

doi: 10.7690/bgzdh.2016.12.024

## 基于区域博弈的全局视觉2VS2策略改进

王中伟, 沈志强, 王梅娟  
(解放军理工大学指挥信息系统学院, 南京 210007)

**摘要:** 为寻找更加有效的制胜算法, 寻求一种基于国际水中机器人大赛全局视觉2VS2项目的有效策略改进方案, 笔者将建模思想引入策略实现。首先对赛场进行区域划分, 并基于不同区域的威胁程度进行博弈分析, 实现策略改进, 编写了新的顶球算法策略。实践结果表明: 在同等条件下, 采用该算法能够更加灵活、有效地采取策略进攻或防守, 提高对抗防御能力和进攻进球效率。

**关键词:** MURobotSys平台; 策略; 区域博弈; 顶球算法  
**中图分类号:** TP242.6 **文献标志码:** A

## Strategy Improvement of Global Visual 2VS2 Based on Regional Game Analysis

Wang Zhongwei, Shen Zhiqiang, Wang Meijuan  
(College of Command Information Systems, PLA University of Science & Technology, Nanjing 210007, China)

**Abstract:** In order to find a more efficient algorithm, this paper seeks an effective strategy to improve the global visual 2VS2 project based on the international water robot competition. Use model establishment theory into strategy application. First to the field of regional division, the game was analyzed based on the threat degree of different regions, and then the implementation strategy is improved and the new header in the algorithm has been written. Practice has proved that, by using algorithm, it can more flexible and more effectively adopt strategy to attack or defense, which effectively improve the combat capability of defense and offensive efficiency goals.

**Keywords:** MURobotSys platform; strategy; regional game analysis; algorithm for ball-pushing movement

### 0 引言

随着人工智能技术的飞速发展, 以信息技术、电子机械、传感控制、人工智能等技术为支撑的机器人技术日益蓬勃发展起来, 各类围绕机器人的赛事先后出现。国际水中机器人大赛创办至今, 以其项目精、技术高、面向广的优势吸引了美国西点军校、清华、北大等多所院校的参与。其中, 具有代表性的全局视觉组比赛因其较高的技术挑战性和观赏性而备受青睐。

笔者以全局 2VS2 项目为研究内容, 尝试引入建模思想和博弈论思想, 在理论分析设计的基础上, 提出一种有效的策略改进方案。

### 1 背景知识

#### 1.1 MURobotSys平台

MURobotSys 平台<sup>[1]</sup>, 即多水下机器人协作系统 (multiple underwater robot system, MURS), 采用 Microsoft Visual Studio 2010 SP1 开发环境, 使用 C++ 编程语言开发, 可用于单支队伍的控制表演或多支参赛队伍的同台对抗竞技。其作为水中机器人比赛全局视觉组的比赛标准平台, 包括机器鱼软件控制平台, 用于加载运行比赛策略, 以及相应的通

信装置和数据采集处理装置组成。

#### 1.2 2VS2水球比赛规则

现用全局视觉水球组水球 2VS2 的比赛环境<sup>[2]</sup>, 如图 1 所示。

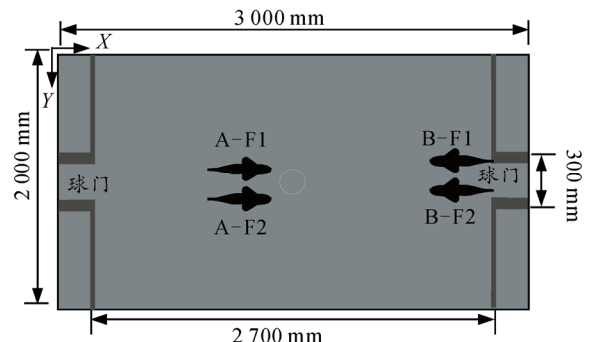


图1 比赛场地图

比赛分为上下 2 个半场, 在上半场比赛开始时, A 参赛队和 B 参赛队机器鱼分别从己方球门线出发。比赛下半场会进行场地交换。假如一方进球, 则重新开球。比赛正常进行的过程中, 若有水球整体越过球门线的情况发生, 裁判长会鸣哨判定进攻方球队进球得分, 而对于“乌龙球”则视为对方进球。比赛依据进球数的多少判定胜负, 如果进球数相同, 则比赛打平。参赛队伍按照下列规则获得积

收稿日期: 2016-09-11; 修回日期: 2016-10-15

作者简介: 王中伟(1994—), 男, 山东人, 学士, 从事指挥信息系统研究。

分：胜利得 3 分，平局得 1 分，失败得 0 分。小组赛时若 2 支球队积分相同，则按照以下规则决定球队名次：球队净胜球数，每场比赛平均进球数，2 支球队之间比赛胜负情况。

### 1.3 博弈论相关理论

博弈论研究的是在具有竞争或对抗性质的博弈行为中，综合考虑对手可能采用的各种策略，利用现有的博弈信息，来寻求己方的最佳应对策略，实现目标效益的最大化。基本的博弈主要由 3 个基本要素<sup>[3]</sup>组成：一是决策主体 (Player)，又可以称为参与人或局中人，依据局中人的多少可以分为 2 人博弈和多人博弈；二是给定的信息结构，主要体现为局中人可选择的策略集合和行动空间，也称为策略集；三是效用 (Utility)，又称为得失或支付函数，是所有局中人追求的目标。每个局中人在一局博弈结束时的得失，不仅与该局中人自身所选择的策略有关，而且与全局中人所选定的一组策略有关。局中人、策略集和效用构成了博弈的基本要素。

一个完整的博弈论模型需要从 5 个方面进行描述： $G = \{P, A, S, I, U\}$ 。其中 P 对应于局中人，即博弈的参与者，也称为决策主体，局中人需要能够独立承担博弈过程中带来的责任，并且能够独立的做出决策，以最终实现自身博弈效益最大化为目标；A 为各局中人可能采用或能够采用的所有策略和行动的集合；S 为博弈的过程，即博弈需要依次进行的顺序；I 为博弈信息，即会影响博弈最终结果的所有局中人的信息；U 为局中人获得的最终利益，它是所有博弈方追求的最终博弈目标，任何一方都希望己方得到的最终效益尽可能大。

文中模型对应的博弈方法是纳什均衡博弈，即博弈局中人都确信，在给定其他局中人策略集的基本情况下，己方确定了最优策略以应对对手的策略；因此，在该博弈中，所有人的策略都是最优的。

## 2 分析与设计

### 2.1 设计思路

对于比赛中的全局视觉水球 2VS2 比赛项目，比赛平台为参赛选手提供了一些基本的顶球算法<sup>[4]</sup>。该算法通过前期比赛的检验暴露出了一些问题，如进球效率低下、死循环无法终止、误判错判等。笔者的主要设计思路如图 2 所示，首先对比赛场地进行区域化建模，确定不同区域的威胁程度，进而引入博弈论思想，针对不同的区域制定具体的算法策

略，修改平台底层原有的算法。这样可以利用理论决策代替原有算法的人为干预，从而简化代码复杂程度，提高运行效率。

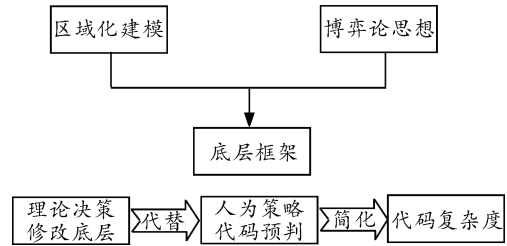


图 2 技术路线

### 2.2 区域化建模

根据比赛积累的经验可知，当水球在球门正前方时，其威胁要大于在球门两侧时的威胁，且水球与球门的距离大小也会影响其对球门的威胁程度；因此，笔者从不同的角度进行分析，通过对比赛水池区域划分并建模，从理论上分析不同区域进攻位置对球门的威胁程度，进而为制定适当的策略提供合理可靠的依据。

比赛过程中，机器鱼自身的性能和机器鱼所处的位置到目标进球点的距离会决定进球的概率；因此，当这 2 个影响因素确定时，机器鱼在向对方球门进攻的过程中，水球在球门线上的落点将变得相对规律。通过模拟测试，可以发现落点的分布呈现为一维正态分布<sup>[5]</sup>，可基于此进行建模分析。

笔者将球门简化为平面上的一条直线，在球门所处的直线区域上进行水球落点分布的积分，即为一次进球的命中率。可以发现进球的命中率与进球的目标点位置有很大依赖关系。而实际的比赛中，由于机器鱼可以任意选择进球目标点；因此，需要遍历球门线上的所有点，对命中率积分得到某射门点对球门的威胁程度。进而根据威胁程度的大小划分进攻区域。为了便于分析以及考虑到实际比赛情况，笔者作出以下假设：

- 1) 在理想状态下，认为机器鱼的基本性能是相同的，或差别不大；
- 2) 由于球速较小，不考虑机器鱼击球后水的阻力对球速的影响，设球速为 100 mm/s；
- 3) 机器鱼击球只在靠近对手球门的半场进行，为此假设该半场为有效击球区域；
- 4) 只考虑标准水池：长为 3 000 mm，宽为 2 000 mm；球门宽为 300 mm。

首先建立如图 3 所示的平面直角坐标系，即以球门的中心点为原点 O，水面为 xOy 面。

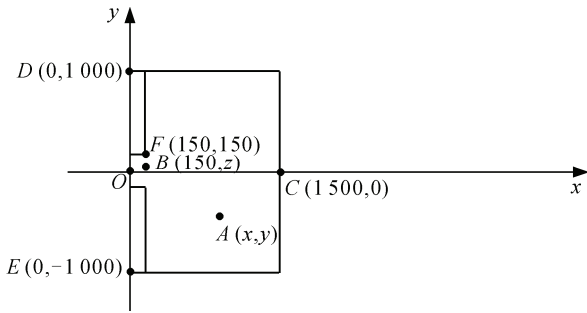


图3 平面直角坐标系

图3中的符号和下列公式的符号定义如表1。

表1 符号说明

字母	含义说明
$\Omega$	水池上的一个球门所在直线，是水面以上的直线
$D$	水池上的一个球门所占横距，是水面以上的线段
$A(x,y)$	水池中的点， $(x,y)$ 为其坐标
$B(150,y)$	球门上的点， $(150,y)$ 为其坐标
$p(x,y;150,y_1)$	从水池中 $A(x,y)$ 对准球门内 $B(150,y_1)$ 点击球时，命中球门的概率
$D(x,y)$	水池中点 $(x,y)$ 对球门的威胁度
$k$	机器鱼的基本性能，是一个相对指标
$d$	水池中 $A$ 点到球门上 $B$ 点的直线距离

通过上述分析，假设基本性能为 $k$ 的机器鱼从 $A(x,y)$ 点向距离球门上 $B(150,y_1)$ 为目标点射门时，水球在球门线的落点服从一维正态分布。其概率密度函数为：

$$f(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (y \in \Omega) \quad (1)$$

其中方差 $\sigma$ 与机器鱼性能 $k$ 成反比，与射门点 $A(x_0,y_0)$ 和目标点 $B(150,y_1)$ 之间的距离 $d$ 成正比。由此，可以确定 $\sigma$ 的表达式为 $\sigma = \frac{d}{k}$ 。

$$其中 \quad d = \sqrt{(y_0 - y_1)^2 + (x_0 - 150)^2} \quad (2)$$

注意到，在式(1)的密度函数中，关于变量 $y$ 是没有限制的，但实际中球只能落在水池以内，即只有 $-1000 \leq y \leq 1000$ 。因此，笔者令：

$$p_D = (x_0, y_0; 150, y_1) = \int_D f(y) dy; \quad (3)$$

$$p_\Omega = (x_0, y_0; 150, y_1) = \int_\Omega f(y) dy \quad (4)$$

则取两者比值即为这次击球命中球门的概率：

$$p = (x_0, y_0; 150, y_1) = \frac{\int_D f(y) dy}{\int_\Omega f(y) dy} \quad (5)$$

对命中球门的概率在球门横距 $D$ 内作积分，定义为水池中某点 $A(x_0,y_0)$ 对球门的威胁度，即

$$D(x_0, y_0) = \int_D (x_0, y_0; 150, y_1) dy_1$$

综合以上分析，对于水池中任意一点 $A(x,y)$ 关于球门的威胁度为：

$$D(x,y) = \int_D (x_0, y_0; 150, y_1) dy_1 \quad (6)$$

$$其中 : \quad p(x_0, y_0; 150, y_1) = \frac{p_D(x_0, y_0; 150, y_1)}{p_\Omega(x_0, y_0; 150, y_1)} ;$$

$$d = \sqrt{(y_0 - y_1)^2 + (x_0 - 150)^2}$$

笔者考虑采用数值积分的方法求解，需要对机器鱼基本性能的参数 $k$ 进行确定。通过计算，当确定机器鱼基本性能 $k=10$ 时，模型便可以求解，得出水池中任意射门点对球门的威胁程度。根据各射门点的威胁程度，利用Matlab软件作出水池中等威胁程度的曲线，如图4所示。

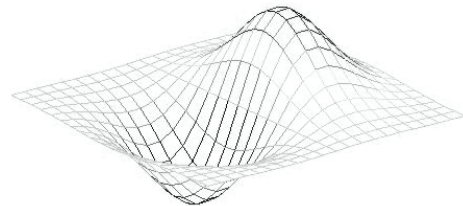


图4 水池等威胁度分布图

根据上图可以看出，正对球门的水池中央区域对球门的威胁程度最大，随着向两侧扩展，威胁程度逐渐降低，在水池两侧边缘部分对球门的威胁程度几乎为零。由于比赛为对抗性模式，比赛场地可以依据场地中线，划分为对称的2部分。考虑到对手机器鱼的性能与射门点选择也满足上述建模分析；因此，上述图中威胁程度为负的区域可以划为己方球门的危险区域并加以防护。

### 2.3 博弈分析

在水球2VS2比赛项目中，由于水球位置在随时变化、敌我双方均有2条机器鱼，选择策略时要综合考虑水球的位置、敌我双方机器鱼的位置以及双方采用的攻防博弈策略等；因此，笔者依据博弈建模结果分析的威胁等级进行区域划分，优先考虑水球以及机器鱼的位置对球门的威胁程度，对比赛场地进行了区域划分，得到结果如图5所示。

图中区域1与区域2正好对应于上面建模结果的威胁程度积分较高的区域，其上边线与比赛场地场边距离正好等于水球的直径100mm。假定我方



为左半场，对手为右半场。对应于区域 1 应为我方的主要进攻区域，区域 2 为敌方的主要进攻区域，即我方的主要防守区域。区域 3 和区域 4 各分为上下 2 个部分，分别对应于我方的次要防守区域和次要进攻区域。

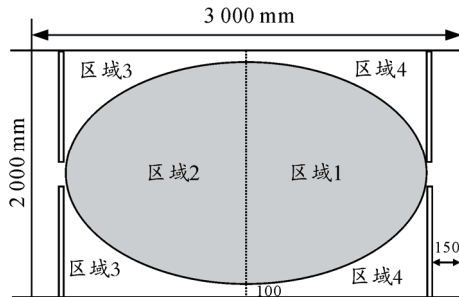


图 5 区域划分图

### 3 策略优化与实现

#### 3.1 策略优化分析

对于区域 1 而言，由于机器鱼所处的位置对球门的威胁程度较高，且有利于我方进攻对手的球门；因此，该区域可以采用机器鱼头部顶球算法。若机器鱼位于水球和球门之间，机器鱼首先需要调整位置，采用上绕或下绕的方式，机动到水球与球门的延长线上，进而将球顶入对方球门。若机器鱼位于水球与球门的延长线上，可直接将球顶入对方球门。

对于区域 2 而言，由于比赛的对称性，需要我方采用积极的防守策略，否则容易产生“乌龙球”；因此，在该区域我方机器鱼需要首先将水球顶出该区域，使得其远离我方球门，降低其对球门的威胁程度。可以采用向右上或向左下顶球的方式，使球进入区域 3。

区域 3 为我方的次要防守区域。由于机器鱼自身转弯性能的限制，该区域容易形成进球的死角；因此，在该区域我方需要保持这种对方进球不利状态，并努力寻求机会，化被动为主动。

对于区域 4 而言，同样受机器鱼硬件限制，若采用头部直接顶球，容易将球顶入死角。为此，笔者提出采用甩尾式方法组织进攻。由于机器鱼甩尾会形成水波，利用水波的流动能量，带动水球漂移到对球门威胁程度高的位置，进而组织有效的进攻。

#### 3.2 策略算法实现

在理论分析结果的基础上，采用 Visual Studio 进行编程测试，主要算法代码框架如图 6 所示。

#### 3.3 实验结果

对比运行测试优化后的代码和原来的代码，可

以发现优化后的算法比原有的算法更加有效，测试数据如表 2 所示。

```

b_pt=m_goalinfo.GetBallPoint();
i=judge(b_pt); // judge()函数用于判断球处于一次划分的哪个区域
BOOL CStrategy::Strategy1(CFishAction m_action[],CFishInfo m_FishInfo[],CBallInfo &m_ballinfo,OBSTAINFO m_obst [],CHANNEL m_Channel[])
{ j=judge(b_pt,f_pt1,f_pt2);
switch(j)
{ case 1:CStrategy::Strategy11(CFishAction m_action[],CFishInfo m_FishInfo[],CBallInfo &m_ballinfo,OBSTAINFO m_obst [],CHANNEL m_Channel [])://主要区域进攻策略
case 2:CStrategy::Strategy12(CFishAction m_action[],CFishInfo m_FishInfo[],CBallInfo &m_ballinfo,OBSTAINFO m_obst [],CHANNEL m_Channel [])://次要区域进攻策略
case 3:CStrategy::Strategy13(CFishAction m_action[],CFishInfo m_FishInfo[],CBallInfo &m_ballinfo,OBSTAINFO m_obst [],CHANNEL m_Channel [])://主要区域防守策略
case 4:CStrategy::Strategy31(CFishAction m_action[],CFishInfo m_FishInfo[],CBallInfo &m_ballinfo,OBSTAINFO m_obst [],CHANNEL m_Channel [])://次要区域防守策略
case 5:CStrategy::Strategy32(CFishAction m_action[],CFishInfo m_FishInfo[],CBallInfo &m_ballinfo,OBSTAINFO m_obst [],CHANNEL m_Channel [])://干扰对手策略
}
}

```

图 6 主要算法代码框架

表 2 测试结果

双方进球数	对手1		对手2		
	第1组	第2组	第3组	第4组	第5组
改进代码前	(0, 0)	(0, 1)	(1, 1)	(0, 0)	(1, 0)
改进代码后	(1, 1)	(1, 0)	(2, 1)	(2, 0)	(1, 0)

### 4 结束语

通过对前期参赛队伍比赛经验的积累和总结，笔者将建模思想引入编程算法实现过程中，立足于现有的软/硬件基础，通过对比赛场地进行区域建模划分，为比赛决策制定提供理论基础。进而通过博弈论知识解决实际问题，确定不同区域的比赛策略并编程实现，测试优化。在同等条件下，该策略能更加灵活、有效地采取策略进攻或防守。在后续的机器人大赛中，该研究成果被一些高校参赛队伍成功应用，相关实践结果检验了该策略的正确性。

笔者的研究更多是从一般性的角度寻找制胜策略，没有将比赛中对手可能选择的所有策略进行充分考虑(如只使用一条鱼比赛等特殊因素对己方策略的影响)，将在后续工作中进行完善。

#### 参考文献:

- [1] 北京大学. 机器人水球比赛项目推介书[M]. 北京: 北京大学出版社, 2009: 1-5.
- [2] 2015国际水中机器人大赛全局视觉组比赛项目及规则[M]. 国际水中机器人联盟, 2015: 15-17.
- [3] 郭鹏, 杨晓琴. 博弈论与纳什均衡[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2006, 22(4): 25-28.
- [4] 陶金, 孔峰, 谢广明. 基于动作决策的机器鱼顶球算法[J]. 兵工自动化, 2010, 29(11): 70-73.
- [5] 张新建. 一维正态分布与二维正态分布关系简析[J]. 信息工程学院学报, 1994, 13(2): 54-56.