

路径规划技术的现状与发展综述

马仁利, 关正西

(第二炮兵工程学院 研一队, 陕西 西安 710025)

摘要: 路径规划技术是虚拟装配技术、移动机器人技术研究中的一个重要领域。它分为基于模型的环境已知的全局路径规划和基于传感器的环境未知的局部路径规划。本文详细地叙述了路径规划技术的分类和发展现状, 全局路径规划和局部路径规划中的各种方法, 具体地分析了各种方法的算法过程, 并指出了各种方法的优缺点, 最后对路径规划技术的未来的发展趋势进行了展望。

关键词: 虚拟装配 全局路径规划 局部路径规划 概率路径图法

中图分类号: TH 文献标识码: A

Summarization for Present Situation and Future Development of Path Planning Technology

MA Renji GUAN Zhengxi

Abstract: Path planning technology is one of the important domains in virtual assembling technologies research and mobile robot technologies research. It includes two parts: one is global path planning based on model in which the environment of the robot is certain and the other is local path planning based on sensor in which the environment of the robot is uncertain. The classification and present situation of path planning is summarized. In addition, the advantages and disadvantages of these algorithms are pointed out. At last, the trend of path planning is described.

Key words: virtual assembling global path planning local path planning probabilistic roadmap method

0 引言

随着科技的发展, 路径规划作为一些领域的关键技术, 国内外有很多学者对路径规划进行了研究并取得了不少成果。路径规划的应用范围很广, 目前主要用于虚拟装配和机器人领域以及游戏开发。本文系统地阐述了路径规划的研究现状及发展趋势。

1 路径规划技术分类

路径规划是运动规划的主要研究内容之一。运动规划由路径规划和轨迹规划组成, 连接起点位置和终点位置的序列点或曲线称之为路径, 构成路径的策略称之为路径规划。路径规划在机器人学与虚拟装配中研究较多, 主要研究内容可概括为:

- 1 静态结构化环境下的路径规划;
- 2 动态已知环境下的路径规划;
- 3 动态不确定环境下的路径规划。

根据规划体对环境信息知道的程度不同, 路径规划可分为两种类型: 环境信息完全已知的全局路径规划, 又称静态或离线路径规划; 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, 又称动态或在线路径规划。局部路径规划和全局路径规划并没

有本质区别。很多适用于全局路径规划的方法经过改进都可以用于局部路径规划; 而适用于局部路径规划的方法都可以适用于全局路径规划^[3]。

2 全局路径规划

全局路径规划的方法主要有: 栅格法、构形空间法、可视图法、拓扑法和概率路径图法^[15]。

2.1 栅格法

栅格法^[8]把规划空间分解成一系列的单元, 并把这些单元用满、空和混合标记。如果一个单元完全在障碍物内则标记为满, 而空则意味着不与障碍物相交, 否则记为混合。工作空间分解成单元后则使用启发式算法在单元中搜索安全路径。单元分解方法在路径存在的情况下能够确保找到一条路径, 但在很复杂的工作空间中为了求一条可行路径, 单元的体积就很可能非常小, 这就增加了搜索的复杂度。有几种不同的单元分解方法。最简单的单元分解方法是生成等大小单元, 虽然具有快速、方便地生成单元的优点, 但由于生成的单元数量很大, 就使搜索过程费时。较合适的方法是使用四叉树或八叉树表示工作空间这种树结构虽然使单元易于表达, 但由于一个混合单元往往被分解成其它混合单元, 又可能增加单元分解的数量。通过使满或空单元最大化的方法分割混合单元虽然解决了这一问题, 但又增加了图的连通复杂性。空间的栅

作者简介: 马仁利(1984-)男, 辽宁鞍山人, 硕士生, 研究方向为虚拟装配技术与应用。

关正西(1942-)男, 陕西凤翔人, 博士生导师, 教授, 研究方向为虚拟现实仿真技术。

收稿日期: 2007-2-10

格表达是将规划空间表达成均等的栅格网,由于栅格的一致性和规范性较好,栅格空间中的邻接关系表达简单,路径搜索可用 A*算法或 Dijkstra 动态规划算法来完成。由于搜索空间表达的一致性、规范性和简单性,很容易实现。

2.2 构形空间方法

构形空间方法 (Configuration Space)^[9-15]是由 S Udupa 和 T Lozano-Perez 等人提出并发展的一种无碰路径规划方法,其实质是把运动物体的位姿 (位置和姿态) 的描述简化为构形空间中的一个点。由于环境中障碍物的存在,运动物体在构形空间中就有一个相应的禁区,称为构形空间障碍 (C-Obstacle)。这样就构造了一个虚拟的数据结构,将运动物体、障碍物及其几何约束关系作了等效的变换,简化了问题的求解。运动物体 A 与障碍物 B 发生碰撞的所有状态在构形空间中构成了构形空间障碍,记为 $CQ_A(B)$ 表示为:

$$CQ_A(B) = \{ P \in C\text{-space} \mid A(P) \cap B \neq \emptyset \}$$

式中 $A(P)$ 表示欧氏空间的一个子集,对应于 A 在构形空间中的位姿。

引入了构形空间的概念,就将二维或三维空间中刚体的运动表达为三维或六维空间中点的运动,这就将多边形或多面体的无碰路径规划问题表示为高维空间中点的无碰路径规划问题。构形空间法是一种相对成熟和比较常用的路径规划方法,但如何快速有效地进行构形空间建模和在构形空间内进行路径搜索是实现构形空间法的关键,有待于进一步研究。

2.3 可视图法

可视图法^[12-31]在构形空间中运动物体 A 映射为一点,障碍物 B 映射为 $CQ_A(B)$ 。在二维情况下, $CQ_A(B)$ 可由多个多边形表示,用直线段连接物体运动的起点 S 所有构形间障碍的顶点以及运动终止点 G 并保证这些直线段不与 $CQ_A(B)$ 相交,就形成了一张图,称之为可视图 (Visibility Graph) 因为任意两直线的顶点均是可见的 (即不与障碍物多边形相交)。显然从起点 S 沿着这些直线到达目标点 G 的所有路径均是运动物体 A 的无碰路径,对该图进行搜索就可找到 A 的最短无碰安全运动路径。在这种搜索图中, S 和 G 和顶点为图的节点,直线段为弧。利用可视图搜索方法进行路径规划主要分三步: 1) 计算构形空间障碍物 $CQ_A(B)$; 2) 建立可视图,用一种合适的数据结构表达可视图; 3) 搜索图,求最短安全路径。

这种方法虽然能保证在三维以下构形空间中求出最短安全路径,但是不能推广到更高维的空间中。切线图法和 Voronoi 图法对可视图法进行了改造,切线图 (如图 1) 用障碍物的切线表示弧,因此是从起始点到目标点的最短路径的图,即规划物必须几乎接近障碍物行走。其缺点是如果控制过程中产生位置误差,规划物与障碍物发生碰撞的概率很高。图 2 用尽可能远离障碍物的路径表示弧,由此从起始节点到目标节点的路径将会增长,但采用这种控制方式时即使产生位置误差规划物也不会碰到障碍物。

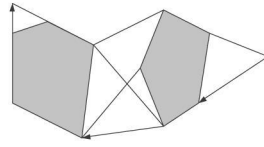


图1 切线图法

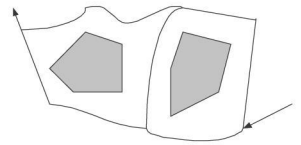


图2 Voronoi图法

2.4 拓扑法

拓扑法是由清华大学张钹教授等提出的一种路径规划算法,清华大学的研究者利用拓扑法进行了一些深入研究。拓扑法的基本思想是:将规划空间分割成拓扑特性一致的子空间,并建立拓扑网络,在拓扑网络上寻找起点到终点的拓扑路径,最终由拓扑路径求出几何路径。

拓扑法将空间划分为三种类型。一是自由空间,运动体在此空间中可以自由转动而不发生碰撞;第二是半自由空间,运动体只能作有限度的运动;第三是障碍空间。在障碍较多的情况下,空间的划分算法极其复杂,用解析法很难甚至不可能实现。一般只能通过人机交互,利用图形学知识计算若干特征参数,从而得出区域分割的结果。经过区域分割,每个子区域对应于旋转映射图的一种方向分支机构。逐个跟踪每个子空间的边界搜索与其相邻的每个子空间,计算彼此的连通性,形成连通网络。

2.5 概率路径图法

概率路径图法 (Probabilistic Roadmap Method PRM) 由 M H Overmars^[6] 等人提出。一经提出,PRM 法就被越来越多用于路径规划^[6]。它跟以前的可视图方法的不同之处在于:路径图在构形空间中不是以确定的方式来构造,而是使用某种概率的技术来构造的。概率路径图方法的一个巨大优点在于,其复杂度主要依赖于寻找路径的难度,跟整个规划场景的大小和构形空间的维数基本无关。随着机器人自由度的增加,利用传统的路径规划算法往往存在复杂度非常惊人甚至算法失效的问题,PRM 算法却能解决高维空间的路径规划问题。在 PRM 算法中碰撞检测所占用的时间占 99%,随着快速碰撞检测技术的发展,使得 PRM 算法在多种规划环境下都能表现出非常高效的性能。有两类典型的 PRM 算法:多搜索规划 (multi-query planning) 和单搜索规划 (single-query planning)。

3 局部路径规划

局部路径规划的主要方法有:人工势场法、模糊逻辑算法、遗传算法和基于神经网络方法。

3.1 人工势场法

人工势场法^[15-17]是由 Khatib 提出的一种虚拟力法。这种方法的基本思想是:在一个力场中运动,要达到的目标位置对于被规划物体是一个引力极,而障碍物则是斥力面,按各个障碍物和目标位置产生人工势能的总和,取极小值决策运动路径。这种势场必须是可微的,因为路径是沿着势场的负梯度方向搜索的。障碍周围的势能通常与到障碍的距离成反比。势场法的优点在于无需大量的预

计算,自动生成较光滑的路径。由于使用局部信息(可由传感器获得),所以可满足实时运行要求。势场法搜索路径具有启发信息,但却容易陷入局部最小而不能使规划体(被规划物体)到达最终目标位置。

3.2 模糊逻辑算法

基于模糊逻辑的路径规划^[3]方法参考人的驾驶经验,通过查表的方法,实现实时局部路径规划。这种方法通过规划体上装配的感应器来分辨障碍物,克服了其它方法的缺点,在动态变化的未知环境中能够进行实时规划。该方法最大的优点是实时性非常好,但是模糊隶属函数的设计、模糊控制规则的制定主要靠人的经验,如何得到最优的隶属函数以及控制规则是该方法最大的问题。近年来一些学者引入神经网络技术,提出一种模糊神经网络控制的方法,效果较好,但复杂度太高。

3.3 遗传算法

遗传算法^[3,4]是近几年发展起来的一种崭新的全局优化算法,它借用了生物遗传学的观点,通过自然选择、交叉、变异等作用机制,实现各个个体适应性的提高。这一点体现了自然界中“物竞天择、适者生存”进化过程。1962年Holland教授首次提出了遗传算法的思想,吸引了大批的研究者将其迅速推广到优化、搜索、机器学习等方面,并奠定了坚实的理论基础。但是,由于遗传算法本身具有容易陷入局部最优的缺陷,因此,在应用于路径规划时,仍然存在无法搜索到实际存在的可行路径的可能。遗传算法运算速度不快,进化众多的规划要占据较大存储空间和运算时间,优点是克服了势场法的局部极小值问题,计算量不大,易做到边规划边跟踪,适用于时变未知环境的路径规划,实时性较好。遗传算法运用于移动机器人路径规划的研究近来取得了许多成果^[2-10],其基本思想:将路径个体表达为路径中一系列中途点,并转换为二进制串。首先初始化路径群体,然后进行遗传操作,如选择、交叉、复制、变异,经过若干代进化以后,停止进化,输出当前最优个体,其过程如以下。

算法所示:

开始

随机初始化群体 $P(0)$

计算群体 $P(0)$ 中个体的适应度

$t=0$

while(不满足终止准则) do

{

由 $P(t)$ 通过遗传操作形成新的种群 $P(t+1)$

计算 $P(t+1)$ 中个体的适应度

$t=t+1$

}

3.4 神经网络法

基于神经网络方法的路径规划^[8]研究了障碍物形状和位置已知情况下的路径规划算法。其能量函数的定义利用了神经网络结构,根据路径点位于障碍物内外的不同位置选取不同的动态运动方程,规划出的路径达到了折线

形的最短无碰撞路径,计算简单、收敛速度快。另外,在神经网络路径规划方法的基础上,引进线形再励的自适应步长算法,这种方法实现了步长的自适应选择,使路径规划速度比原来的神经网络规划有了很大的提高。

4 路径规划技术的展望

随着计算机传感器及控制技术特别是各种新算法不断涌现,路径规划技术已经取得了丰硕研究成果,特别是周围环境已知的全局路径规划其理论研究已比较完善,目前比较活跃的领域是研究在环境未知情况下的局部规划。从研究成果看,有以下趋势:

1)智能化的算法将会不断涌现。模糊控制、神经网络、遗传算法以及它们的相互结合也是研究热点之一。智能化方法能模拟人的经验,逼近非线性,具有自组织、自学习功能,并且具有一定的容错能力。

2)路径规划的性能指标将不断提高。这些性能指标包括实时性、安全性和可达性等。比如路径规划技术应用于移动机器人,一个性能指标不好的方法即使它能使移动机器人走出完美的轨迹也将被淘汰,而有些方法没有高深的理论,但计算简单,实时性、安全性好,就有存在的空间。如何使性能指标更好是路径规划各种算法研究的一个重要方向。

3)多规划体系统的路径规划。协调路径规划已成为新的研究热点,随着应用不断扩大,规划体工作环境复杂度和任务的加重,对其要求不再局限于单规划体,而是要求在动态环境中实现多规划体的合作与单规划体路径规划的统一。

4)多传感器信息融合用于路径规划。规划体在动态环境中进行路径规划所需信息是从传感器得来的,单传感器难以保证输入信息准确与可靠,多传感器所获得信息具有冗余性、互补性、实时性和低代价性,且可以快速并行分析现场环境。移动机器人的多传感器信息融合是当今一个比较活跃的研究领域。

5 结论

综上所述,路径规划技术已经取得了丰硕成果,但各种方法各有优缺点,也没有一种方法能适用于任何场合。随着科技不断发展,路径规划应用领域还将不断扩大,路径规划这一课题领域的研究还将不断深入。

参考文献

- 1 Steven M. LaValle. Planning Algorithms. Cambridge University Press, 2006
- 2 张捍东, 郑睿等. 移动机器人路径规划技术的现状与展望[J]. 系统仿真学报, 2005年, 17(2): 439-443
- 3 徐秀娜, 赖汝. 移动机器人路径规划技术的现状与发展[J]. 计算机仿真, 2006年, 23(10): 1-4
- 4 李擎, 张伟. 一种用于最优路径规划的改进遗传算法[J]. 信息与控制, 2006年, 35(4): 444-447

(下转第27页)

复杂的内部资源的压力。该企业开展信息化建设较早,包括生产、库存、销售、市场、物流、财务等各个部门已经不同程度的应用着管理信息系统来支持日常业务处理,在长期的企业生产运作过程中积累了大量宝贵的业务数据。在日益激烈的市场竞争环境下,企业迫切希望能够整合内、外部一切可用信息资源,通过综合分析挖掘其隐含的、潜在的关系、趋势等为企业管理和决策服务,提高企业的核心竞争力。

针对企业现状,基于数据驱动建立企业决策支持系统是较好的解决方案。从数据安全考虑,我们在系统实现时没有采用数据仓库与业务系统数据库直联的取数方式,而是采用“前置服务器”双网卡隔离方式,通过自动定时或手工触发来进行数据采集,能够确保网络信息安全。如图2所示。

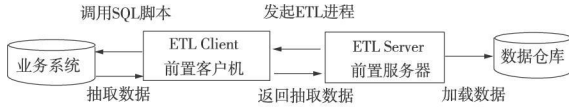


图2 数据采集流程图

系统硬件平台分为五层,如图3所示。前置客户端位于各部门业务系统数据库与决策中心前置服务器之间,负责提取数据发送到决策中心。前置服务器负责接收数据,同时作为临时中间层,对数据作清洗、转换并装载到数据仓库中。数据仓库服务器负责数据仓库存储与管理,OLAP服务器负责数据挖掘和联机分析处理操作,报表服务器安装报表引擎,负责报表设计、生成和发布。分别配置如下:前置客户端、前置服务器与报表服务器 HP MI350 (Intel Xeon主频 2800MHZ内存 256M硬盘 40G);数据仓库服务器与 OLAP服务器 HP MI570 (Intel Xeon- MP主频 3660MHZ内存 1G硬盘 80G)。本实例采用 Oracle数据仓库解决方案, IIS 6.0服务器作为报表发布平台,用户能随意对不同“指标”上的业务数据进行多种分析比较。

很好的满足了企业在多维环境下特定的查询和报表需求。通过综合分析,企业决策层更好的把握了产品的供应、生产、销售、库存的内在联系、规律和趋势,以此为依据合理地调整生产计划,实现既定的目标。

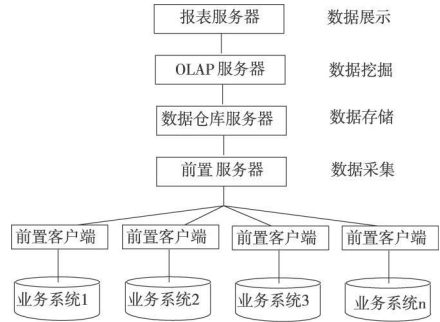


图3 系统硬件平台层次结构图

3 结束语

基于数据驱动的 DSS能够有效的把大量业务历史数据转化为有用的参考信息和决策依据,大大地提高了决策能力、决策水平和决策质量,显示了强大的生命力。相信随着数据挖掘过程的不断简化和在线分析处理功能的不断增强,该系统必将得到更为广泛的应用。

参考文献

- 1 Morton S Management Decision Systems Computer Based Support for Decision Making Division of Research Harvard University Cambridge Massachusetts 1971
- 2 W. H Irmon Building the Data Warehouse John Wiley & Sons NC 1993
- 3陈文伟 决策支持系统教程[M]. 清华大学出版社, 2006
- 4张云涛, 龚玲. 数据挖掘原理与技术[M]. 电子工业出版社, 2004

(上接第 24 页)

- 5张建英, 赵志萍. 基于人工势场法的机器人路径规划研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2006年 38(8): 1306-1309
- 6艾海舟, 张跋. 基于拓扑的路径规划问题的图形解法[J]. 机器人, 1990 12(5): 20-24
- 7王卫华, 陈卫东, 席裕庚. 基于不确定信息的移动机器人地图创建研究进展[J]. 机器人, 2001 23(6): 561-568
- 8朱庆保, 张玉兰. 基于栅格法的机器人路径规划蚁群算法[J]. 2005年, 27(2): 132-136
- 9 T. Lozano-Perez, M. A. Wesley. An Algorithm for Planning Collision-free Paths Among Polyhedral Obstacles. Communications of the ACM, 1979 22(10): 560-570
- 10 M. H. Overmars. A Randomized Approach to Motion Planning. Department of Computer Science, Utrecht University, The Netherlands, 1992
- 11 Khatib. Real-time Obstacle for Manipulators and Mobile Robot. The International Journal of Robotic Research, 1986 2(1): 90-98

- 12孙汉昌, 朱华勇. 基于概率地图方法的无人机路径规划研究[J]. 系统仿真学报, 2006年 18(11): 3050-3054
- 13黄炳强, 曹光益. 基于人工势场法的机器人路径规划研究[J]. 计算机工程与应用, 2006年 27(1): 26-28
- 14范红. 基于神经网络方法的移动机器人免碰路径规划[J]. 仪器仪表学报, 2006年 6月增刊
- 15朱明华, 玉霄. 机器人路径规划方法的研究与进展[J]. 机床与液压, 2006(3): 5-8
- 16 Geffe M. Genetic Path Planning for Mobile Robots. Proc of American Control Conference, San Diego, CA, USA, 1999, 596-601
- 17李强, 林良明, 颜国正. 基于进化的移动机器人路径规划方法[J]. Proceedings of the 3rd World Congress on Intelligent Control and Automation, Hefei, China, 2000 28(2): 1206-1209
- 18刘雁飞, 袁丰皇. 基于两层编码遗传算法的机器人路径规划[J]. 控制理论与应用, 2000 17(3): 429-432