

基于扫描法在线构造拓扑图的路径规划算法

种^超, 陈阳舟, 崔平远, 居鹤华

(北京工业大学电控学院, 北京 100022)

摘要: 该文提出了一种基于扫描法在线构造环境拓扑图的路径规划算法。与传统路图法相比, 该算法利用扫描的方法搜索障碍物切点, 并构造环境拓扑图, 降低了计算复杂度, 提高了实用性; 利用启发式函数选择适当的离开点进行扩展, 并逐步完善拓扑图, 避免了一次性构造整个环境拓扑图所带来的不必要的大计算量。通过“沿直线行走”和“绕障碍物行走”这两种行为模式的切换, 保证机器人顺利地避开障碍物到达目标位置。该算法的计算复杂度低, 易于在线实现, 并在仿真中得到了验证。

关键词: 移动机器人; 路径规划; 扫描法; 拓扑图

中图分类号: TP242 **文献标识码:** A

Path Planning Algorithm Based on Topology Map Structured by Sweep Method

CHONG Cheng, CHEN Yang - zhou, CUI Ping - yuan, JU He - hua

(Department of Electronic Information & Control Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

ABSTRACT: In this paper, we propose a sweep - based path planning algorithm, in which sweep method is introduced to search obstacle's tangent points and structure topology map, independent of the geometric shapes and vertices of the obstacles. According to the structured partial topology map of the environment and global information, heuristic function is used to select a leaving point for expanding, and update the structured topology map, till a traversable path between starting point and goal is found in the topology map. Two behavioral modes, "go straight line" and "boundary following", guarantee that the robot can achieve the goal safely. The simulation results prove the effectiveness and correctness of this algorithm. In short, this algorithm has lower computational complexity compared with other existing roadmap algorithms, and is easy to realize on - line.

KEYWORDS: Mobile robot; Path planning; Sweep method; Topology map

1 引言

移动机器人路径规划问题是指如何在有障碍物的工作环境中, 寻找一条从起点到终点的适当路径, 使机器人能够安全且无碰撞的绕过障碍物, 达到目标点。目前, 解决机器人路径规划问题的基本方法有栅格法, 人工势场法和路图法等^[3]。栅格法具有特别强的适应性, 可应用于各种障碍物环境, 但占用的存储空间大, 计算复杂性大^[2]。人工势场法则存在着陷入局部最优的问题^{[2][4]}。路图法根据障碍物的几何特性构造环境拓扑图, 并在此基础上搜索无碰撞的优化路径, 包括可视图法、切线图法等^{[2][6]}。在可视图法基础上提

出的切线图法虽然有效地减小了计算的复杂度, 但在构造拓扑图时, 仍对环境中的障碍物的几何信息要求高^[7]。

本文所提出的算法不依赖于障碍物的顶点信息, 而是应用扫描法搜索障碍物切点, 并构造环境拓扑图。在考虑已构造的部分环境拓扑图和全局信息的基础上, 利用启发式函数选择适当的离开点进行扩展, 并将新构造的拓扑图与原拓扑图合并, 实现对原拓扑图的扩充, 直到拓扑图中存在由起点到目标点的可行路径为止。同时, 通过在“沿直线行走”和“绕障碍物行走”两种行为模式之间切换, 保证机器人能顺利地避开障碍物到达目标点。

由于此算法在构造拓扑图时不依赖障碍物的顶点信息, 因此可以适用于任何形状的障碍物, 且计算的复杂度低。同时, 通过启发式函数选择适当的离开点进行扩展, 并在此基

基金项目: 国家自然科学基金 (项目编号: 60374067) 资助项目。

收稿日期: 2005 - 01 - 25

基础上逐步地构造和完善环境拓扑图,而不是一次性地构造整个环境的拓扑图,从而降低了计算量,且易于在线实现。同时此算法还具有完整性和正确性的优点。

2 基于扫描法的路径规划算法

本文提出的基于扫描法构造拓扑图的路径规划算法可以分为两步:1)应用扫描法搜索障碍物切点,构造和逐步扩展环境拓扑图;2)根据已构造的部分环境拓扑图和全局信息,利用启发式函数选择适当的离开点进行扩展。

2.1 扫描法构造环境拓扑图

在二值图像中,通过一个只由 0 和 1 组成的矩阵来描述图像。在白区,像素值为 1;在黑区,像素值为 0;因此,当用二值图像来表示环境时,如用黑色代表障碍物所占区域,用白色代表可行区域,则可以通过像素值 0 和 1 来区分障碍区与可行区。

所谓扫描法,如图 1 所示,即以机器人当前点(离开点或起始点)所在位置为一端点,分别以二值图像边缘上的各个像素点为另一端点做直线段。在画每一条线的过程中,利用柏森汉算法逐个计算应画的像素点,并判断这些像素点的像素值。若一直到画完此线,均未遇到像素值为 0 的点,则表明此线段完全落在可行域,且不与任何障碍物相交或相切。若只遇到一个像素值为 0 的点,则所画线段完全落在可行域,且与障碍物相切,像素值为 0 的点即为切点。若像素值为 0 的点多于一个,则所画线段与障碍物相交。

利用上述扫描法对整个环境进行扫描,便可以搜索到当前点到相对于其可见的所有障碍物的切线及各个相应的切点,其中切线即为可行路径。定义切点所属的障碍物边缘上到目标点欧氏距离最近的点为离开点,则切点和与其在同一障碍物上的离开点之间

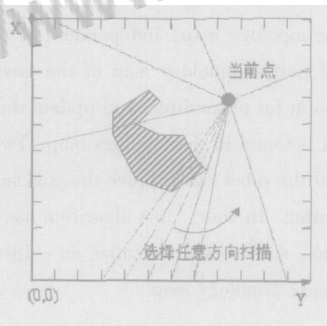


图 1 扫描法搜索切线

的障碍物边缘曲线也为可行路径。

在每次扫描(扩展)后,将新得到的切线和相应曲线作为新构造的路径,和原有拓扑图合并,实现对原有拓扑图的扩充,如此循环直到拓扑图中存在由起点到目标点的可行路径为止。在构造拓扑图时,并不是一次性的构造整个环境的拓扑图,而是根据启发式函数有选择的对离开点进行扩展,并逐步完善拓扑图,从而降低了计算量。

2.2 启发式函数的构造

根据已经构造的部分环境拓扑图和全局信息,按照启发式函数选择适当的离开点做下一步的扩展(扫描)。定义启发式函数为 $f(n) = \min(g(n)) + h(n)$,其中 $\min(g(n))$ 为根据已构造的部分环境拓扑图,由起点 S 到点离开点 n 的最短可行路径长度。 $h(n) = d(n, goal)$,为离开点 n 到目标点

$goal$ 的欧氏距离,其中 $n \in L$, L 为离开点集。在启发式函数的构造中,既考虑了已知信息的影响,即根据已构造的部分环境拓扑图选取 $\min(g(n))$,又考虑到了全局信息的影响,即 $h(n) = d(n, goal)$,保证了全局收敛。根据启发式函数选择 $f(n)$ 最小的离开点进行下一步扩展。

2.3 两种行为模式

在本文所提出的算法中,将机器人的行为分成两种模式,即“沿直线行走”模式和“绕障碍物行走”模式。如图 2 所示。

当机器人由当前离开点(或起始点) A 向障碍物切点 T_1 行走的过程中,机器人在“沿直线行走”模式下沿直线行走。在达到切点 T_1 后,机器人切换到“绕障碍物行走”模式,绕障碍物边缘行走。在绕障碍物行走的过程中,当离

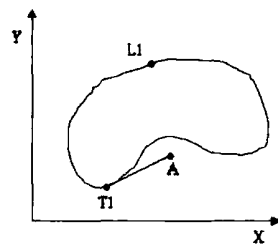


图 2 两种行为模式切换

开条件满足以后(即到达离开点 L),机器人离开障碍物边缘,切换回“沿直线行走”模式。对两种行为模式的描述如下:

当下列条件满足时,“沿直线行走”模式结束:

- 1) 机器人到达目标点,算法停止;
- 2) 机器人行走至障碍物切点,切换到“绕障碍物行走”模式。

当满足下列条件时,“绕障碍物行走”模式结束:

- 1) 到达目标点,算法结束;
- 2) 满足离开条件,切换到“沿直线行走”模式。

2.4 本文所提算法的流程图

应用扫描法搜索障碍物切点,并构造环境拓扑图的路径规划算法流程图如图 3 所示。

3 算法的证明

在这一部分将证明,如果目标点 $goal$ 相对于起始点 S 可达,则在起始点 S 与目标点 $goal$ 之间一定存在着一条有限长的可行路径,即算法满足完整性和正确性。

假设一个点状机器人在一个存在有限障碍物的二维平面中工作。定义障碍物的内部为障碍区,障碍区以外的环境均为可行区。定义每个障碍物的周长是有限的。

推论 1:在任意一个“沿直线行走”的行为模式中,机器人所走过的直线路径 $L_i T_{i+1}$ 的长度 $d(L_i T_{i+1})$ 是有限的。

证明:在“沿直线行走”模式中,机器人的行走路线为障碍物 O_i 上的离开点 L_i 到障碍物 O_{i+1} 上的切点 T_{i+1} 之间的直线 $L_i T_{i+1}$ 。由于环境的大小是有限的,所以连接环境中两点的直线长度 $d(L_i T_{i+1})$ 一定是有限。

推论 2:在任意一个“绕障碍物行走”的行为模式中,机器人所走过的曲线路径长度是有限的。

证明:机器人“绕障碍物行走”的行为模式开始于障碍

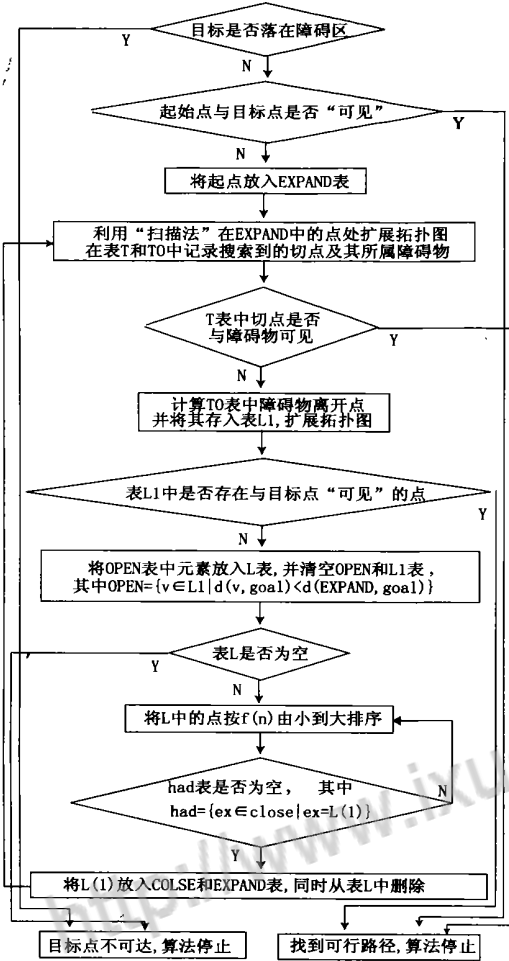


图3 算法流程图

物 O_i 上的切点 T_i , 终止于 O_i 上的离开点 L_i 。用 $meas([T_i, L_i])$ 表示曲线 $\widehat{T_i L_i}$ 的长度。用 ∂O_i 表示障碍物 O_i 的边缘, 则 $meas([T_i, L_i]) \leq meas(\partial O_i)$ 。因为 ∂O_i 是 ∂O_i 的一部分, 所以 $meas([T_i, L_i]) \leq meas(\partial O_i)$ 。因为障碍物的周长是有限的, 进而推知 $meas([T_i, L_i]) < \infty$ 。所以, 推论2得证。

推论3: 在由起点 S 到目标点 $goal$ 的可行路径中离开点 L 的数目 n 是有限的, 且 $n \leq N$, 其中 N 为环境中存在的障碍物的个数。

证明: 在本文所提出的算法中, 定义障碍物 O_i 边缘上距离目标点最近的点为离开点 L_i 。所以, 离开点和障碍物之间存在一一对应的关系。同时, 算法中对 $OPEN$ 表的定义 $OPEN = \{v \in L1 | d(v, goal) < d(L_i, goal)\}$ 也保证在一条路径上, 同一个离开点是不会重复出现的。因为在一个环境中存在的障碍物数量是有限的, 假设障碍物的个数为 N , 则在由起点 S 到目标点 $goal$ 的可行路径中离开点 L 的数目 $n \leq N$ 。

推论4: 存在于同一条路径上的两个相继离开点 L_i, L_{i+1} 之间的路径长度 $meas([L_i, L_{i+1}])$ 是有限的。

证明: 存在于同一条路径上的两个相继的离开点 L_i, L_{i+1} 之间的路径 $\widehat{L_i L_{i+1}}$ 可分解为直线 $\overrightarrow{L_i T_{i+1}}$ 和曲线 $\widehat{T_{i+1} L_{i+1}}$, 即 $\widehat{L_i L_{i+1}} = \overrightarrow{L_i T_{i+1}} + \widehat{T_{i+1} L_{i+1}}$ 。由前述推论1, 2可知, $d(\overrightarrow{L_i T_{i+1}}) < \infty, meas(\widehat{T_{i+1} L_{i+1}}) < \infty$, 所以 $meas(\widehat{L_i L_{i+1}}) = d(\overrightarrow{L_i T_{i+1}}) + meas(\widehat{T_{i+1} L_{i+1}}) < \infty$ 。

推论5: 依据此算法构造的路径一定落在可行域中, 即算法满足正确性。

证明: 在应用此算法构造的拓扑图中, 包括直线和曲线两部分。此算法通过扫描的方式搜索当前点 (S 或 L_i) 到各个相对于其“可见”的障碍物的切线。扫描法的特性保证切线完全落在可行域中。从障碍物的切点 T_i 开始, 机器人绕障碍物边缘行走, 一直到达离开点 L_i 。障碍物边缘曲线 $\widehat{T_i L_i}$ 构成拓扑图的曲线部分。根据前述的定义, 障碍物边缘也属于可行域。综上所述, 整个拓扑图均落在可行域中。

定理1: 若目标点可达, 则在起始点 S 与目标点 $goal$ 之间存在着一条有限长的路径。

证明: 根据本文所提算法可知, “沿直线行走”和“绕障碍物行走”这两种行为模式在离开点 L_i 进行切换。推论3保证在一条路径上离开点 L 的数目 n 是有限的, 所以“沿直线行走”和“绕障碍物行走”两种行为模式的切换次数是有限的。同时, 推论4保证在两个相继离开点之间, 最多存在一条直线段和一条曲线段, 所以在一条路径上直线和曲线的总数是有限的。由推论1, 2可知, 直线和曲线的长度都是有限的。综上所述可知, 起始点 S 与目标点 $goal$ 之间的路径长度是有限的。

定理2: 若目标点可达, 则在起始点与目标点之间一定存在可行路径, 即算法的完整性。

证明: 推论3保证在一条路径上离开点的数目是有限的, 所以若目标点可达, 则一定存在最后一个离开点, 在此点机器人切换到“沿直线行走”模式, 并到达目标点。

推论6: 根据此算法所生成的路径的长度上限为 $D_{max} = (n+1) * diag + \sum_{i=1}^n meas(\partial O_i)$, 其中 n 为路径中离开点的数目, $diag$ 为矩形环境的对角线长度, $meas(\partial O_i)$ 为 L_i 所属的障碍物周长。

证明: 由起始点 S 到目标点 $goal$ 的路径由直线和曲线组成, 其中直线部分总长度 $Dl = \sum_{i=1}^{n-1} d(\overrightarrow{L_i T_{i+1}}) + d(\overrightarrow{S, T_1}) + d(\overrightarrow{L_n, goal})$ 曲线部分总长度 $Dc = \sum_{i=1}^n meas(T_i, L_i)$, 路径的总长度 $D = Dl + Dc$ 。在此算法中, 进行路径规划的环境为一个矩形, 因此环境中任意两点之间的直线长度 $d(x, y) \leq diag$, 其中 $diag$ 为矩形对角线的长度。因此, $Dl = \sum_{i=1}^{n-1} d(\overrightarrow{L_i T_{i+1}}) + d(\overrightarrow{S, T_1}) + d(\overrightarrow{L_n, goal}) < (n+1) * diag$, 在机器人“绕障碍物行走”的过程中, 所行走过的曲线路径 $\widehat{T_i L_i}$

为障碍物边缘的一部分,即 $\widehat{T_i L_i} \in \partial O_i$,所以 $meas(\widehat{T_i L_i}) < meas(\partial O_i)$,进而可知 $Dl = \sum_{i=1}^n meas(\widehat{T_i L_i}) < \sum_{i=1}^n meas(\partial O_i)$ 。综上所述,可知

$$D = Dl + Dc = \sum_{i=1}^{n-1} d(\overrightarrow{L_i T_{i+1}}) + d(S, T_1) + d(L_n, goal) + \sum_{i=1}^n meas(\widehat{T_i L_i}) \leq (n+1) * diag + \sum_{i=1}^n meas(\partial O_i)$$

4 仿真结果

为了证明算法的正确性和可行性,在应用 matlab 编制的实验环境下,进行了相应的仿真试验。

如图 4 所示为在 A 点利用扫描法搜索障碍物切点的仿真结果,其中圆圈所示为搜索到的障碍物切点。仿真结果表明,此算法对于任意形状的障碍物均适用。

图 5, 6, 7 为在不同的障碍物环境下应用本算法进行路径规划的仿真结果。图中圆圈为搜索到的切点或相应的离开点,直线和曲线构成了连接起始点和目标点的可行路径。仿真结果证明了本算法的完整性和正确性。

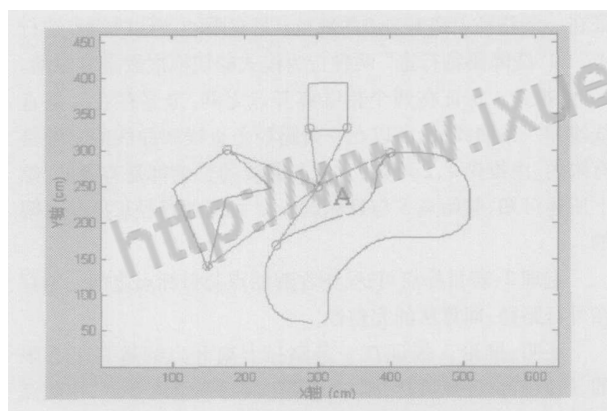


图 4 扫描法搜索切线的仿真结果

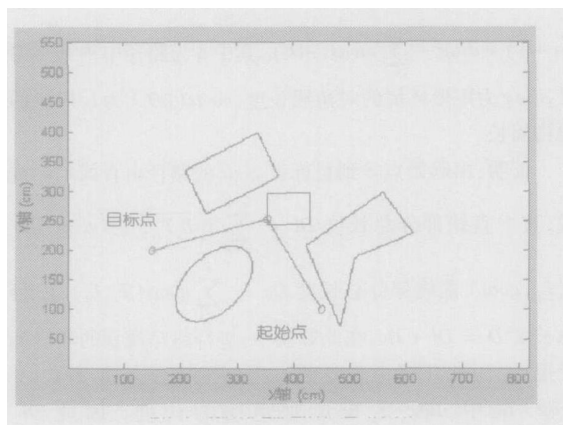


图 5 路径规划仿真结果

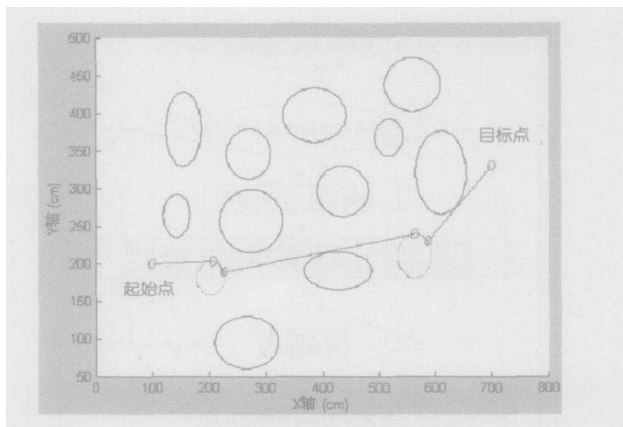


图 6 路径规划仿真结果

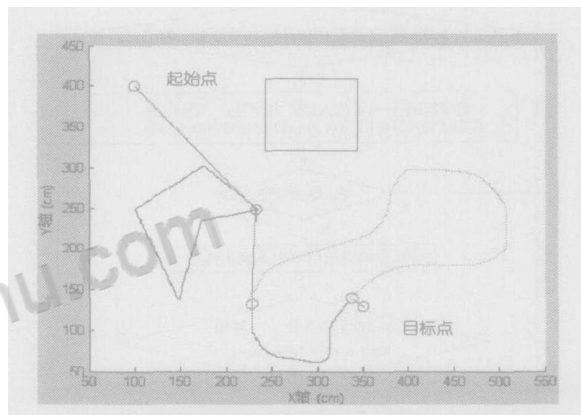


图 7 路径规划仿真结果

5 结论

本文提出了一种基于扫描法的路径规划算法。此算法利用扫描法搜索障碍物的切点,构造环境拓扑图,并在考虑已构造的部分环境拓扑图和全局信息的基础上利用启发式函数选择适当的离开点进行扩展,实现对原拓扑图的扩充,直到拓扑图中存在由起始点到目标点的可行路径为止。通过两种行为模式的切换保证机器人能顺利地避开障碍物到达目标位置。与传统的路图法相比,此算法在求取障碍物切点及构造环境拓扑图时,不依赖障碍物的顶点信息,且通过采用逐步构造环境拓扑图的方式取代以往一次性构造整个环境拓扑图的方式,因此不但可应用于任意障碍物环境,且计算复杂度低,易于在线实现。但此算法并不保证搜索到的路径是最优的,这也正是后续工作中需要解决的问题。

参考文献:

- [1] 屠鹤华,崔平远,崔祐涛. 行为控制月球车路径规划技术 [J]. 自动化学报, 2004, 30 (4): 572 - 577.
- [2] J C Latombe Robot Motion Planning [M]. Kluwer Academic Publishers, Boston, 1991.

(下转第 215 页)

周期内针对特定的加速器设备构造具有良好人机交互性能的虚拟控制系统。

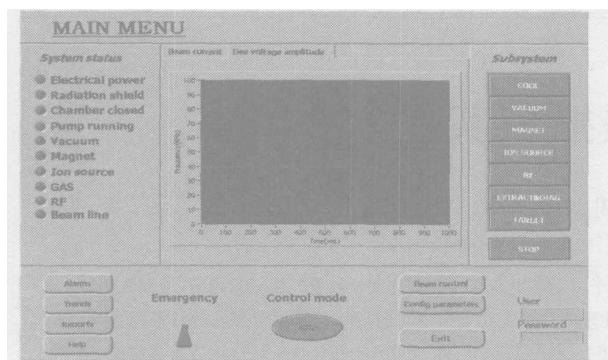


图 4 中央控制台的主控界面

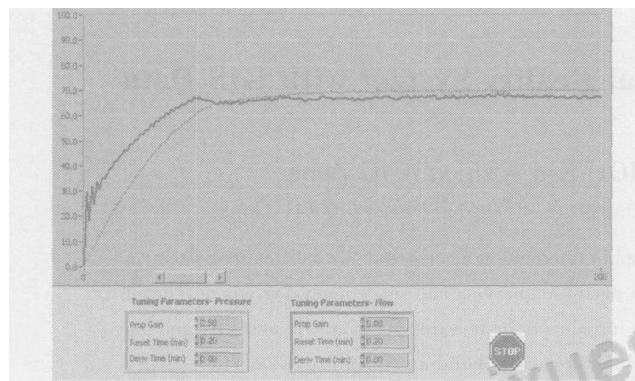


图 5 响应曲线

5 结论

本文对回旋加速器虚拟控制系统的设计进行了初步研究,其中主要对系统的整体框架及各部分功能进行了阐述,通过该系统可以进行加速器控制算法和控制逻辑的辅助设计与结果仿真,实现控制有效性验证,对加速器控制环节的设计和实现具有指导意义,为加速器虚拟样机的整机优化设

计提供了帮助。

参考文献:

- [1] 樊明武. 小型回旋加速器虚拟样机技术[J]. 中国工程科学, 2003, 5(10): 8 - 13.
- [2] 方守贤. 我国粒子加速器的现状和发展[J]. 物理, 1999, 28(9): 557 - 566.
- [3] Noboru Yamamoto. Use of a Virtual Accelerator for a Development of an Accelerator Control System[C]. IEEE PAC 1997.
- [4] Tadahiko Kato, et al. Status of the KEKB Accelerator Control System Development[C]. ICALEPCS95, Chicago, USA, 1995.
- [5] Tadahiko Kato, et al. Present Status of the KEKB Control System[C]. ICALEPCS95, Chicago, USA, 1995.
- [6] S A Lewis. Overview of the Experimental Physics and Industrial Control System: EPICS[R]. Lawrence Berkeley National Laboratory, April 2000.
- [7] Noboru Yamamoto. Use of a Virtual Accelerator for a Development of an Accelerator Control System[C]. Proceedings of the IEEE Particle Accelerator Conference, 1997, 2: 2455 - 2457.

[作者简介]

吴敏君 (1979 -), 女 (汉族), 湖北黄梅人, 硕士生, 研究方向为加速器控制系统仿真;

熊永前 (1966 -), 男 (汉族), 湖北麻城人, 华中科技大学副教授, 硕士生导师, 研究方向为加速器设计及磁铁理论;

秦 斌 (1979 -), 男 (土家族), 湖北长阳人, 博士生, 研究方向为加速器控制系统及其仿真;

樊明武 (1943 -), 男 (汉族), 湖北沙市人, 中国工程院院士, 华中科技大学教授、博士生导师, 研究方向为回旋加速器设计及磁铁理论。

(上接第 150 页)

- [3] Sharon L Laubach, Joel Burdick and Larry Matthies. An Autonomous Path Planning Implemented on Rocky7 Prototype Microover[C]. Proceedings of the 1998 IEEE International Conference and Automation Leuven, Belgium - May 1998.
- [4] S S Ge, Y J Cui. New Potential Function for Mobile Robot Path Planning[J]. IEEE Transaction on Robotics and Automation, October 2000, 16(5).
- [5] Ishay Kamon, Ehud Rivlin and Elon Rimon. A New Range - Sensor Based Globally Convergent Navigation Algorithm for Mobile Robots[C]. Proceedings of the 1996 IEEE International Conference and Automation Minneapolis, Minnesota - April 1996.
- [6] Yun - Hui Liu, and Suguru Arimoto. Computation of the Tangent Graph of Polygonal Obstacles by Moving - Line Processing[J].

IEEE Transactions ON Robotics and Automation, December 1994, 10(6).

[作者简介]

种 楠 (1981 -), 男 (汉族), 北京人, 硕士生, 主要研究方向: 移动机器人路径规划。

陈阳舟 (1962 -), 男 (汉族), 湖北仙桃人, 学院副院长, 博士, 博士生导师, 教授, 主要研究方向: 动态对策理论、信息处理与控制、多智能体行为控制等。

崔平远 (1961 -), 男 (汉族), 山东青岛人, 博士生导师, 主要研究方向: 月球漫游车行为控制与自主导航等。

居鹤华 (1969 -), 男 (汉族), 江苏高邮人, 博士后, 主要研究方向: 智能控制、自主机器人等。



论文写作，论文降重，
论文格式排版，论文发表，
专业硕博团队，十年论文服务经验



SCI期刊发表，论文润色，
英文翻译，提供全流程发表支持
全程美籍资深编辑顾问贴心服务

免费论文查重：<http://free.paperyy.com>

3亿免费文献下载：<http://www.ixueshu.com>

超值论文自动降重：http://www.paperyy.com/reduce_repetition

PPT免费模版下载：<http://ppt.ixueshu.com>

阅读此文的还阅读了：

1. [党内和谐初探——在社会主义和谐社会视角下的分析](#)
2. [多目标规划方法综述](#)
3. [SNMPc网管系统初探](#)
4. [基于SNMP网络拓扑图的自动构造实现](#)
5. [启发式的网络拓扑图生成算法的构造及实现](#)
6. [边矩阵 \$K'\$ \$2n+1\$ 的 \$K+1\$ 一边着色与循环赛的安排](#)
7. [基于逆向自组织学习的网络拓扑图布局算法](#)
8. [软件与算法 基于拓扑图形的服务知识重用策略研究](#)
9. [基于VC++的网络拓扑图中环的自动识别算法](#)
10. [基于线性不等式组的选课模型](#)
11. [EMR系统机器人自主规划技术的研究](#)
12. [基于最近邻-拓扑图的异类传感器目标关联算法](#)
13. [基于最短路径的城市干道网规划的算法研究](#)
14. [两种选址问题的算法及有关结论](#)
15. [Real Time Hotspot Detection System Using Scan-Method for PV Generation System](#)
16. [模糊贴近度在热带气旋路径预评评价中的应用](#)

- [17. 规划与计划制订中的若干算法研究](#)
- [18. 一种可用于在线触发的移位寻迹方法](#)
- [19. 循环赛图 \$K_{\(2n\) \sim \(i\)}\$ 与边矩阵 \$K'_{\(2n\)}\$ 的 \$K\$ -边着色](#)
- [20. 零维多项式理想的准素分解](#)
- [21. 天然气管网系统规划研究](#)
- [22. 滋肾健脑液中黄芪甲苷的含量测定](#)
- [23. Online blind source separation based on joint diagonalization](#)
- [24. 基于企业薪酬体系设计的岗位评价](#)
- [25. 改进全排列算法构造任意阶幻方](#)
- [26. 循环赛图 \$K\(i\)_{2n}\$ 与边矩阵 \$K'_{2n}\$ 的 \$K\$ -边着色](#)
- [27. 基于改进蚁群算法的低空突防航迹规划](#)
- [28. 企业诚信的路径、效益及理论思考](#)
- [29. 哈尔滨市污染源在线实时监测系统的规划](#)
- [30. 基于Web的网络拓扑图自动构造的研究与实现](#)
- [31. 基于扩展力学模型的网络拓扑图布局算法](#)
- [32. 边矩阵 \$K'_{\(2n+1\)}\$ 的 \$K+1\$ -边着色与循环赛的安排](#)
- [33. 循环赛图 \$K_{\(2n\) \sim \(i\)}\$ 与完备匹配的新算法](#)
- [34. 独立学院发展路径之我见](#)
- [35. SNMPc网管系统初探](#)
- [36. 采用退火遗传算法的配电网优化方法](#)
- [37. 特殊工件精密磨削加工方案的一种规划算法](#)
- [38. P维分段模型试验设计的算法](#)
- [39. 蛇床子中蛇床子素和欧前胡素的荧光薄层扫描法测定](#)
- [40. 试论主流意识形态工作的强化](#)
- [41. 计算机网络拓扑图构造技术](#)
- [42. 浅谈基于文化视角的散杂货成本管理](#)
- [43. 采用退火遗传算法的配电网优化方法](#)
- [44. 一种安全约束经济调度广义网络流规划算法](#)
- [45. 基于线性不等式组的选课模型](#)
- [46. 高技术战争与军队领导干部的科学素质](#)
- [47. 基于扫描法在线构造拓扑图的路经规划算法](#)
- [48. 用户供电可靠性规划算法的探讨](#)
- [49. 二维图向三维浮雕图转换的研究](#)
- [50. 装备在线——落实规划纲要精神 推进陕西基础教育 装备工作再上新台阶](#)