) 基于Voronoi图的机器人局部路径规划[学位论文]硕士 2006
108. [宋国栋](#) 移动机器人组合导航系统设计与应用的研究[学位论文]硕士 2006
109. [王嘉晖](#) 履带式移动机器人局部路径规划和路径跟踪[学位论文]硕士 2006
110. [吕太之](#) 智能移动机器人全局路径规划及仿真[学位论文]硕士 2006
111. [朱徐华](#) 网络环境下移动机器人的建模与控制方法研究[学位论文]硕士 2006
112. [方岗](#) 六轮腿自主移动机器人结构设计和模糊控制技术研究[学位论文]硕士 2006
113. [许伟](#) 基于激光雷达环境信息处理的机器人定位/导航技术研究[学位论文]硕士 2006
114. [许伟](#) 基于激光雷达环境信息处理的机器人定位/导航技术研究[学位论文]硕士 2006
115. [于金峰](#) 地面火力攻击机器人指挥控制系统软件设计[学位论文]硕士 2006
116. [何付同](#) 小型地面移动机器人控制系统研究[学位论文]硕士 2006
117. [郑崇](#) 微小型机器人视觉导航道路检测跟踪算法的研究[学位论文]硕士 2006
118. [欧屹](#) MROBOT机械系统设计与动力学分析研究[学位论文]硕士 2006
119. [唐鸿儒](#), [宋爱国](#) 半自主侦察机器人研究[期刊论文]-[制造业自动化](#) 2005(12)
120. [庄严](#), [王伟](#), [王珂](#), [徐晓东](#) 移动机器人基于激光测距和单目视觉的室内同时定位和地图构建[期刊论文]-[自动化学报](#) 2005(6)
121. [张捍东](#), [郑睿](#), [岑豫皖](#) 移动机器人路径规划技术的现状与展望[期刊论文]-[系统仿真学报](#) 2005(2)
122. [杨放琼](#), [谭青](#), [彭高明](#), [R.A.Willgoss](#) 两轮驱动移动机器人系统误差分析及校正[期刊论文]-[现代机械](#) 2005(4)
123. 自主足球机器人的单目视觉自定位方法[期刊论文]-[微电子学与计算机](#) 2005(10)
124. [汪卫红](#), [王刚](#) 目标追踪位置估计的单目视觉算法[期刊论文]-[天津理工大学学报](#) 2005(3)
125. [石鸿雁](#), [孙茂相](#), [孙昌志](#) 未知环境下移动机器人路径规划方法[期刊论文]-[沈阳工业大学学报](#) 2005(1)

126. [李贻斌, 李彩虹, 宋锐, 刘鲁源, 王睿](#) [基于混沌控制的多目标不确定环境下移动机器人路径规划](#)[期刊论文]-[山东大学学报\(工学版\)](#) 2005(3)
127. [陈尔奎, 曹志强, 谭民](#) [移动机器人路径规划策略](#)[期刊论文]-[南京理工大学学报\(自然科学版\)](#) 2005(z1)
128. [金秀慧, 伊连云, 付莹莹, 牟世刚](#) [基于通用运动学模型的移动机器人避障路径规划](#)[期刊论文]-[机械工程师](#) 2005(12)
129. [龙飞, 孙德宝, 秦元庆](#) [动态环境下机器人路径规划的一种新方法](#)[期刊论文]-[计算机与数字工程](#) 2005(2)
130. [廖祝华, 刘晓平, 刘松林](#) [曲线形套装路径规划算法研究](#)[期刊论文]-[计算机工程与应用](#) 2005(17)
131. [李果, 刘少军](#) [基于改进蚁群算法的移动机器人路径规划](#)[期刊论文]-[控制工程](#) 2005(5)
132. [戴博, 肖晓明, 蔡自兴](#) [移动机器人路径规划技术的研究现状与展望](#)[期刊论文]-[控制工程](#) 2005(3)
133. [苑国强, 张卫锋, 樊炳辉](#) [变形移动机器人在一种运动姿态下的动力学分析](#)[期刊论文]-[机床与液压](#) 2005(6)
134. [黄英亮, 方宗德, 孙树栋, 顾学民](#) [攀爬机器人时间最优控制算法研究](#)[期刊论文]-[机床与液压](#) 2005(4)
135. [周兰凤, 洪炳镛](#) [一种基于APGA的移动机器人路径规划算法](#)[期刊论文]-[哈尔滨工业大学学报](#) 2005(7)
136. [刘金会, 郝静如](#) [自主移动机器人导航定位技术研究初探](#)[期刊论文]-[传感器世界](#) 2005(1)
137. [张卫锋](#) [变形移动机器人的虚拟仿真和动力学分析](#)[学位论文]硕士 2005
138. [彭胜军](#) [便携式移动机器人手持监控系统设计与研究](#)[学位论文]硕士 2005
139. [刘玉鹏](#) [多传感器系统及其在机器人定位中的应用](#)[学位论文]硕士 2005
140. [汪卫红](#) [户外小车标线及障碍物视觉检测系统](#)[学位论文]硕士 2005
141. [崔月盟](#) [基于强化学习和视觉导航的移动机器人控制](#)[学位论文]硕士 2005
142. [刘兵](#) [移动机械手协调控制技术的研究](#)[学位论文]硕士 2005
143. [车翠莲](#) [基于虚拟样机技术的变形移动机器人的动力学研究](#)[学位论文]硕士 2005
144. [毛琳波](#) [基于仿生行为的多机器人协作运动规划](#)[学位论文]硕士 2005
145. [李枚毅](#) [基于免疫机制和多示例学习的移动机器人进化导航研究](#)[学位论文]博士 2005
146. [王力虎](#) [室内自主清扫机器人路径规划研究](#)[学位论文]硕士 2005
147. [胡小明](#) [基于免疫算法的移动机器人路径规划研究](#)[学位论文]硕士 2005
148. [彭超](#) [基于CAN总线的AGV实验平台的研究](#)[学位论文]硕士 2005
149. [杨华](#) [嵌入式智能机器人平台系统设计](#)[学位论文]硕士 2005
150. [安成万](#) [基于视觉与超声信息的移动机器人定位研究](#)[学位论文]博士 2005
151. [安成万](#) [基于视觉与超声信息的移动机器人定位研究](#)[学位论文]博士 2005
152. [宋佐时](#) [移动机械手协调控制研究](#)[学位论文]博士 2005
153. [张乐杰](#) [基于多传感器信息融合的移动机器人走廊导航研究](#)[学位论文]硕士 2005
154. [杨鹃](#) [多传感器信息融合技术在移动机器人避障中的应用](#)[学位论文]硕士 2005
155. [姚佳](#) [智能小车的避障及路径规划](#)[学位论文]硕士 2005
156. [刘正文](#) [爬行式弧焊机器人控制系统设计、仿真与实验研究](#)[学位论文]硕士 2005
157. [李郁峰](#) [履带式移动机器人及其无线控制的实现](#)[学位论文]硕士 2005
158. [赵传华](#) [基于多智能体的水下机器人协调方法研究](#)[学位论文]硕士 2005
159. [吕晓龙](#) [移动机械手平台系统设计](#)[学位论文]硕士 2005
160. [孙明明](#) [超声导航移动机器人关键技术的研究](#)[学位论文]硕士 2005

161. [严卉](#) [基于视觉的轮式移动机器人目标跟踪技术研究](#)[学位论文]硕士 2005
162. [王惠娟](#) [基于自主视觉的轮式移动机器人路径跟踪控制](#)[学位论文]硕士 2005
163. [欧阳灿](#) [自主移动机器人磁化路径导航信息生成理论与系统的研究](#)[学位论文]硕士 2005
164. [李从清](#), [孙立新](#), [戴士杰](#), [武方](#) [声源定位分离技术在机器人领域的应用](#)[期刊论文]-[电声技术](#) 2010(1)
165. [欧阳灿](#) [自主移动机器人磁化路径导航信息生成理论与系统的研究](#)[学位论文]硕士 2005
166. [张娜](#) [全区域覆盖自主移动机器人数字化环境的建立与定位系统的研究](#)[学位论文]硕士 2005
167. [张娜](#) [全区域覆盖自主移动机器人数字化环境的建立与定位系统的研究](#)[学位论文]硕士 2005
168. [江水明](#) [六轮自主移动机器人动力学建模与控制的研究](#)[学位论文]硕士 2005
169. [施文](#) [多机器人通讯网络的路由协议的研究](#)[学位论文]硕士 2005
170. [吴波](#) [基于冲突分解算法的行走机器人避障技术分析](#)[学位论文]硕士 2005
171. [吴波](#) [基于冲突分解算法的行走机器人避障技术分析](#)[学位论文]硕士 2005
172. [孟伟](#) [基于多传感器融合的机器人自主导航研究](#)[学位论文]博士 2005
173. [谢云](#) [全自主机器人足球比赛系统的通信与多传感器信息融合技术](#)[学位论文]博士 2005
174. [李明博](#) [蛇形仿生机器人的研究](#)[学位论文]硕士 2005
175. [韩晓玉](#) [三肢体仿生机器人步态规划及仿真实验研究](#)[学位论文]硕士 2005
176. [高林](#) [两轮自平衡机器人建模与仿真](#)[学位论文]硕士 2005
177. [谷柏峰](#) [三肢体仿生机器人足踝部设计研究](#)[学位论文]硕士 2005
178. [李威](#) [两轮自平衡机器人控制系统研制](#)[学位论文]硕士 2005
179. [宋铁兵](#) [自主移动机器人控制实验研究](#)[学位论文]硕士 2005
180. [杨慧珍](#) [基于激光测距器的障碍检测和环境地图生成](#)[学位论文]硕士 2005
181. [李桂芝](#) [自主移动机器人导航定位技术研究](#)[学位论文]博士 2005
182. [段俊花](#) [足球机器人系统路径规划研究](#)[学位论文]硕士 2005
183. [张敏](#) [水下机械手设计及仿真研究](#)[学位论文]硕士 2005
184. [冯跃刚](#) [机器人足球策略软件开发平台研究](#)[学位论文]硕士 2005
185. [陈学锋](#) [教学型移动机器人嵌入式控制开发平台设计](#)[学位论文]硕士 2005
186. [陈华华](#) [视觉导航关键技术研究：立体视觉和路径规划](#)[学位论文]博士 2005
187. [张翻](#) [全方位移动机器人的运动建模与控制](#)[学位论文]硕士 2005
188. [吴太国](#) [吸尘机器人系统的开发及路径规划的研究](#)[学位论文]硕士 2005
189. [宓子宁](#) [基于微型仿生六足机器人的多机器人群体协调控制](#)[学位论文]硕士 2005
190. [张彦俊](#) [适合网络控制的机械臂与移动机器人系统开发与实现](#)[学位论文]硕士 2005
191. [刘喜昂](#), [周志宇](#) [移动机器人的超声模糊避障算法](#)[期刊论文]-[微计算机信息\(测控仪表自动化\)](#) 2004(1)
192. [王仲民](#), [刘继岩](#), [岳宏](#) [移动机器人自主导航技术研究综述](#)[期刊论文]-[天津职业技术师范学院学报](#) 2004(4)
193. [乔凤斌](#), [谢霄鹏](#), [杨汝清](#) [六轮移动机器人包容地形研究](#)[期刊论文]-[机械设计与研究](#) 2004(5)
194. [吕永刚](#), [谢存禧](#) [移动机器人的导航与路径规划的研究](#)[期刊论文]-[机电工程技术](#) 2004(1)
195. [谢云](#), [杨宜民](#) [全自主机器人足球系统的研究综述](#)[期刊论文]-[机器人](#) 2004(5)
196. [乔凤斌](#), [杨汝清](#) [六轮移动机器人爬楼梯能力分析](#)[期刊论文]-[机器人](#) 2004(4)
197. [秦元庆](#), [孙德宝](#), [李宁](#), [马强](#) [基于粒子群算法的移动机器人路径规划](#)[期刊论文]-[机器人](#) 2004(3)

198. [高健](#), [黄心汉](#), [彭刚](#), [杨其宇](#), [杨涛](#) [基于Fuzzy-PID的移动机器人运动控制](#)[期刊论文]-[控制工程](#) 2004(6)
199. [周浦城](#), [洪炳镕](#), [杨敬辉](#) [基于混沌遗传算法的移动机器人路径规划方法](#)[期刊论文]-[哈尔滨工业大学学报](#) 2004(7)
200. [张明路](#), [丁承君](#), [段萍](#) [移动机器人的研究现状与趋势](#)[期刊论文]-[河北工业大学学报](#) 2004(2)
201. [吴晓雨](#) [物流系统中AGV路径规划算法的研究](#)[学位论文]硕士 2004
202. [范波](#) [基于Agent的多机器人信息融合与协调研究](#)[学位论文]博士 2004
203. [吴涛](#) [移动机器人避障与路径规划研究](#)[学位论文]硕士 2004
204. [徐则中](#) [移动机器人的同时定位和地图构建](#)[学位论文]博士 2004
205. [庄严](#) [移动机器人基于多传感器数据融合的定位及地图创建研究](#)[学位论文]博士 2004
206. [郑向阳](#) [自主式移动机器人路径规划研究](#)[学位论文]硕士 2004
207. [原新](#) [智能机器人视觉信息处理及数据融合方法研究](#)[学位论文]博士 2004
208. [梁冰](#) [基于视觉与行为模型的月球机器人自主导航](#)[学位论文]博士 2004
209. [王志文](#), [郭戈](#) [移动机器人导航技术现状与展望](#)[期刊论文]-[机器人](#) 2003(5)
210. [朴松昊](#), [洪炳镕](#) [一种动态环境下移动机器人的路径规划方法](#)[期刊论文]-[机器人](#) 2003(1)
211. [吴秋轩](#), [曹广益](#) [家用服务型吸尘机器人的发展与现状](#)[期刊论文]-[电气传动自动化](#) 2003(6)
212. [吴涛](#), [黄心汉](#), [黄振宇](#) [基于Linux的多移动机器人通信的原理与实现方法](#)[期刊论文]-[电工技术杂志](#) 2003(12)
213. [孙华](#), [陈俊风](#), [吴林](#) [多传感器信息融合技术及其在机器人中的应用](#)[期刊论文]-[传感器技术](#) 2003(9)
214. [孔峰](#), [陶金](#), [谢超平](#) [移动机器人路径规划技术研究](#)[期刊论文]-[广西工学院学报](#) 2009(4)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jqr200205020.aspx

下载时间: 2010年5月31日