

文章编号:1001-9081(2005)10-2456-03

基于深度值的虚拟人手臂运动规划

朱祺钧, 赵 政

(天津大学 电子信息工程学院, 天津 300072)

(iamzqj@hotmail.com)

摘 要:提出了基于深度值(z-buffer 值)的虚拟人手臂运动规划新方法,将路径规划算法——A * 算法扩展到三维空间,并利用图形硬件获得的深度值进行碰撞检测,解决了受限空间的运动规划问题。仿真结果显示,能快速有效的实现虚拟人手臂 7 个自由度的运动规划。

关键词:运动规划;图形硬件;深度值;A * 算法;碰撞检测

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A

Motion planning for human arm based on depth buffer

ZHU Qi-jun, ZHAO Zheng

(Institute of Electronic Information and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: This dissertation proposed a new motion planning algorithm for human arm based on depth buffer (z-buffer). This method expanded the A * algorithm to three-dimensional space and detected collision taking advantage of a special computer graphics hardware-depth buffer. Thus it was addressed the problem of confined space motion planning for human arm. The simulation results show that this algorithm can realize the motion planning for a human arm with 3 links and 7 DOFs rapidly and effectively.

Key words: motion planning; graphics hardware; depth buffer; A * algorithm; collision detection

0 引言

运动规划是智能机器人研究领域的一个重要研究方向,其研究的目的是使机器人能在不同的环境下自主路径规划。近 20 年来机器人运动规划问题受到了广泛的研究并涌现出了大量的成果^[1],然而这些算法大部分都是基于位姿空间(C-space)的,这类方法都面临着一个普遍的难题即高维位姿空间所带来的复杂度问题。众所周知,机器人手臂运动规划的最坏时间范围与它的位姿空间维度呈指数形式增长^[2]。

运动规划在不同的领域有着广泛的应用,如装配规划、虚拟原型、药物设计和计算机图形仿真等。然而,虽然运动规划技术适用于计算机图形仿真,但是在计算机图形图像领域却没有给出解决运动规划问题的有效方法。

在计算机图形图像领域解决运动规划问题最早是由 J. Lengyel 等人完成的^[3],他们利用标准的图形硬件将配置空间的障碍物光栅化为一组位图片段,然后使用动态程序产生一个导航函数并计算出此光栅化空间的路径。

Mark Foskey 等人于 2001 年提出了一个混合的运动规划算法^[4],在此方法中他们生成了一个 Voronoi 地图并与计算出的“桥”相结合。其中,Voronoi 地图是从 Voronoi 图表中近似计算出来的,而后者由图形硬件生成。

此后,Ying Liu 提出了利用图形硬件的深度值来进行碰撞检测的新思路^[5],本文利用此方法与路径规划算法——A * 算法^[6]相结合对原有的运动规划算法进行了改进,提出并实现了新的基于深度值(z-buffer 值)的虚拟人手臂运动

规划方法。

1 基于深度值的虚拟人手臂运动规划

1.1 算法组成

本算法是一种启发式算法(Heuristic Arithmetic),主要包括如下三个模块:

1) 路径搜索算法

主要对手臂末端(手掌)的运动路线进行全局的最优路径搜索,为提高搜索速度和保证路径最优,本文采用了经典的启发式算法——A * 算法。该算法的主要目的是每次搜索空间中周围若干节点,经碰撞检测算法模块检测证实有效(无碰撞)后将有效节点放入堆栈中,然后根据启发函数选择最优节点作为路径节点,并在此基础上搜索下一节点,直至到达目标点。

2) 逆向运动学算法

逆向运动学(Inverse Kinematics)是指对一条拥有众多关节的运动链,计算出一组所有关节的状态值,以满足指定的末端效应器(End-effector)状态,即所谓的求解目标(Goal)。在虚拟人手臂运动过程中,每当手臂末端(手掌)移动到新的位置时,需要利用逆向运动学算法计算出手臂其他各点(关节)相应的位置或角度,这就需要用到逆向运动学算法。在本文中,我们采用的是一个由宾夕法尼亚大学开发的 IK 工具包 IKAN(Inverse Kinematics using Analytical Methods)。该工具包提供了一套用于七个自由度的、由一个定轴旋转的关节连接两个球关节的、非闭合的运动链的逆向运动学分析工具。

收稿日期:2005-04-07;修订日期:2005-07-08

作者简介:朱祺钧(1982-),男,湖北黄石人,硕士研究生,主要研究方向:CIMS、虚拟现实、计算机仿真、数据库; 赵政(1948-),男,天津人,教授,博士生导师,主要研究方向:CIMS、数据库、网络。

3) 碰撞检测算法

与传统的几何学碰撞检测方法不同,我们的方法是利用图形硬件的深度值(z-buffer 值),将其与手臂长度比较就可以判断出是否会发生碰撞。具体判断过程为:在虚拟人的肩部和肘部各置一个摄像机,分别根据检测的深度值(z-buffer 值)计算出在上臂和下臂的方向上离最近的障碍物(由摄像机自动识别)的距离是否大于上臂或下臂的长度。若均大于,则表明该节点是有效的,即此时手臂的姿势不会与任何障碍物发生碰撞;否则,该节点就被视为无效,因为此时手臂将与虚拟场景中的障碍物发生碰撞,即手臂无法到达该节点。

1.2 算法描述

该算法总过程如图 1 所示。

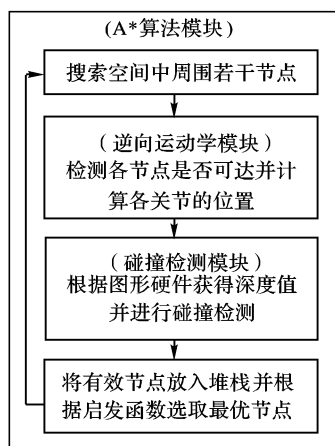


图 1 算法总过程

总过程的算法描述为:

- 1) 划分空间网格。
- 2) 搜索空间中周围若干节点(A*算法)。
- 3) 利用逆向运动学检测各节点是否可达并计算手臂关节的角度。
- 4) 计算肩部、肘部和腕部在空间中的位置。
- 5) 利用深度值(z-buffer 值)分别对上下臂进行碰撞检测。
对于上臂:
 - a) 置一个虚拟照相机于肩部,朝向肘部。
 - b) 拍照并获得肘部所在区域的深度值。
 - c) 若该区域所有的深度值均大于上臂长度,则说明无碰撞,进入下一步;反之,回到 2)。
 - d) 回到 5) a) 对下臂进行同样操作,若无碰撞发生,则将当前节点放入堆栈中。
- 6) 根据启发函数从堆栈中选取最优节点,重复 2)。

1.3 优点

与传统的几何学方法相比,此方法具有如下优点:

- 1) 方法简单有效,无需复杂的预处理过程,而传统的几何学方法则需要花费大量的时间将位姿空间(C-space)划分成禁止区域和自由区域。
- 2) 利用 A* 算法能较快的收敛到最优解,计算量较小,适合实时运动规划。
- 3) 能动态识别障碍物,故此算法不仅适合于静态环境,还适合于动态环境。

2 仿真试验

2.1 试验平台

本次试验平台是基于 Open Inventor(TGS 公司开发)创建的,最终建立的场景树结构如图 2 所示。

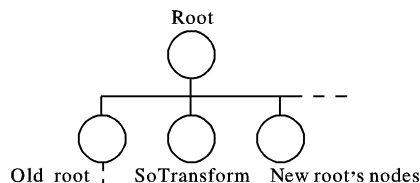


图 2 试验平台的场景树结构

采用的人体建模以及人体动作的标准是 Web3D 联盟建立的 H-Anim 标准(The Humanoid Animation Specification)。

在该平台中我们还使用了宾夕法尼亚大学的 Deepak Tolani 等提出的一种针对 HAL 链的实时逆向运动学求解技术。由于真实人体四肢的关节并不是像 HAL 链模型中定义的关节那样,可以以各自的自由度无限制的转动,而是有关节限制的,只有在一定范围内的转动才可以实现。所以,有必要在求解时考虑关节限制,以得到在现实中真正可行的解。这既是为了使虚拟人的行为更加自然、真实,同时也是进行正确的人机工程学评估所必需的。为此,在我们的抽象 HAL 链模型中,加入了若干关节限制,每次取其最优解。

2.2 试验过程及结果

首先设置虚拟人、障碍物及目标点的位置,如图 3 所示。

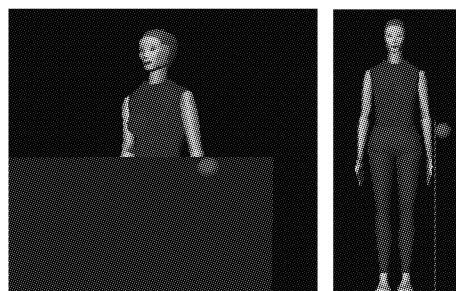


图 3 初始设置

其中,球体表示目标点(虚拟空间位置为(0.3,1,0)),目标点与虚拟人之间是一块挡板。使用此算法进行左臂的运动规划。

在此过程中,我们截取了一次照相机所拍得的场景,如图 4,我们就是利用这些场景中心区域的深度值(z-buffer 值)分别与上下臂长度比较来进行碰撞检测。

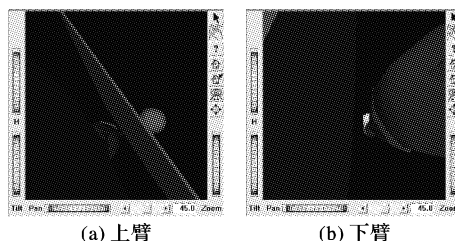


图 4 照相机所拍得的场景

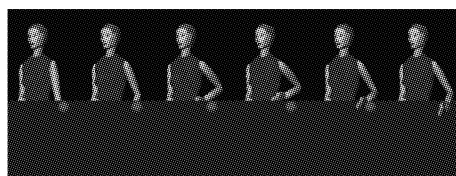


图 5 手臂运动过程

最终的模拟结果如图 5 所示,可见,在虚拟人手臂的运动

过程中,手臂成功的绕过了障碍物(挡板)到达目标点。

多次试验的数据结果如表 1 所示。

表 1 试验数据结果

	用时(ms)	路径节点数	访问节点数
试验一	500	29	137
试验二	841	34	256
试验三	992	36	263
试验四	1032	43	303
试验五	1112	48	331

3 结语

为解决和避免一般基于位姿空间(C-space)的机器人运动规划算法所具有的复杂度高、高维位姿空间的简单化处理等问题,本文提出了基于深度值(z-buffer 值)的虚拟人手臂运动规划新方法,它将基于深度值的碰撞检测方法与 A* 算法相结合,有效地实现了虚拟人手臂的运动规划,提高了算法的效率、速度和精度。已建立的仿真系统表明,该算法可有效地在受限空间中找出无碰撞路径。我们将在以下两方面继续研究:

1) 本算法利用 A* 算法规划出来的路径实质上是一条折线,为了使手臂运动更加自然,我们还需要引入平滑机制;此外,我们在利用 IKAN 包计算各关节位置的时候加入了一些关节限制条件,使其得到在现实中可行的唯一解,这样虽然使虚拟人的行为更加自然、真实,但是却忽略了手臂姿势的多样性,造成在某些受限空间中无法进行运动规划。对此,Marcelo Kallmann 等人的工作^[7]为我们提供了一些启示,这些优化方法尚需我们作进一步的探索。

2) 考虑将这种碰撞检测方法与动态路径规划算法——D* 算法相结合,实现对未知环境的运动规划。

参考文献:

- [1] HWANG YK. Gross Path Planning-A Survey[J]. ACM Computing Surveys, 1992, 24(3).
- [2] LATOMBE J-C. Robot Motion Planning[M]. Kluwer Academic Publishers, 1991.
- [3] LENGUEL J, REICHERT M, DONALD BR, *et al.* Real-Time Robot Motion planning Using Rasterizing Computer Graphics Hardware[J]. SIGGRA PH'90 Proceedings, 1990, 24: 327 - 335.
- [4] FOSKEY M, GARBER M, LIN MC, *et al.* A Voronoi-Based Hybrid Motion Planner for rigid bodies[R]. Department of Computer Science, University of North Carolina, 2001.
- [5] BADLER N, PhD, ALLBECK J, LIU Y, *et al.* Crew Task Simulation for Maintenance, Training, and Safety: NASA[R]. Center for Human Modeling and Simulation Computer and Information Science Department University of Pennsylvania, December 20, 2001.
- [6] 白井良田. 机器人工程[M]. 北京: 科学出版社, OHM 社, 2001.
- [7] KALLMANN M, AUBEL A, ABACI T, *et al.* Planning Collision-Free Reaching Motions for Interactive Object Manipulation and Grasping[R]. Robotics Research Lab, University of Southern California, Los Angeles, United States, DreamWorks Animation, Glendale, United States, Virtual Reality Lab, Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne, Switzerland.
- [8] STENTZ A. The D* Algorithm for Real-Time Planning of Optimal Traverses[R]. The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania 15213, September 1994.

(上接第 2452 页)

用 JXTA 部署 P2P 环境,在 CAS 上发布服务,并用 XML 文件实现服务目录集和设备目录集。在 CAS 上同时运行了由 JADE/LEAP for J2SE 开发的服务器端 Agent 平台和移动 Agent 平台。对于移动终端节点,则采用了 JADE/LEAP for MIDP 开发的客户端 Agent 平台。针对移动终端自然特性,如迁移性、高延迟性等,实验中也进行了相应模拟。

表 1 结果分析

测试结果	测试用例			
	环境的监测 (500)	移动终端迁移 (100)	服务的更新 (100)	查询响应 (500)
正确次数	487	83	79	464
错误次数	6	9	14	15
无响应次数	7	8	7	21

实验系统的运行得出了不错的查询结果和响应时间。如表 1 所示。

4 结语

受限于无线网络的种种缺陷,P2P 扩展到无线网络需要根据实时的环境状况来决定为其提供的服务。实时的环境监测和服务的发现成为系统扩展需要解决的关键问题。本文基于这些问题将 Agent 机制引入 P2P 系统。利用多 Agent 的交互实时获取环境变量,并利用移动 Agent 在分布式环境中的迁移收集无线网络 CAS 发布的服务,得到了较好的模拟实验

效果。然而系统还是有许多需要改进的地方,如目前还没有考虑系统的安全性、用户服务认证机制等。在服务的描述和匹配机制、移动 Agent 的迁移机制等方面也会有更好的方法可以利用。

在后期的工作中,将在 Agent 迁移机制、服务的描述和匹配机制等方面做深入的研究,以期得到更好的服务应用效果。

参考文献:

- [1] VALAVANIS E. MobiShare: Sharing Context-Dependent Data & Services from Mobile Sources. IEEE/WIC International Conference, 2003 - 10.
- [2] HWANG J. Middleware Services for P2P Computing in Wireless Grid Networks[J]. Internet Computing, IEEE, 2004, 8(4): 40 - 46.
- [3] DOULKERIDIS C, ZAFEIRIS V. The Role of Caching and Context-Awareness in P2P Service Discovery. MDM 2005, 2005 - 5.
- [4] CHARAS P. Peer-to-Peer Mobile Network Architecture[Z]. International Conference on Peer-to-Peer Computing, 2001 - 8.
- [5] LIENHART R, HOLLIMAN M. Improving Media Services on P2P Networks[J]. Internet Computing, IEEE, 2002, 6(1): 73 - 77.
- [6] AHMAD HF. Multi-agent Systems: Overview of a New Paradigm for Distributed Systems[A]. The 7th IEEE International Symposium on High Assurance Systems Engineering(HASE'02)[C], 1530 - 2059/02.
- [7] PENG M. The Application of Multi-Agent and CORBA in Mobile-GPS System[Z]. CIT 2004. 2004 - 9.