

文章编号: 1672-9315(2011)01-0081-05

基于一种改进 RRT 算法的足球机器人路径规划

郝利波, 侯媛彬

(西安科技大学 电气与控制工程学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 针对足球机器人运用传统快速扩展随机树 (RRT) 算法进行路径规划时随机性大的问题, 提出了一种目标引力式的 RRT 路径规划算法。该算法在 RRT 算法的基础上引入了一个目标引力函数, 避免了扩展随机树向目标点以外的方向生长, 改进了快速扩展随机树缺乏确定性的问题, 提高了足球机器人在路径规划方面的效率。仿真实验结果表明, 该算法能够得到最佳路径, 同时可以有效提高路径的规划速度。

关键词: 快速扩展随机树 (RRT); 路径规划; 足球机器人; 目标引力函数

中图分类号: TP 24 **文献标志码:** A

0 引言

足球机器人路径规划特指在规定的场地中, 规划出一条从场中起始点到目标点的运动路径, 能够让足球机器人在运动过程中安全、无碰撞地绕过所有的敌我机器人及障碍物^[1]。足球机器人在得到全局场地环境信息后, 采用一次性的全局规划来得到一条自起点到终点的安全路径, 这属于在已知环境中进行路径规划。

传统的路径规划方法主要有: 人工势场法、遗传算法、人工神经网络、蚁群优化算法、粒子群算法等。近年来各国在机器人路径规划算法方面的研究都有很大的改进和创新, 如日本学者 Otsu Takahiro 和 Koshino Makoto 在其论文《APPLYING a path Planner based on RRT to cooperative multirobot box- pushing》中提出一种基于快速扩展随机树 (RRT) 算法的多机器人有效搜索算法, 改进了多机器人运动中的避障效果, 提高了多机器人协作运动的实际应用^[2]; 上海交通大学机器人研究所的黄彦文和曹其新在其论文《RoboCup 比赛环境下足球机器人路径规划研究》中, 将相对速度矢量引入人工势场法, 对传统的势场函数进行了改进, 优化了其在路径规划方面的应用^[3]。

路径规划直接影响到足球机器人的实时性、准确性和高效性, 是足球机器人的核心和关键所在^[4]。对足球机器人的路径规划进行深入研究, 找到一种全新的或者比原基础上更加优化的方法, 对足球机器人的改进和发展有着非常重要的作用, 对整个机器人的发展也是一个很大的促进。

快速搜索随机树 (Rapidly-Exploring Random Tree RRT) 是一种数据结构和算法, 其独特的优点在于可以直接应用于非完整性规划和运动力学规划中, 因而用于机器人路径规划具有快速高效等特点。但是 RRT 算法所具有的采样随机性, 又产生了规划路径实时性不高和很难规划出最优路径等问题。文中将人工势场法中的目标引力思想引入 RRT 算法, 进而改进传统 RRT 算法在路径规划方面的不足。

1 快速扩展随机树 (RRT) 算法分析

快速扩展随机树算法由 S.M. LaValle 于 1998 年首次提出。这种算法是以状态空间中的一个初始点

* 收稿日期: 2010-04-22

基金项目: 陕西省自然科学基金 (2009JM8002)

作为根节点,通过随机采样扩展,逐渐增加叶节点,生成一个随机扩展树。当随机树的叶节点中包含了目标点或目标区域中的点时,从初始点到目标点之间的一条以随机树的叶节点组成的路径就是规划路径^[5]。

1.1 RRT算法的基本原理

设 C 是系统的状态空间^[6],在 2D 的工作空间内,快速扩展随机树的构建过程如图 1 所示。

令 T_k 为一个有 k 个节点的 RRT 且 $T_k \in C_{free}$, C_{free} 为与障碍物无碰撞的机器人自由状态空间。 x 为 T_k 的节点, $x \in T_k$ 定义 x_{init} 为初始状态即起点, x_{goal} 为目标状态即终点, $x_{goal} \in C_{free}$ 为目标区域。令 x_{rand} 为 C 空间中一个随机选取的位姿状态,且 $x_{rand} \in C_{free}$,然后找出 T_k 中距离 x_{rand} 最近的节点 x_{near} 。设 $p \in C_{free}$,令 $D_{is}(p, q)$ 代表 2 个位姿状态间的几何距离,则 x_{rand} 与 x_{near} 的关系可表示为 $D_{is}(x_{near}, x_{rand}) \leq D_{is}(x, x_{rand})$ 。在 x_{near} 与 x_{rand} 的连线上求 x_{new} , x_{new} 必须满足 $x_{new} \in C_{free}$ 且 $D_{is}(x_{near}, x_{new}) = \rho$ 的条件,其中 $\rho > 0$ 为 RRT 生长的最小单位长度,称为步长。如果存在 x_{new} ,则 T_k 增加一个新节点。令 T_{k+1} 表示新的 RRT 则 $T_{k+1} = T_k + x_{new}$ 否则重新选取 x_{rand} ,重复以上过程。以固定的步长 ρ 计算出新的叶节点 x_{new} ,计算公式为

$$x_{new} = x_{near} + \rho * (x_{rand} - x_{near}) / \|x_{rand} - x_{near}\| \quad (1)$$

$\|x_{rand} - x_{near}\|$ 代表欧拉范数定义的 x_{rand} 与 x_{near} 之间的距离。其中式 (1) 表示将 $(x_{rand} - x_{near})$ 向量单位化后乘以步长 ρ 再加上 x_{near} ,就得出当前新叶节点 x_{new} 。

1.2 RRT算法的优缺点

基于采样的单查询路径规划方法通过对状态空间的随机采样,把搜索导向空白区域,RRT 算法与其他方法相比有避免对空间建模的优势。该算法高效的搜索特性,使其适合解决高维空间多自由度机器人的复杂约束下的运动规划问题,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^[7]。

由于利用随机采样生成扩展树,这将导致对同一任务重复规划会产生不同的路径,使机器人在完成同一任务时,可重复性比较差。同时用于寻找路径的扩展树由随机采样点生成,所以规划出的路径经常远离最短路径^[8]。

RRT 算法中扩展树生长时,是以规划起点 x_{init} 作为树的根节点,在自由空间中随机采样 x_{rand} ,根据式 (1) 来确定新的叶节点 x_{new} ,直到树的叶节点包含了 x_{goal} 为止。 x_{rand} 选取的任意性,导致了扩展树的生长形状具有随机性,从而导致从树的根节点 x_{init} 到叶节点 x_{goal} 规划的路径有时接近最短路径,有时远离最短路径,也存在随机性。并且对同一任务的规划缺乏可重复性。运用传统 RRT 算法足球机器人的路径规划效果如图 2 所示。

由图 2 所示,传统 RRT 算法是由起点向外随机扩展一系列的树枝,当其中一条树枝到达目标点后,所有的树枝就停止扩展,仅对先到达目标点的那条树枝进行路径规划,而且是按照树枝的生长路径进行规划,这样规划出的路径不仅达不到最佳、缺乏光滑性,并且同样的位置进行多次规划得到的路径都不相同。由此可知传统 RRT 算法规划路径的随机性及不可重复性。

2 改进的快速扩展随机树 (RRT) 算法

由分析可得 RRT 算法是基于随机采样的运动规划方法,具有很大的随机性,其本身所包含的一些缺点,对其在足球机器人中的进一步应用产生了一定的限制。要使足球机器人在路径规划方面达到理想的效果,需要解决的 RRT 算法缺点主要有:①需要对全局空间进行随机搜索,运算量大,耗时较长,导致足球机器人动作的实时性较差;②规

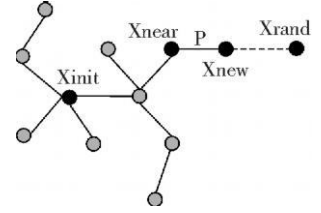


图 1 RRT 的构建
Fig 1 Constructing of RRT

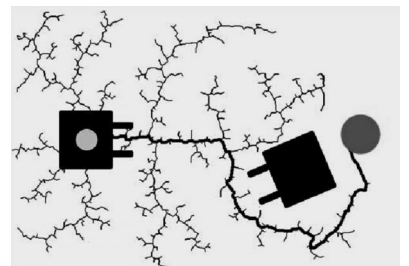


图 2 传统 RRT 算法路径规划效果
Fig 2 The path planning effect by traditional RRT algorithm

划出的路径由随机采样点构成, 不一定为最优路径; ③最终生成的路径由多个随机采样点连接而成, 导致路径不够光滑。

将人工势场法中的目标引力思想引入 RRT算法, 引导随机树朝着目标方向生长, 无需对全局环境进行确定的建模, 避免了对全局进行随机采样, 大大减少规划时间, 提高了算法的实时性, 同时修正了扩展树的生长方向, 保证了规划路径的最优性, 改进路径不光滑的缺点, 避免了产生局部极小, 使算法在规划路径方面的能力得到很大的提高。

在 RRT算法中引入目标引力函数, 目标引力函数使随机树朝着目标的位置方向生长, 这样不仅避免了随机树对全局空间进行搜索, 大大减少了运算量, 提高了实时性, 而且使规划出的路径尽可能的接近最优路径, 并改进了路径的光滑性。其核心思想是在路径中的每一个节点 n 都引入一个目标引力函数 $G(n)$, 此处的节点 n 表示由起点 x_{init} 向外扩展的第 n 个 x_{new} 节点, 可表示为

$$F(n) = R(n) + G(n).$$

(2)

其中 $F(n)$ 表示为从节点 n 到目标点的生长指导函数, $R(n)$ 为从初始节点到节点 n 的随机生长函数, $G(n)$ 为目标引力函数。

由引力势能函数 $U_k = \frac{1}{2} k_p \|x_{\text{goal}} - x_{\text{near}}\|^2$ 可得引力函数 $G_k = \frac{dU_k}{dx} = k_p \|x_{\text{goal}} - x_{\text{near}}\|$ (x 为机器人当前所在位置向量), 其中 k_p 为引力场系数, x_{goal} 为机器人目标位置向量, $\|x_{\text{goal}} - x_{\text{near}}\|$ 表示节点 x_{near} 与目标点 x_{goal} 几何距离的绝对值。据此构造出适合 RRT算法的目标引力函数 $G(n)$

$$G(n) = \rho * k_p (x_{\text{goal}} - x_{\text{near}}) / \|x_{\text{goal}} - x_{\text{near}}\|.$$

(3)

在通过 RRT算法增加新叶节点时, 目标引力函数会通过计算每个节点到目标的引力量来影响新节点的选取, 引导随机树向目标方向生长。

由新节点 x_{new} 的 RRT算法计算公式可得

$$R(n) = \rho * (x_{\text{rand}} - x_{\text{near}}) / \|x_{\text{rand}} - x_{\text{near}}\|,$$

(4)

将式 (3) 和式 (4) 代入式 (2) 可得

$$F(n) = \rho * [(x_{\text{rand}} - x_{\text{near}}) / \|x_{\text{rand}} - x_{\text{near}}\| + k_p (x_{\text{goal}} - x_{\text{near}}) / \|x_{\text{goal}} - x_{\text{near}}\|],$$

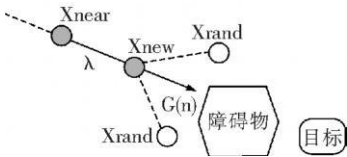
(5)

由此可得改进 RRT算法新叶节点计算公式为

$$x_{\text{new}} = x_{\text{near}} + \rho * [(x_{\text{rand}} - x_{\text{near}}) / \|x_{\text{rand}} - x_{\text{near}}\| + k_p (x_{\text{goal}} - x_{\text{near}}) / \|x_{\text{goal}} - x_{\text{near}}\|].$$

(6)

各节点的生长指导函数都为 $F(n)$, 因此实际步长变为 $\lambda = |\rho_1 + k\rho_2|$ 。随机树在无障碍物时, 人为设大引力场系数 k , 这样随机树的生长方向在很大的概率上被目标引力函数 $G(n)$ 所影响, 减小了新叶节点 x_{new} 选取的随机性; 在碰到障碍物时将引力场系数 k 设小到合适, 促使随机树避开障碍物。这样不仅保证了随机树朝着目标点方向生长, 而且这种特性还会使规划的路径接近最优路径, 并改进了路径的光滑性。改进后 RRT算法的随机树扩展示意图如图 3 所示。



3 仿真实验结果分析

实验环境: WindowsXP Intel(R) Core(TM) Duo CPU T2600 主频 2.16GHz 内存 2G 编译工具为 VisualC++ 6.0 其中正方形为找球足球机器人, 即为根节点; 圆形为足球, 即为目标节点; 圆角矩形为障碍机器人, 即为障碍物群; 黑色线条为规划出的路径。仿真结果如图 4 所示。

实验硬件平台为欧鹏公司研发的四轮足球机器人, 如图 5(a, b)所示。应用改进后 RRT算法的足球机器人实际规划路径效果如图 5(c)所示。

仿真实验结果显示: 与图 2 相比, 在引入目标引力函数后, 在各种势态情况下, 目标引力函数促使扩展树向目标方向扩展, 大大减少了不必要的扩展和计算, 使改进的 RRT算法在已知环境中规划路径的能

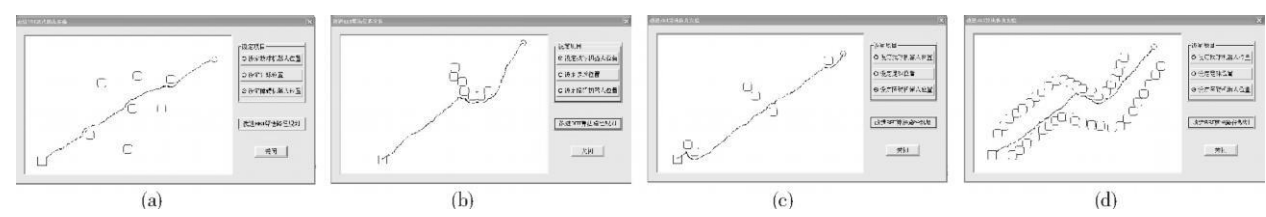


图 4 改进 RRT算法仿真结果

Fig 4 The simulation results of improved RRT algorithm

(a) 一般情况下 (b) 中间障碍物较多情况下
(c) 障碍物离机器人和球较近情况下 (d) 特殊情况下

力大大提高。不但避免了进行全局搜索,减少了路径产生时间,提高了机器人运动的实时性,而且较易获取最优路径,并且使生成的路径相对光滑平稳。

4 结 论

传统快速搜索随机树 (Rapidly-Expanding Random Tree: RRT)算法需要对全局环境进行搜索,并且搜索随机性大。改进后的 RRT算法融入了目标引力函数。能够引导新叶节点向目标方向扩展,避免了对全局进行随机采样,大大减少规划时间,提高了算法的实时性。因为所有新生叶节点都朝向目标点生长,所以同时也改进了规划路径的路径不定性,使改进后的路径比原先大为光滑。仿真实验结果表明,改进后的 RRT算法显著提高了足球机器人的路径规划效率,在不同的状态环境中都增强了足球机器人的实际应用能力。

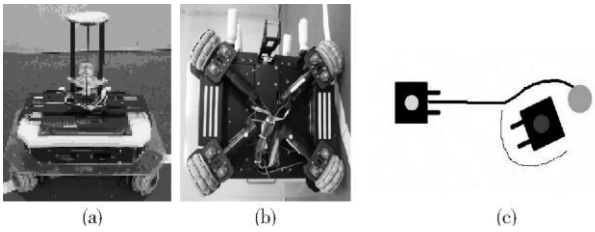


图 5 欧鹏足球机器人及应用改进 RRT算法实际规划路径效果

Fig 5 Open robot soccer and the path planning effect by improved RRT algorithm

(a) 机器人本体 (b) 机器人底部 (c) 改进 RRT算法实际规划路径效果

参考文献 References

[1] 金雷泽, 杜振军, 贾 凯. 基于势场法的移动机器人路径规划仿真研究[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(24): 226—229
JIN Lei-ze DU Zhen-jun JIA Kai Simulation study on mobile robot path planning based on potential field[J]. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(24): 226—229

[2] Otani Takahiro Koshino Makoto. APPLYing a Path Planner based on RRT to cooperative multirobot box pushing[J]. Artificial Life and Robotics, 2009, 13(3): 418—422

[3] 黄彦文, 曹其新. RoboCup比赛环境下足球机器人路径规划研究[J]. 智能系统学报, 2007, 2(4): 52—57.
HUANG Yanwen CAO Qin-xin Path planning for robot soccer in the RoboCup environment[J]. CaaI Transactions on Intelligent Systems, 2007, 2(4): 52—57.

[4] 谢 雅, 彭 军, 吴 敏. 足球机器人路径规划的改进型人工势场算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(9): 176—179
XIE Ya PENG Jun WU Min Study on evolutionary artificial potential field based path planning in robocup[J]. Computer Engineering and Applications, 2006, 42(9): 176—179

[5] 康 亮, 赵春霞, 郭剑辉. 未知环境下改进的基于 RRT算法的移动机器人路径规划[J]. 模式识别与人工智能, 2009, 22(3): 337—343
KANG Liang ZHAO Chunxia GUO Jianhui Improved path planning based on rapidly expanding random tree for mobile robot in unknown environment[J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2009, 22(3): 337—343

[6] 樊晓平, 彭 展, 张 恒, 等. 基于快速扩展随机树的机器人路径规划仿真实验平台研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2005, 2(2): 86—92
FAN Xiaoping PENG Zhan ZHANG Heng et al A simulation system for robot path planning based on rapidly expanding

- random trees [J]. Journal of Railway Science and Engineering 2005 2(4): 86—92
- [7] Jouandeau Nicolas. Rapidly exploring sorted random tree: a self adaptive random motion planning algorithm [J]. Lecture Notes in Electrical Engineering 2009 24(5): 63—73
- [8] 王 华, 赵 臣, 王红宝, 等. 基于快速扫描随机树方法的路径规划器 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2004 36(7): 963—965
WANG Hua, ZHAO Chen, WANG Hong-bao, et al. A new path planning method based on RRT [J]. Journal of Harbin Institute of Technology 2004 36(7): 963—965
- [9] 周金良, 黄彦文, 曹其新. 对抗环境下足球机器人路径规划 [J]. 上海交通大学学报, 2006 40(11): 1 827—1 831.
ZHOU Jin-liang, HUANG Yan-wen, CAO Qi-xin. The path planning for robot soccer under antagonistic environment [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University 2006 40(11): 1 827—1 831
- [10] Melchior Nik A. Particle RRT for path planning with uncertainty [C]. // Proceedings. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2007 (8): 1 617—1 624

Robot soccer path planning based on an improved rapidly exploring random tree

HAO Li-bo, HOU Yuan-bin

(College of Electrical and Control Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: Owing to large of random in robot soccer using rapidly exploring random tree tradition (RRT) algorithm for path planning, proposed a target gravity type RRT path planning algorithm. Based on the RRT algorithm, the algorithm introduces a Function of Target Gravity, avoids the expanding random tree growing toward a direction apart from target point, improves a problem that the PRT lack of certainty and raised the efficiency of path planning in robot soccer. The simulation and experiment result shows that the algorithm can get an optimal path, meanwhile it can effectively improve the path planning speed.

Key words: Rapidly-Exploring Random Tree (RRT); Path planning; robot soccer; function of target gravity

* Corresponding author: HAO Li-bo, Candidate for Master, Xi'an 710054, P. R. China; Tel: 0086—15109220436; Email: ym521@163.