

doi: 10.7690/bgzdh.2018.11.020

基于线性回归的 2D 仿真生存挑战策略

夏庆锋, 陆伟乾, 顾隽逸

(南京大学金陵学院信息科学与工程学院, 南京 210089)

摘要: 针对国际水中机器人大赛 2D 仿真生存挑战项目, 提出一种应对当前主流进攻方式的防守策略: 基于线性回归的防守策略。介绍 2D 仿真生存挑战比赛情况, 阐述当前主流进攻防守策略, 分析攻守双方速度, 寻找消除进攻方速度优势的游行轨迹。结果表明: 该策略能很好地完成防守任务, 不让进攻鱼发挥自身的速度优势, 增加自身的存活可能。笔者运用该策略曾经在 2015 年中国水中机器人大赛上取得过亚军。

关键词: 机器鱼; 生存挑战; 防守策略

中图分类号: TP242 **文献标志码:** A

2D Simulation Survival Challenge Strategy Based on Linear Regression

Xia Qingfeng, Lu Weiqian, Gu Junyi

(School of Information Science & Engineering, Nanjing University Jinling College, Nanjing 210089, China)

Abstract: Based on 2D simulation survival challenge in International Underwater Robot Contest, puts forward defending strategies based on linear regression for mainstream attack mode. This paper introduced the situation of the competition, and expounded the current mainstream attack and defense strategies. It analyzed the speed of both attack and defensive, and found out the track of the parade to eliminate the speed advantage of the attack side. The results showed that this method can complete the defensive task, the attack fish no longer has the advantage in speed, thus, the defense have a greater possibility to survive. Using this strategy, we once got runner-up in Chinese Underwater Robot Contest in 2015.

Keywords: robot fish; survival challenge; defense strategies

0 引言

2D 仿真组比赛是国际水中机器人大赛的一类比赛项目, 采用水中机器人比赛仿真器 2D 版软件作为比赛平台, 仿真器包括服务端和客户端。服务端模拟水中比赛环境, 控制和呈现比赛过程及结果, 向客户端发送实时比赛环境和过程信息; 半分布式客户端模拟比赛队伍, 加载比赛策略, 完成计算决策过程, 向服务端发送决策结果。笔者主要基于 2015 年参加比赛时使用的策略对水中机器人大赛 2D 仿真组比赛中生存挑战的比赛策略进行研究和改进, 以期能为相关参赛者提供指导借鉴。

1 2D 仿真生存挑战比赛介绍

2D 仿真组比赛规定所有项目中的每条仿真机器鱼的速度分为 16 档, 用 0~15 之间的一个整数来表示, 方向则分为 15 档, 用 0~14 之间的一个整数表示, 其中 0~6 表示左转, 8~14 表示右转。2D 仿真生存挑战是一项对抗性比赛项目, 该项目每支队伍 4 条机器鱼, 用到 3 个矩形仿真障碍物^[1]。每支队伍的 4 条鱼中, 1 号鱼在进攻时充当特殊“抓

捕手”的角色, 在防守时则充当“防御手”的角色; 2、3、4 号鱼为常规鱼, 在防守时充当“躲避手”的角色, 如图 1 所示。



图 1 比赛初始场景

比赛开始后, 进攻方的“抓捕手”在策略的驱动下, 试图去撞击、抓捕防守方的“躲避手”, 成功撞击即可将对应的“躲避手”淘汰。防守方则是借助“防御手”的掩护, 避免“抓捕手”对于“躲避手”的撞击。另外, 比赛还规定了“抓捕手”和“防御手”的最大速度可达到 15 档, 即规则内的最大速度, 常规“躲避手”的最大速度为 8 档。在两回合

收稿日期: 2018-07-19; 修回日期: 2018-08-23

基金项目: 2016 年南京大学金陵学院重点教学改革研究项目(0010521608)

作者简介: 夏庆锋(1982—), 男, 山东人, 硕士, 副教授, 从事机器人设计、机器人设计和多机器人协作研究。

的比赛中，双方轮流扮演“抓捕手”，一方和“躲避者”一方，抓捕到更多机器鱼的队伍获胜。

2 当前主流进攻防守策略

从参加过的机器人比赛中可知，目前的比赛策略大都是利用场地上的 3 个矩形仿真障碍物来控制“躲避手”与“抓捕手”之间的距离。“躲避手”通过实时获取“抓捕手”的速度和方向信息，根据“抓捕手”的动静来决定自己围绕障碍物游动的速度，以期两者总是位于障碍物的两侧，由于障碍物的阻隔，“抓捕手”始终无法接近“躲避手”，从而成功躲避“抓捕手”，如图 2 所示。

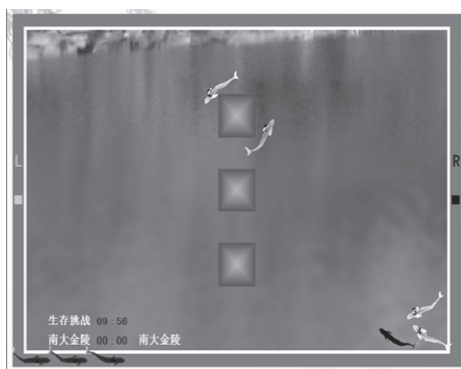


图 2 当前主流策略

该策略在大多数比赛的初始阶段都会有着不错的效果，双方的距离也控制得比较理想；但是当“抓捕鱼”在一段时间后调整策略，改变追击方向，如掉头试图从反方向抓捕时则会出现一些偏差。因为当仿真鱼处于 2 个障碍物中间(卡在障碍物中间时)，受自身的长度与转角限制，此时的仿真鱼虽然想掉头改变方向，但在场地的限制下却无法完成掉头。由于比赛软件平台的原因，当仿真鱼具有较大的游行速度和转角速度时，仿真鱼会在不确定的时间发生“瞬移”，即从之前的位置直接变为图 3 的位置，而这种不确定性就会打破原有的追击与躲避的平衡，因而需要寻求其他的防守策略。

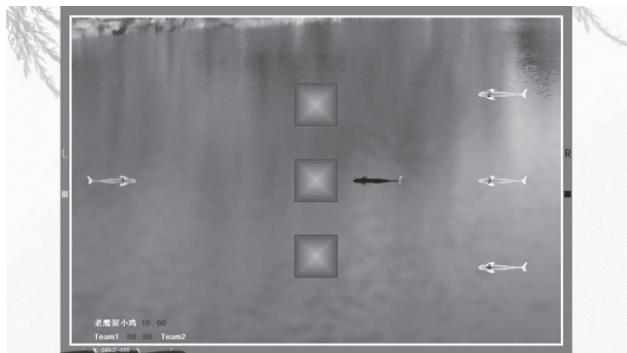


图 3 比赛平台会出现的不稳定问题

3 攻守双方速度分析

2D 仿真生存挑战是一项竞速类项目，仿真鱼的速度设计十分关键^[2-6]。水中机器人比赛中机器鱼的速度是通过档位来控制的，速度档位为 0~15，数字越大，速度越快。

根据比赛规则，进攻方“抓捕手”的速度可以达到最高 15 档，而防守方躲避鱼“躲避手”能达到的最快速度只有 8 档。为了控制仿真鱼在转弯时的旋转半径以及转弯的稳定性，仿真鱼的速度会根据所需的转角相应减小。但是在近似直游的情况下，即使防守鱼设定最大游速 8 档，对于进攻鱼来说，依然有着很大的速度优势。

初步结论：在躲避鱼的游行轨迹中，近似直游所占的比例越多对于自身就会越不利，因为这种游行的轨迹会让进攻鱼更快地完成追击。对于躲避鱼“躲避手”来讲，目标是要尽量减少进攻鱼“抓捕手”和自身直游的比例，增加弧线游行的比例，按照上文提到的转弯时的稳定性与准确性原则，在有一定的角度时，两者的速度差会减小，增加了自身逃脱的几率也降低了进攻鱼“抓捕手”的抓捕效率。

在围绕障碍物游行时，为保证其精确性，进攻鱼“抓捕手”在速度上的优势无法发挥，失去速度的绝对优势，让进攻鱼“抓捕手”的追捕变得十分困难。这就是当前的主流防守策略得以奏效的原因。

双方仿真鱼的游行轨迹都可以概括为弧线的游行轨迹加上近似直线的游行轨迹。为了让防守鱼处于最有利的境地，在极限的思想下，近似直线的游行路程趋近于 0，即在整个游行周期内，一直处于转弯的状态下。

4 防守策略研究

在近似直线的游行路程趋近于 0 时，鱼的运行轨迹应该全是弧线。在最理想的情况下，双方都按照相同的转角速度游行，达到一种动态平衡。执行上述方法是建立在双方游行方向一致的前提下，然而在比赛开始时，双方仿真鱼相向放置，所以策略的第 1 步就是调整防守鱼的方向，调整后的防守鱼与进攻鱼的夹角要小于 90°，这时就完成了初步的角度调整。

在比赛刚开始时，进攻鱼距离目标较远。设想时间最少、最不利的情况，此时的进攻鱼可能处在一个全速前进的状态。为了延缓进攻鱼通过半场的时间，可让防守一方的防御鱼游行至障碍物的中间。

“防御手”用自己的鱼身阻塞住障碍间的通道，同时为了不被进攻鱼轻易的撞开，需要在阻塞住通道时加以一定的游速和向右的转角，如图 4 所示。

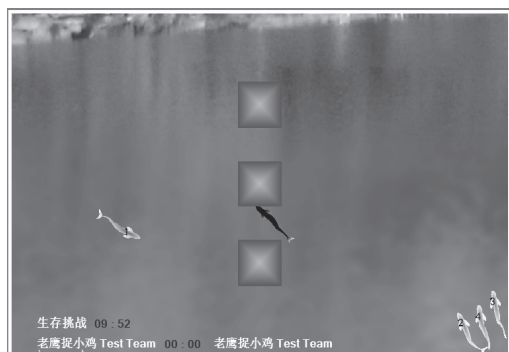


图 4 “防御手”策略

通过对障碍物的作用力以及受到的反作用力，能有效地阻塞进攻鱼的前进(经过实验的实际测试，即使从比赛一开始进攻鱼就采用最大的游行速度，防守鱼也能在进攻鱼通过障碍物间通道前阻塞住通道，说明了这一方法的可行性)。在该策略下，可以给躲避鱼提供较多的旋转时间。同时受限于障碍物之间的宽度，进攻鱼在通过障碍物到达右半场时，与水平方向的夹角在 $[-15^\circ, 15^\circ]$ ，此时的躲避鱼可以开始下一步的策略。

当进攻鱼穿过防守鱼的封锁后，躲避鱼开始下一步防守策略。躲避鱼将自己的速度设置为最大值 8 档，将自己的转角速度设置为 4 档(根据实验室的模拟比赛和 2015 年机器人大赛的经验，设置此初始值)，此时的进攻鱼会开始跟随躲避鱼不停地转弯，进攻鱼在转弯时的游行速度和转角速度通常是根据自身与目标角度划分的，这样双方的游行轨迹会形成一个近似圆，由此一直僵持下去，对于只使用一种策略的进攻鱼“抓捕手”来说，很难完成抓捕，如图 5 所示。



图 5 理想状态

这一初步的防守策略可以解决大多数的进攻鱼“抓捕手”的策略。由于各个进攻鱼“抓捕手”的设计速度会有偏差，即更加富有侵略性(速度设计较

快)或更保守求稳(速度设计较慢)，所以还需寻求更加可靠的速度设计、匹配方法。

笔者引入基于线性回归(linear regression)的速度分析匹配方法^[7]。因为在机器鱼的线速度、角速度设计中，只能按照给出的档位进行控制，同时如前文所述，在角速度大时，通常会选取相对小的线速度，所以笔者假设进攻鱼“抓捕手”的速度梯度符合一个线性方程，需要在比赛过程中记录多个进攻鱼“抓捕手”线速度与角速度的值来作为训练数据，求出代表其线速度与角速度关系的拟合直线。表达式为：

$$J(\theta_0, \theta_1) = \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^m (h_{\theta}(x^{(i)}) - y^{(i)})^2 \quad (1)$$

目标是根据代入数据求出 2 个系数：theta0、theta1。同时定义代价函数(cost function)，当这个代价函数取到全局最小值时，可以得到最优的 theta0、theta1，对于求解这个代价方程在机器学习领域有许多方法，这里使用构造矩阵的求解方法：

$$\theta_1 = (X^T X)^{-1} X^T y \quad (2)$$

其中： X 为数据组成的矩阵； y 为结果组成的矩阵；theta 为 theta0、theta1 组成的矩阵。当得到这条拟合直线后，就相当于已知对手的速度，这样就能据此匹配相应的躲避速度，与基于猜测相比更加可靠。

前面描述的是相对简单普通的情况：进攻鱼策略自始至终不变，就是不停地朝着躲避鱼身体上的一点游行，在抓捕陷入僵局时也不会改变自身策略。但是还需考虑更加复杂的情况，即在一段时间内进攻鱼没有任何的收获后，自己主动改变策略。不管是停止，还是改变自己的转角速度至相反方向，都可以打破当前的平衡，出现前面讨论过的近似直游，使得自己重新占据主动。对于躲避鱼来说，必须考虑到这些特殊情况。笔者依据线性分析预测对手速度设计的前提下，根据进攻鱼的游行状态，实时调整自己的游行状态，包括转角的方向和自身的游行速度。双方都在近似的圆形轨迹上游行，进攻鱼可能会有以下几种偏离设想游行轨迹的情况：游行至圆形轨迹的内部、游行至游行轨迹的外部 and 停止。

进攻鱼在追击一段时间后发现没有任何进展，就像当前其他策略在围绕障碍物躲避时，进攻鱼可能会按照守株待兔的想法，等待躲避鱼在多游行一整圈后遇到停止等待的进攻鱼。应对这种策略较为简单，即在进攻鱼停止游行时，躲避鱼也可以暂停游行，防止自己送上门。

因为各种原因，进攻鱼“抓捕手”调整了自己

的速度策略，使得之前求得的拟合直线在预测对方的速度时出现较大误差，这时就需要通过修改之前记录的数据值来重新计算拟合直线，然后继续上节的策略即可。

5 结束语

笔者已实现上述策略函数。作为对于之前策略的一种改进，防守鱼可以较好地完成拖延时间的任务，并在 2015 年的中国机器人大赛暨 ROBO CUP 公开赛获取生存挑战的亚军，验证了其有效性。

参考文献：

[1] 国际水中机器人联盟. 2015 国际水中机器人大赛 2D 仿

(上接第 80 页)

5 结论

笔者以筋斗机动为例，证明了基于多目标蒙特卡罗搜索树算法能够获得接近于职业战斗机飞行员能力极限的标准参考轨迹。通过在控制增稳控制律的前端引入前馈加反馈的复合控制器，并通过一定规律的参数调节，得到误差较小的跟踪轨迹。通过与传统的结合查表式参考轨迹生成和基于 PID 控制律的轨迹跟随方法进行对比，证明了本文中方法解决机动飞行轨迹生成与控制问题的有效性。

参考文献：

[1] LIN C F, KHAILI H. Digital simulation of guidance and

(上接第 92 页)

5 结束语

水面垃圾清理机器人的设计与制作^[7]，采用了模块化的思想，先将一个整体划分为几个功能模块，依据每个模块的功能特点去设计外形、结构和与外部的连结方式，最后再把相对应的模块根据原方案组合成一个有机的整体去进行更为细致的调整。该方式既能更为合理地去考虑一些潜在的问题，给出行之有效的解决方案，也能方便功能的展示与解说。这种模块化的方式需要有全局观念，虽然独自成块但还是一个有机的整体。

相比于现有的同类产品，本产品具有续航能力强、工作半径大、承载能力强、工作效率高的优点，能够在景区湖面、河面、游泳池等低水流速场合使用，切实解决目前缺少方便高效、安全系数高的打捞设备，给旅游景区、城市内河等狭长的静水水域水面垃圾清理带来的种种问题。

真组比赛规则[C]. 水中机器人大赛官网, 2015.

[2] 卞迪, 夏庆锋. 2D 仿真 5VS5 防守策略研究[J]. 兵工自动化, 2014, 33(12): 63-66.

[3] 卞迪, 夏庆锋. 一种 2D 仿真水球 5VS5 比赛策略[J]. 兵工自动化, 2013, 32(12): 59-62.

[4] 仇红剑, 夏庆锋. 水中机器人 2D 仿真的策略优化[J]. 兵工自动化, 2011, 30(12): 91-93.

[5] 赵伟, 夏庆锋. 一种基于有限状态自动机的多鱼协作顶球算法[J]. 兵工自动化, 2012, 31(11): 59-62.

[6] 吴辉辉. 水中机器人 2D 仿真比赛技术分析[J]. 机器人技术与应用, 2010(4): 23-25.

[7] KUTNER M H, NACHTSHEIM C J, Neter J. Applied Linear Regression Models (5th Ed.)[J]. Technometrics, 2004, 26(4): 125-129.

control system of an advanced supersonic fighter[J]. Simulation Transactions of the Society for Modeling & Simulation International, 1984, 42(1): 21-30.

[2] 魏航. 基于强化学习的无人机空中格斗算法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015: 3-7.

[3] 吴森堂, 费玉华. 飞行控制系统[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005: 46-62.

[4] WANG W J. Multi-objective sequential decision making[D]. Paris: University Paris-Sud, 2014: 1-6.

[5] 魏文领. 筋斗机动轨迹生成和跟随研究报告[R]. 西安: 西安飞行自动控制研究所, 2010: 2-7.

[6] 王维嘉, 陈向, 魏文领, 等. (第六届)中国国际无人驾驶航空器系统大会论文集[C]. 北京: 航空工业出版社, 2016: 3-4.

当代城市迅速发展的同时，对水面卫生清洁的要求越来越高，此类产品的市场规模较大，同时此类产品的生产厂家较少，种类较少。本产品具有广阔的市场前景。

参考文献：

[1] 张定华. 工程力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010: 7-29.

[2] 杨黎明. 机械零件设计手册修订版[M]. 北京: 国防工业出版社, 1993: 2-18, 300-303.

[3] 姜志海. 单片机的 C 语言程序设计与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2015: 52-60.

[4] 冯清秀. 机电传动控制[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2016: 230-238, 277-285.

[5] 陈立德. 机械设计基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 2013: 156-159

[6] 柯博文. Arduino 完全实战[M]. 北京: 电子工业出版社出版, 2016: 61-90, 315-318.

[7] 于飞, 李擎, 苏中, 等. 基于微分对策的水中机器人角力模型[J]. 兵工自动化, 2017, 36(12): 94-96.