

# 基于快速扫描随机树方法的路径规划器

王 华, 赵 臣, 王红宝, 瓮松峰

<sup>\*</sup>(天津大学 智能机械研究所, 天津 300072, E-mail: zhaochen@tju.edu.cn)

**摘 要:** 介绍了一种基于快速扫描随机树的启发式路径规划方法. 该方法以初始点为根节点进行扩展, 直至随机树的叶节点中包含了目标点或目标区域中的点为止. 引入了 KD 树并以前一帧规划出的路径为基础进行下一帧的运动规划以缩短规划时间. 用该方法可以规划出最优路径或次优路径.

**关键词:** 足球机器人; 路径规划; 快速扫描随机树; 启发式

**中图分类号:** TP24

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0367-6234(2004)07-0963-03

## A new path planning method based On RRT

WANG Hua, ZHAO Chen, WANG Hong-bao, WENG Song-feng

(Intelligent Machines Research Institute, Tianjin University, Tianjin 300072, China, E-mail: zhaochen@tju.edu.cn)

**Abstract:** This paper presents a new heuristic path planning approach based on Rapidly-exploring Random Tree. Starting with an initial point as the root, the tree is expanded until the nodes include the goal point or a point within the goal area. In order to enhance the efficiency of the planning, KD structure is used and the path of the next frame of picture is calculated on the basis of former data. With this method an optimal or second-optimal path can be found.

**Key words:** robot soccer; path planning; rapidly-exploring random tree; heuristic

机器人足球融科学性与竞技性于一身, 受到了越来越多的关注<sup>[1]</sup>. 足球机器人运动规划问题属于典型的非完整性动力约束(Kinodynamic)规划问题<sup>[2]</sup>. 前人在这方面已经作了大量研究工作, 但至今仍然没有找到一个统一的解决方法. 常见的几种随机方法在解决一般的路径规划问题时有一定的优越性, 但要应用于非完整性约束规划问题还存在很多问题.

基于快速扫描随机树(Rapidly-exploring Random Tree)的启发式路径规划方法是目前令人关注的一种方法<sup>[3-6]</sup>. 该方法与其他方法比起来有一独特的优势. 它能直接应用到非完整性约束或非完整性动力学约束规划中. 这种方法以搜索空间中的一个初始点为随机树的根节点, 通过扩展, 逐渐增加叶节点直至随机树的叶节点中包含了目标点或目标区域中的点. 从初始点到目标点之间的一

条以随机树的边组成的路径就是目标路径.

## 1 快速扫描随机树(RRT)方法

为完成路径搜索, 需要建立以下 3 个函数.

函数 1: Extend (env: environment, current: state, target: state): state

函数 2: Distance(current: state, target: state): real

函数 3: RandomState(): state

Extend 函数用于计算能从某一个点以一定的步长  $\epsilon$  (通常是距离常量或时间常量) 到达的新点, 这个新的点一般是朝着目标点的进步. 如果机器人往新点行进的过程中遇到障碍物, 将会返回一个默认值 EmptyState 以告知算法寻找新点失败. Distance 函数用于提供到达目标点时, 反复运用 Extend 函数的时间或距离估计. RandomState 函数则返回从未探索环境中均匀抽取出的一个点.

用 RRT 构造的最基本的路径规划器如图 1 所示. 它以概率  $p_G$  朝目标点扩张, 并使目标函数

收稿日期: 2004-04-25.

基金项目: 天津市高校科技发展基金项目.

作者简介: 王 华(1979-), 男, 硕士研究生.

Distance 的值最小;以概率  $1 - p_G$  随机探索还没有被探索过的区域而产生一个随机点 (RandomState). 子函数 Nearest 使用 Distance 函数寻找树中的一个点,这个点距离从环境中选取的某随机点 (RandomState) 最近,其程序流程图见图2. ChooseTarget 一部分时间选取目标点直接探索,其余时间则从未探索领域均一随机地取一个点,流程图见图3.

主规划程序反复运用这几个子函数取出随机点,并朝着这个点拓展出树中距离此点最近的部分.当树中存在某个叶节点到目标点的距离小于设定的极限值时,算法结束.

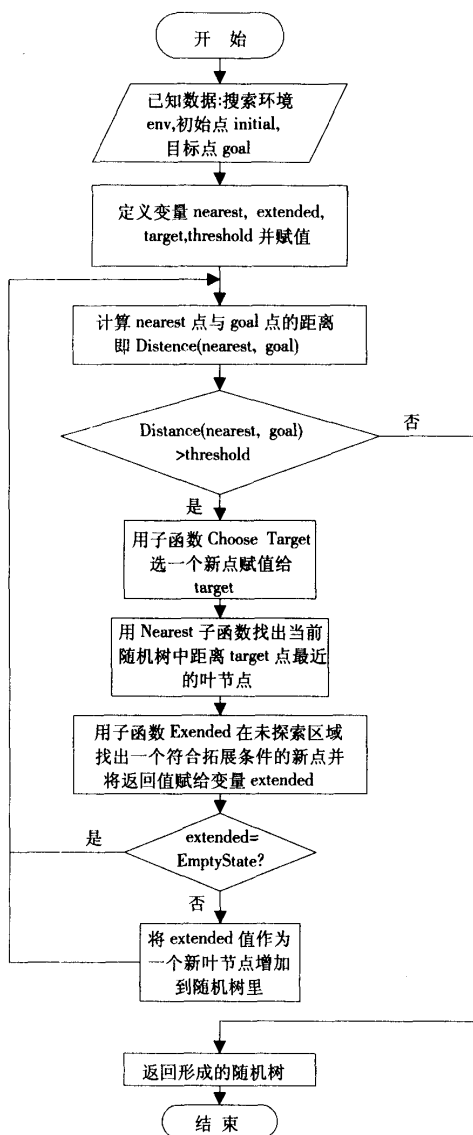


图1 路径规划器主程序流程图

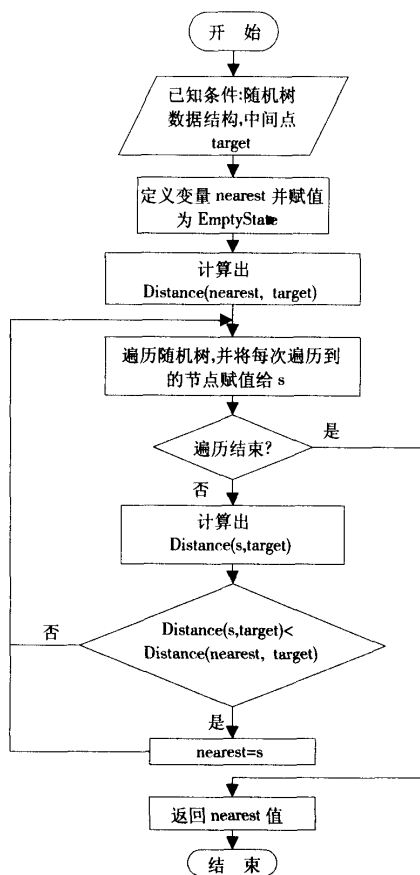
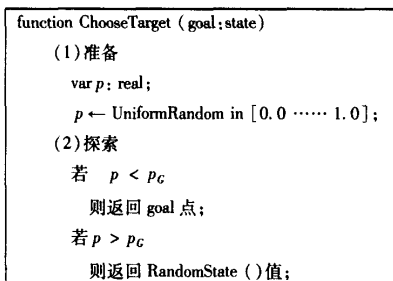


图2 子函数 nearest 流程图



$p_G$ : 取目标点的概率; UniformRandom: 均匀随机的选取; AddNode (tree, extended): 把新扩展的点 extended 加入 RRT 树中.

图3 ChooseTarget 子函数

## 2 基于 RRT 的路径规划器

将 RRT 基本算法应用于微型足球机器人运动规划时会遇到很多问题:1)搜索出的路径虽然比较好,但并不平滑;2)算法虽快,但仍然满足不了决策子系统 30 帧/s 要求;3)虽然可以找出一条到达目标点的路径,但在进行实时规划时可能没有足够多的时间让算法扩展到目标点;4)每次

搜索都从头开始,没有考虑再规划时的效率问题.因此,有必要将基本算法加以改进.

首先,要设计一个好的随机树数据结构以缩短规划时间.规划过程中每一个搜索周期都要遍历随机树.引入 KD 树来加速查找距离从环境中取出的随机点最近的叶节点.其次,由于场上机器人数量较少,机器人与球的  $x$  坐标之间的局部环境 LocalEnv 中一定存在至少一条路径满足要求,因此,只需对这个局部环境进行搜索即可. RandomState 函数返回的点也应该位于此局部环境中.这两步主要是缩短规划时间,使之适合比赛的实时要求.第三,由于微型机器人足球比赛中的采样周期为 33 ms,每两帧图像之间的球场环境变化较小,因此可以以前一帧规划出的路径为基础进行下一帧的运动再规划.为此,定义一个固定长度的数组 WayPoint[i] 作为路径点存储器,用以保存前一帧规划出的路径上的一些点.在进行下一帧规划时,以一定的概率随机取出路径点存储器里位于 LocalEnv 里的点作为本次规划的中间目标点,这一条提高了再规划过程的效率.修改后的 ChooseTarget 函数见图 4.

```
function ChooseTarget' (goal;state, LocalEnv;environment)
(1)准备
    var p: real;
    var i: integer;
    p ← UniformRandom in [0.0 ..... 1.0];
(2)探索
    若 p < pc
        则返回 goal 点;
    若 pc < p < pc + pw
        * * i ← UniformRandom in {0 ..... NumWay-
        Points - 1};
        若 WayPoint[i] ∈ LocalEnv;
            则返回 WayPoint[i];
        否则转到 * * 处
    否则
        返回 RandomState()值;
```

NumWayPoints:存储器保存的路径点数;  $p_w$ :取路径点的概率.

图4 改进后的 ChooseTarget 子函数

### 3 结 语

本文提出了一种基于快速扫描随机树(RRT)的路径规划方法,采用 KD 树数据结构存储随机树的节点,加快了在树中查找某个符合要求的节点的速度;对前一帧搜索到的路径点再次利用提高了路径规划的效率.应用此方法的难点在于找到最佳的搜索步长.如果步长过大,生成的路径不佳;步长过小又会使随机树的叶节点过多.从实验可以看出,规划器很好地解决了路径不平滑问题及避障问题,能够满足路径长度尽可能短的要求,其规划时间满足微型足球机器人实时规划要求.

### 参考文献:

- [1]洪炳熔. 机器人足球比赛—发展人工智能的里程碑[J]. 电子世界,2000(4):4-5.
- [2]YU Jian-li, KROUMOV V, NARIHISA H. Path planning algorithm for car-like robot and its application[J]. Chinese Quarterly Journal of Mathematics, 2002, 17(3): 98-104.
- [3]LAVALLE S, KUFFNER J. Rapidly-exploring random trees: progress and prospects [A]. Proceedings of the Workshop on the Algorithmic Foundation[C]. [s. l.]: [s. n.], 2000.
- [4]BRUCE J, VELOSO M. Real-time randomized path planning for robot navigation [A]. Proceedings of IROS-2002[C]. [s. l.]:[s. n.], 2002.
- [5]LAVALLE S, KUFFNER J. Randomized kinodynamic planning [J]. International Journal of Robotics Research, 2001, 20(5):378-400.
- [6]BRUCE J, BOWLING M, BROWNING B, et al. Multi-robot team response to a multi-robot opponent team[J]. Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation[C]. [s. l.]:[s. n.], 2003. 2287-2292.

(编辑 王小唯,姚向红)

作者: [王华](#), [赵臣](#), [王红宝](#), [瓮松峰](#)  
作者单位: [天津大学, 智能机械研究所, 天津, 300072](#)  
刊名: [哈尔滨工业大学学报](#) [ISTIC](#) [EI](#) [PKU](#)  
英文刊名: [JOURNAL OF HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY](#)  
年, 卷(期): 2004, 36(7)  
被引用次数: 8次

## 参考文献(6条)

1. [洪炳熔](#) 机器人足球比赛-发展人工智能的里程碑[期刊论文]-[电子世界](#) 2000(04)
2. [YU Jian-li](#); [KROUMOV V](#); [NARIHISA H](#) Path planning algorithm for car-like robot and its application[期刊论文]-[Chinese Quarterly Journal of Mathematics](#) 2002(03)
3. [LAVALLE S](#); [KUFFNER J](#) Rapidly-exploring random trees: progress and prospects 2000
4. [BRUCE J](#); [VELOSO M](#) Real-time randomized path planning for robot navigation[外文会议] 2002
5. [Lavalley S](#); [KUFFNER J](#) Randomized kinodynamic planning[外文期刊] 2001(05)
6. [BRUCE J](#); [BOWLING M](#); [BROWNING B](#) Multirobot team response to a multi-robot opponent team 2003

## 本文读者也读过(10条)

1. [蔡文彬](#), [朱庆保](#), [Cai Wenbin](#), [Zhu Qingbao](#) 未知环境下基于快速搜索随机树的机器人路径滚动规划[期刊论文]-[南京师范大学学报\(工程技术版\)](#) 2009, 9(2)
2. [郝利波](#), [侯媛彬](#), [HAO Li-bo](#), [HOU Yuan-bin](#) 基于一种改进RRT算法的足球机器人路径规划[期刊论文]-[西安科技大学学报](#) 2011, 31(1)
3. [康亮](#), [赵春霞](#), [郭剑辉](#), [KANG Liang](#), [ZHAO Chun-Xia](#), [GUO Jian-Hui](#) 未知环境下改进的基于RRT算法的移动机器人路径规划[期刊论文]-[模式识别与人工智能](#) 2009, 22(3)
4. [冯林](#), [贾普辉](#), [FENG Lin](#), [JIA Jinghui](#) 基于对比优化的RRT路径规划改进算法[期刊论文]-[计算机工程与应用](#) 2011, 47(3)
5. [朱金辉](#), [梁明杰](#), [梁颖驹](#), [闵华清](#), [张梅](#), [ZHU Jin-hui](#), [LIANG Ming-jie](#), [LIANG Ying-ju](#), [MIN Hua-qing](#), [ZHANG Mei](#) 一种自适应加权快速探索随机树算法[期刊论文]-[计算机工程](#) 2010, 36(23)
6. [林精敦](#), [王涌天](#), [陈靖](#), [刘越](#), [郭俊伟](#), [刘伟](#), [薛康](#) 基于区域分割随机树的特征识别匹配算法[会议论文]-2009
7. [樊晓平](#), [李双艳](#), [FAN Xiao-ping](#), [LI Shuang-yan](#) 带滚动约束轮移式机器人动态规划的研究[期刊论文]-[控制与决策](#) 2005, 20(7)
8. [国海涛](#), [朱庆保](#), [徐守江](#), [Guo Haitao](#), [Zhu Qingbao](#), [Xu Shoujiang](#) 基于栅格法的机器人路径规划快速搜索随机树算法[期刊论文]-[南京师范大学学报\(工程技术版\)](#) 2007, 7(2)
9. [苏淳](#), [缪柏其](#), [冯群强](#), [SU CHUN](#), [MIAO BAIQI](#), [FENG QUNQIANG](#) 随机二叉搜索树的子树[期刊论文]-[应用概率统计](#) 2006, 22(3)
10. [辛亨](#), [杨忠](#), [樊琼剑](#), [刘成功](#), [XIN Ting](#), [YANG Zhong](#), [FAN Qiong-jian](#), [LIU Cheng-gong](#) 一种改进的快速扩展随机树航迹规划算法[期刊论文]-[航空电子技术](#) 2008, 39(4)

## 引证文献(8条)

1. [代彦辉](#), [梁艳阳](#), [谢钢](#) 基于RRT搜索算法的六自由度机械臂避障路径规划[期刊论文]-[自动化技术与应用](#) 2012(10)
2. [王宪](#), [王伟](#), [宋书林](#), [平雪良](#), [彭力](#) 基于蚁群粒子群融合的机器人路径规划算法[期刊论文]-[计算机系统应用](#) 2011(9)
3. [侯媛彬](#), [郝利波](#) 煤矿救援机器人自主避障方法研究[期刊论文]-[煤炭科学技术](#) 2011(10)

4. [蔡文彬](#), [朱庆保](#) [未知环境下基于快速搜索随机树的机器人路径滚动规划](#)[期刊论文]-[南京师范大学学报（工程技术版）](#) 2009(2)
5. [郝利波](#), [侯媛彬](#) [基于一种改进RRT算法的足球机器人路径规划](#)[期刊论文]-[西安科技大学学报](#) 2011(1)
6. [刘亚杰](#), [王航宇](#), [谢君](#) [狭窄环境中基于几何法的全局路径规划新方法](#)[期刊论文]-[海军工程大学学报](#) 2010(4)
7. [成伟明](#), [唐振民](#), [赵春霞](#), [刘华军](#) [移动机器人路径规划中的图方法应用综述](#)[期刊论文]-[工程图学学报](#) 2008(4)
8. [王华](#) [微型足球机器人进攻策略的研究](#)[学位论文]硕士 2005

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_hebgdxxb200407039.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_hebgdxxb200407039.aspx)