

# 机器人足球比赛的路径规划设计研究

张晓健

苏州工艺美术职业技术学院 江苏苏州 215104

**摘要:** 本论文是关于机器人在足球比赛中的路径规划研究, 由于在足球比赛中若是只靠本身的传感器去避开障碍物的话, 速度过于缓慢而且可能遭遇另一台机器人也使用相同的避障方式并且朝着相同方向避障的问题, 因此在比赛中必须使用路径规划来避开这种问题, 而本论文提出加强式RRT (Rapidly-exploring random tree) 路径规划的方法来帮助机器人解决上面所提到的问题并且快速寻找抵达目标点的路径。

**关键词:** 机器人足球; 路径规划; 设计

## Research on path planning and design of robot football match

Xiaojian Zhang

Suzhou Arts and Design technology Institute Suzhou Jiangsu 215104

**Abstract:** This thesis concerns the research on path planning for robots in soccer matches. In soccer games, relying solely on the robot's own sensors to navigate around obstacles can result in slow speeds and potential issues when encountering another robot using the same obstacle avoidance method and moving in the same direction. Therefore, in such matches, path planning must be employed to address these challenges. This paper proposes an enhanced Rapidly-exploring Random Tree (RRT) path planning approach to assist robots in overcoming the aforementioned issues and swiftly finding paths to reach their target points.

**Keywords:** Robot Soccer; Path Planning; Design

目前在世界各地相关的机器人足球比赛中, 最具代表性的有两个联盟: RoboCup 机器足球赛联盟与 FIRA 国际机器足球协会联盟 (Federation of International Robot-Soccer Association), 他们透过这种集合世界各地机器人的比赛方式, 促进彼此机器人技术的发展。而此类型的比赛中可以看到不同形态的机器人出现, 例如: 人形、轮型或是其他不同形态的机器人, 虽然这些机器人的外表不一定相同, 但是在比赛中所需要应用的技术基本上大同小异, 控制机器人所需要用到的技术如: 视觉、决策行为、障碍物避障、通讯技术等, 以上技术缺一不可。而比赛中最主要的任务, 除了追球外还需要考虑避开障碍物。为了能够有效的抵达目的地与途中避开障碍物,

必须透过路径规划来完成, 原因有二: 一、若只依靠传感器本身去避开障碍物, 会消耗相对较多的时间。二、基于第一点因素再加上机器人朝向目标前进而未使用路径规划, 会有以下问题发生: 1. 可能遭遇其他机器人朝相同方向避障。2. 若避开第一个障碍物后, 反而接近第二个障碍物, 而接近第二个障碍物可能是不必要的, 因此增加了不必要的时间消耗。基于上面所提到因素, 路径规划对机器人来说是不可或缺的要素, 能够让机器人能够更有效率的进行足球比赛, 许多研究在这块领域上投入许多心力, 一直到现在也是如此。

假设已知一组起点与终点需要透过算法来求出路径, 若此时又有多组起点与终点需要计算就会造成一个多重询问 (multi-query) 的问题, 在这种情况下投入大量时间去做出地图来有效的应对未来的使用。因此的目标是去建构一个拓朴的图形也称为街图来解决多重询问的问题, 接着只要透过图形搜寻算法就可以快速地得到路

**作者简介:** 张晓健, 苏州工艺美术职业技术学院, 江苏苏州, 本科, 苏州大学, 研究生, 苏州大学, 学历: 硕士, 职称: 副教授, 研究方向: 足球教学与训练。

径, 而这些常见的方法有 Visibility graph method 与 Voronoi Diagram method。图1为 Visibility graph 所描绘的路径, 首先将所有可连通的边连接起来, 包括起点与终点, 最后在从这些图中找出距离最短的组合。而图1为 Voronoi 所描绘出的路径, 图中的每个红点为障碍物, 而黑色粗线的部分为 Voronoi 定义所画出来的区隔线, 每条线都是与两个红点的距离相等, 而图2中黑色粗线的交叉点, 都是由每条区隔线交叉所产生的节点, 先找出每个节点的后, 再将邻近的节点相连接就产生图2的结果, 图3是一个完全的 Voronoi 规划法, 透过定义将区隔线画出的后, 在寻找从起点到达终点的路线。

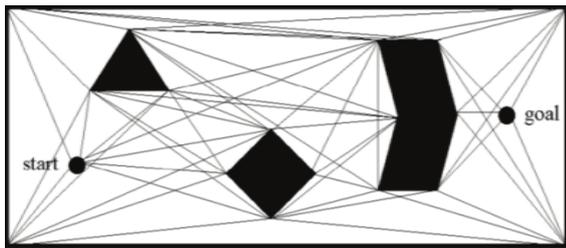


图1 Visibility graph 所描绘的路径

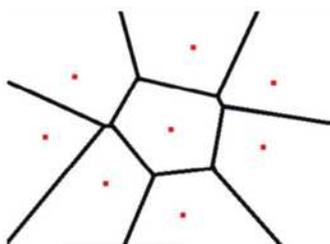


图2 黑色粗线的交叉点

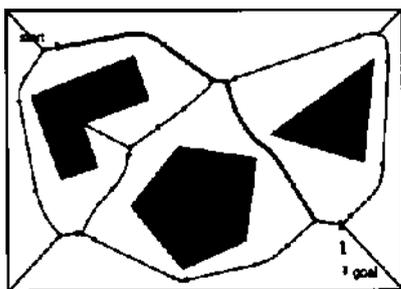


图3 完全的 Voronoi 规划法

### 一、处理方法

细胞切割法细胞切割法细胞切割法细胞切割法 (Cell Decomposition path planning) 细胞切割法的概念是为了分辨每个区块是无障碍或是有障碍作为路径规划。基础的概念如下: 1. 将空间内除了障碍物以外的地方切割成单一且连续的区块, 每个区块称为 Cell。2. 找出那些区块是相连的, 并建立下半部的关系图。3. 找出包含起、终点的区块, 并由区块关系图中找寻从起点到终点可用的路径。4. 从这些区块序列中透过合适的搜寻算法, 并

在每一个区块中找出一条可用的路径。举例来说, 路径可以是经过的区块边界的中间, 或是沿着障碍物的边界移动。左上部分区块为 C1、C2、C4、C5, 而 C1 与 C2 间的区隔线就是区块边界, 边界的中心点就是可用路径的节点。

细胞切割法的重点在于这些区块如何切割, 切割方法分为严格空间分解法 (Exact Cell Decomposition) 与近似空间分解法 (Approximate Cell Decomposition)。采用的是梯形分割法, 由障碍物顶点垂直延伸的线, 将自由空间切成数个梯型, 这些梯形的相邻关系形成下方的结构。采用的方法是用四分的方式将空间切成四个正方形, 如果切出来的空间完全是自由空间或是障碍物, 就不再切割, 若同时包含自由空间与障碍物, 则继续切割空间, 直到将两者分离为止。第一种方法较不适用于立体空间。第二种方法的缺点在于空间计算较复杂, 正确度不如严格分割法。

人工位能场 (Potential Field) 此种算法是将机器人视为地图中会受到电场的影响的点, 而驱动机器人前进的力量就是利用位能场给予的作用力与反作用力前进。目标点为低位能吸引机器人过去, 障碍物为高位能, 使机器人能够在受到吸引的同时避开障碍物。绿色的点为障碍物周边给予排斥的位能场, 红色的点为目标给予吸引的位能场, 藉由吸引与排斥的位能场合力使的机器人朝向红色目标前进, 并且途中避开绿色障碍物, 相关的研究见。

演化法 (Evolutionary method) 除了以上三种类型的方法做路径规划以外, 还有一种方式是透过过去经验来不断更新目前信息的方法, 如: 粒子优化算法、类神经网络、基因算法, 藉由训练的方式不断的寻求出符合预先定义的适应函数解, 最后找出一条安全的路径。以基因算法为例:

1. 已知起点与终点后, 随机产生一组可以抵达终点的路径作为起始的机器人组态。
2. 对起始组态进行二元编码或是实数编码。
3. 计算适应函数, 留下最好的组态。
4. 进行交配的动作, 再进行突变动作, 产生新的组态。
5. 重复 1~5 的动作直到找出较佳路径。演化法的基本精神为透过去产生的经验来当作下次演变的基础, 一直到满足设定的目标为止。

### 二、路径规划-动态环境

相较于上面所提到静态环境规划, 最大不同的处在

于障碍物未知的情况,例如:移动的障碍物,除了障碍物移动以外,也需要考虑到路径规划运算的速度,因为如果计算缓慢,可能会在执行的时候再次遭遇障碍物出现的情形。在此种情况的下若只使用上述所提到的算法去求解,会造成不必要的麻烦,因此许多研究对于此问题,将算法做一些改进,使其能够适用于动态的环境的上。上面所提到路径规划的方法,其中的某些方法不仅用于静态环境中,透过许多学者的研究与改进相关的算法,将其应用于动态环境,在本小节中将介绍一些常见的动态规划的研究。利用基因算法(GA)投影机器人组态的二维数据到一维来减低二元编码串行的长度来提高运算的速度,藉由快速的路径规划提高在动态环境的应变能力。将重新规划(Replanning)的概念应用于传统的基因演算方法,当路径上出现障碍物时,以碰撞的点往前推算出尚未碰撞的节点当作起点,而是由碰撞点往后推算出原始路径上未碰撞的节点作为新目标点,并且重新规划出安全路线。使用新的人工位能场(APF)位能函数,新的位能函数考虑动态环境中机器人、障碍物和目标的位置与移动速度,使其能够在动态环境中更佳的效果。根据环境变化来更新PRM Road map产生新的路径,假如原本的路径上出现障碍物使路径无效,此时会计算哪些节点是无效的并删除,接着再重新计算出可行走的节点更新Roadmap。透过更新RRT的Tree的方式应用于动态环境的变化,假如有障碍物出现在既定的路线上,计算哪些是无效的路线并删除,再从有效的路线上重新生长树与旧的树做连接,直到抵达目标。使用既有的Roadmap去做一个动态的路径规划,当有障碍物出现于路径上时,计算哪些是无效的路径并删除,接着再从障碍物周边生成新的Roadmap与结合原本的路径来得得到一条新路线。使用重新规划与变形(Deform)的想法,以障碍物周边设一安全距离,当原始路径在安全范围内时,透过计算将路径修改为在安全范围的边界使其路径不包含在范围内,若无法透过变形来避开障碍物时,则启用重新规划来产生新路径。

### 三、实验背景与模拟场地介绍

RoboCup联盟的主要目的在于推广人工智能、机器人学以及相关研究领域,其最终目标是希望在公元2050年能发展出一队全自主人形机器足球队员与人类的世界杯足球赛冠军队伍比赛并能赢得胜利。自1997年在日本名古屋举行了第一届世界杯比赛以来,至今已经历十四年,并每年分别选在世界各知名都市来举行。目前Robo Cup主要的机器人足球赛组(RoboCup Soccer)分

别有模拟组(Simulation League)、小型机器人组(Small-size League)、中型机器人组(Middle-size League)、标准平台组(Standard Platform League)、及人形机器人组(Humanoid League),各组别对于比赛规则、场地大小、球、与机器人的数目规格尺寸等皆有不同的规定与限制,藉由每年的机器人足球比赛。上叙所提到的机器人足球比赛组的中,根据不同组别有不同的规则,有些比赛是重视模拟的情况,例如:模拟组。而轮型机器人比赛则是小型、中型机器人组;双足机器人比赛为人型机器人组;标准平台组则是以人型机器人Nao为主的比赛。本论文目标在标准平台组,透过改进的路径规划算法与避障方式加强机器人的追球的路径规划,以下介绍相关的信息。

球场尺寸的长为6m、宽为4m,机器人使用Aldebaran Robotics公司所设计的NAO人形机器人。一队最多4台机器人参与比赛,使用RoboCup制定的NAOSoccer规则。图4为实际场地透过计算机仿真出来,左右两边的长方形框框为球门禁区,而场地外的颜色区块为球门的标示。



图4 实际场地计算机仿真

路径规划的流程如下:

1. Path planning: 藉由Bi-RRT取得原始路径。
2. Collision Detection: 进行障碍物碰撞侦测,若有碰撞则进行步骤3。
3. Collision-edge Deletion: 删除碰撞的联机。
4. Deformation: 变形处理,分为两部分: Deformation Sampling与Bi-RRT Extension。
5. Node Deletion: 取得局部路径规划后藉由节点删除,去除不必要的转折路径点。
6. Smoothing: 透过平滑处理,使路径平顺与缩短路径长度。
7. 重复步骤1~6动作。

以下将介绍本论文所使用的算法依序如下:

- A. Bi-RRT
- B. 删除节点法
- C. 平滑处理
- D. 区域针对性取样
- E. 碰撞侦测算法

于 Matlab 下进行模拟, 模拟的环境皆为 15m\*15m 的地图, 图中预设障碍物为 5 个, 预设的起点与终点分别为: (0.5, 0.5)、(14.5, 14.5) 并且在模拟过后, 说明其规划优点。

从模拟比赛场地实验中可以看到一开始蓝队规划好路径后, 红队却移动阻挡在路径的上, 蓝队在可视范围内藉由变形处理规划出一条避障路线, 由此连续图可以验证, 动态避障也达成一开始设定的目标: 拥有动态路径规划的能力, 综合以上结论本论文提出的算法的确是有效并且比 B-Human 单纯使用 RRT 的效率还好。

#### 四、结论

1. 在本论文的实验中都是假设障碍物可以取得大致上的位置信息, 因此在的后需要透过其他算法来帮助估

计障碍物的位置。

2. 取样算法方面, 虽然已经限制区域取样, 但是仍然是透过随机取样的方式来拓展地图, 因此在的后需要考虑是否有其他更有效的取样方式来取代随机取样。

3. 本论文算法只有在 Matlab 上进行模拟, 并没有实际上的测试, 因此在未来需要透过移植到实体机器人上面来验证本论文方法。

4. 本论文的实验当中, 路径规划并没有考虑到机器人的安全范围是否能够通过在两个障碍物的间的路线, 因此的后路径规划改进的方向需要将此点也纳入考虑的中, 来避免规划好路径机器人却走不过去的窘境。

#### 参考文献:

- [1] 雷震. 中型足球机器人踢球机构的建模及系统研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2009.
- [2] 唐鹏. 机器人足球行为控制学习算法的研究[D]. 北京: 北方工业大学, 2016.
- [3] 王陈, 朱卫东. 基于 A\* 算法的足球机器人路径规划[J]. 计算机系统应用, 2018, 27 (1): 189-194.