

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.11.016

一种基于有限状态自动机的多鱼协作顶球算法

赵伟, 夏庆锋

(南京大学金陵学院机器人实验室, 南京 210089)

摘要: 针对水中机器人比赛中多机器鱼协作顶球时出现的互相干扰的问题, 提出一种基于有限状态自动机的多鱼协作顶球算法。从机器鱼运动特点以及水环境的特点出发, 以单鱼顶球算法为基础, 以有限状态自动机的思路建模, 对每条机器鱼的动作决策进行规划, 从而能够高效地完成每条机器鱼的路径规划并避免互相干扰, 以达到高效顶球的效果。实验结果证明: 该有限状态机能够触发每条鱼的状态动作的转换, 最大可能地实现互不干扰地交互顶球, 大大提高了在多鱼顶球时的效率。

关键词: 机器鱼; 多鱼协作; 路径规划; 有限状态机

中图分类号: TP242; TP301.6 **文献标志码:** A

A Ball-Pushing Algorithm of Multiple Fish Collaboration Based on Finite State Automata

Zhao Wei, Xia Qingfeng

(Laboratory of Robotics, Jinling College, Nanjing University, Nanjing 210089, China)

Abstract: Aiming at the problem of interfere in the process of multiple robot fish heading the ball in the underwater robot competition, a ball-pushing algorithm of multiple robot fish collaboration based on finite state automata is introduced. Consider the characteristics of the robot fish's movement and the water environment, and based on the ball-pushing algorithm of single robot fish, this paper establishes the mathematical model based on the finite state automata, and plans each robot fish's decision-making of the action. Thus each robot fish can achieve their path planning efficient without interfere with each other, so that multiple robot fish can achieve the effect of ball-pushing efficient. The result of tests shows that the finite state automata can trigger the status conversion of each fish and they can push the ball without interference, and greatly improves the efficiency in the process of multiple robot fish heading the ball.

Key words: robot fish; multiple robot fish collaboration; path planning; finite state automata

0 引言

由中国自动化学会机器人竞赛工作委员会主办的“中国水中机器人大赛”是中国人完全自主创立的机器人竞赛项目, 以智能仿生机器鱼为主体, 在水中进行各类竞赛, 包括竞速、花样游泳、追逐和激烈对抗的水球比赛。目前, 水中机器人比赛中的多机器鱼协作问题已成为国内外各竞赛队伍的研究热点之一。前人所提出的各种路径规划算法, 例如栅格法, 人工势场法, 遗传算法^[1-2]等, 都能较好地实现单鱼顶球的路径规划问题, 但由于水中环境的复杂性和不确定性, 在多鱼协作的情况下却出现了各机器鱼之间的互相干扰, 使机器鱼的顶球点出现方向偏差, 导致多机器鱼顶球效率较低。

因此, 笔者在前人提出的较优秀的单鱼顶球算法的基础上, 结合有限状态自动机的建模思路, 提出一种避免多机器鱼顶球时互相干扰的顶球算法,

使多条机器鱼能够高效地完成顶球任务, 并将该算法运用在水中机器人全局视觉 2vs2 的比赛中, 取得了较好的效果。

1 仿生机器鱼

如图 1, 仿生机器鱼^[3]主要分鱼头、鱼身、鱼尾 3 部分。其中: 鱼头部分由控制电路板、电池、通讯模块、电源开关和胸鳍构成, 鱼头上预留了吹气孔、充电头和天线。鱼身部分由 3 个摆动关节串联构成, 每个关节均由一个直流伺服电机驱动, 模拟鱼体波曲线的运动。鱼尾为新月型尾鳍。该机器鱼通过 3 个舵机模拟鱼类的摆动, 建立了特殊动力学模型, 拥有良好的动力学特性。其优点在于成本低、体积小并具有良好的同构性、灵活性、稳定性和精确性。在实验室或比赛环境下, 可以采用全局视觉来获取机器鱼的位姿信息。

收稿日期: 2012-05-29; 修回日期: 2012-06-20

基金项目: 南京大学金陵学院 2011 年度教学改革与研究立项项目“单关节小型‘金陵’机器鱼研制”(1005011007)

作者简介: 赵伟(1990—), 男, 江苏人, 本科在读, 从事软件工程研究。

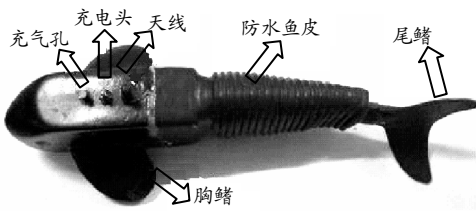


图 1 仿生机器鱼

在普通情况下, 仿生机器鱼拥有 15 个速度档以及 15 个方向档。速度档值越大, 速度则越快。而方向档分为 2 个部分, 0~6 档表示左转, 7 档代表直游, 8~14 表示右转。

2 单鱼顶球算法

目前在单鱼顶球算法上应用最多的是切入圆算法^[4]和动作决策的算法^[5]。这 2 种算法各有优劣: 切入圆算法能够有比较精确的路径规划, 使鱼头能够正向球顶球; 动作决策算法能够很好地利用鱼身体的各个部位和水波影响来使球向目标点运动。但是这 2 种算法在实际应用中都还存在一些问题, 主要是由于水下环境的复杂性和不确定性带来了大量的干扰, 降低了控制的效率和准确度。目前, 机器鱼还不能做到较好的跟踪, 难以达到理想的效果; 还有机器鱼头部比较尖, 难以精确顶向球。

笔者针对这 2 种算法的优劣, 进行了改进。基本思想是: 当鱼离球比较远时, 机器鱼以最快速度接近球。当鱼到了离球一定距离时(此距离可以使鱼能够倒转鱼头, 还可以使鱼体的各部位接触到鱼, 笔者经过实验选择距离为 30 cm), 根据鱼、球、目标点的位置构建一个以球心为原点, 球心到目标点为 x 轴正方向, x 轴正方向逆时针旋转 90° 作为 y 轴正方向的新坐标系, 然后根据鱼在新坐标系中的位置判断决策鱼的动作。其最终目的是尽量使鱼正向球顶球, 利用身体位姿判断, 一边调整鱼的姿态, 一边利用身体各个部位进球触球或引起水波, 从而使球向任意目标点运动。

3 多机器鱼协作算法

为避免多机器鱼协作顶球时互相干扰, 笔者以有限状态机的思路建模, 对每条机器鱼的动作决策进行规划, 同时保证有机器鱼在高效顶球, 其他机器鱼制造水波效果影响球向目的地运动, 如图 2。

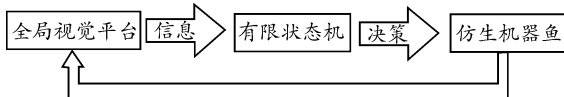


图 2 多鱼协作全局流程

由图 2 知, 有限状态机从全局视觉平台获得场地环境信息, 并根据环境信息判断仿生机器鱼所处区域, 进而获得机器鱼的指令。处于不同状态下的机器鱼有不同的命令, 以保证机器鱼在有限状态机的控制之下。

3.1 区域划分

首先, 作者根据环境信息中所有仿生机器鱼所处的位置, 球的位置和球门的位置定义了 6 个区域。每个区域均有 3 个属性, 分别为: 是否空闲、是否有敌方机器鱼、是否有我方机器鱼。在以球为原点, 球和目标球门的连线为 x 轴的新的坐标系中(如图 3), 5 个区域定义如下。

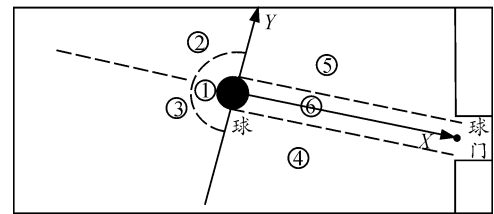


图 3 区域划分位置

区域①: 处于顶球最佳顶球位置, 该区域下只能有一个我方机器鱼, 属于其他区域下的机器鱼互相竞争的区域。

区域②: 处于进入区域①途中, 位于第二象限内。在区域①处于占用状态时, 机器鱼大幅摆动, 游动缓慢制造水波驱动球前进。

区域③: 处于进入区域①途中, 位于第三象限内。在区域①处于占用状态时, 机器鱼大幅摆动, 游动缓慢制造水波驱动球前进。

区域④: 处于刚退出区域①或③, 位于第二象限内。在该区域下, 当区域①处于占用时, 根据是否有敌方鱼进行不同决策, 如有, 则计算敌方鱼游动目标点, 然后游向该目标点, 以达到阻止敌方机器鱼顶球的目的; 若没有, 则进行大幅右甩尾动作, 制造水波, 驱动球前进。

区域⑤: 处于刚退出状态机①或②, 位于第三象限内。在该区域下, 当区域①处于占用时, 根据是否有敌方鱼进行不同决策, 如有, 则计算敌方鱼游动目标点, 然后游向该目标点, 以达到阻止敌方机器鱼顶球的目的; 若没有, 则进行大幅左甩尾动作, 制造水波, 驱动球前进。

区域⑥: 处于第二, 三象限中间区域。在该区域下, 当区域①处于占用时, 根据是否有敌方鱼进行不同决策, 如有, 则计算敌方鱼游动目标点, 然

后游向该目标点, 以达到阻止敌方机器鱼顶球的目的; 若没有, 为防止乌龙球, 快速游向区域④或⑤。

以上 6 种状态下, 只要区域①处于空闲状态时, 处于其他任一状态机下的鱼都要优先以规定动作使我方机器鱼进入区域①并进行顶球动作。

3.2 确定性有限状态自动机

一个确定性有限状态自动机定义为一个五元组:

$$G = (Q, \Sigma, \delta, q_0, Q_m) \quad (1)$$

其中: Q 为有限状态集; Σ 为有限允许输入字符集即字母表; δ 为一个部分定义的状态转移函数 $\delta: \Sigma \times Q \rightarrow Q$; $q_0 (q_0 \in Q)$ 为初始状态; $Q_m (Q_m \subset Q)$ 为标识状态集。

注 1 上述定义中, 可以把状态转移函数由符号扩展定义到字符串, 表示为输入符号串的集合, 则有 $\delta: \Sigma^* \times Q \rightarrow Q$, 记为 $\delta(w, q_0)$ 。

注 2 称一个状态转移函数 $\delta(w, q)$ 有定义, 如果“对任一状态 $q \in Q$ 和空符号串 e 有 $\delta(e, q) = q$, 必导致对任意符号串 $s, \sigma \in \Sigma^*$ 成立关系式 $\delta(s\sigma, q) = \delta(\sigma, \delta(s, q))$ ”。为简化表达, 通常采用 $\delta(w, q)!$ 来表示 $\delta(w, q)$ 有定义。

定义 1 有限自动机产生的语言, 对有限自动机 G 和任一初始状态 $q_0 \in Q$, Σ^* 为输入符号串的集合, 则自动机产生的语言 $L(G)$ 定义为使状态转移函

数 $\delta(w, q_0)$ 有定义的输入符号串 $w \in \Sigma^*$ 的一个集合, 即

$$L(G) = \{w \mid \delta(w, q_0)!\} \quad (2)$$

定义 2 有限自动机标识的语言, 对有限自动机 G 和任一初始状态 $q_0 \in Q$, Σ^* 为输入符号串的集合, 则自动机标识的语言 $L_m(G)$ 定义为使状态转移函数 $\delta(w, q_0)$ 属于标识状态集合 $Q_m \subset Q$ 的输入符号串 $w \in \Sigma^*$ 的一个集合, 也即

$$L_m(G) = \{w \mid \delta(w, q_0) \in Q_m\} \quad (3)$$

由上述定义可知, 机器鱼的所处区域及动作可以对应为有限自动机的状态, 区域环境信息对应为有限允许输入字符集, 区域环境信息变化时机器鱼的区域及动作变化的转换关系对应为状态转移函数。由此, 建立多机器鱼协作顶球过程的有限状态自动机如图 4 所示, 其状态和字符含义见表 1。

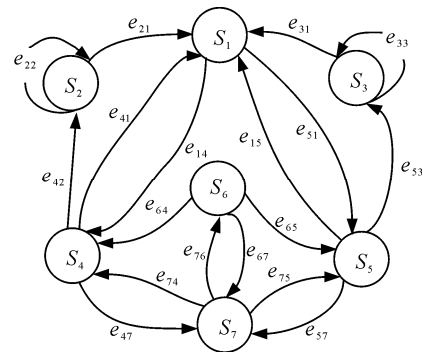


图 4 有限状态自动机

表 1 有限自动机状态和字符的含义

符号	含义
S_1	处于区域①, 执行顶球动作。
S_2	处于区域②。
S_3	处于区域③。
S_4	处于区域⑤。
S_5	处于区域④。
S_6	处于区域⑥。
S_7	处于区域④、⑤或⑥, 执行攻击对方鱼动作。
$e_{21}, e_{31}, e_{41}, e_{51}$	没有我方鱼处于区域①, δ : 优先游向区域①。
e_{42}, e_{53}	游过区域划分定义的 Y 轴, δ : 沿 X 轴的负方向进入②或③区域。
e_{22}, e_{33}	有我方鱼处于区域①, δ : 大幅甩动尾巴制作水波。
e_{14}	刚从区域①游到区域⑤, δ : 尾巴向左大幅击球。
e_{15}	刚从区域①游到区域⑥, δ : 尾巴向右大幅击球。
e_{64}, e_{65}	处于区域⑥, δ : 快速转弯, 游出区域⑥进入区域④或⑤。
e_{47}, e_{57}, e_{67}	有我方鱼处于区域①且有敌方鱼靠近球, δ : 攻击敌方鱼。
e_{74}, e_{75}, e_{76}	敌方鱼在球一定范围外, δ : 放弃攻击敌方鱼。

其中确定的有限状态自动机 $G = (Q, \Sigma, \delta, q_0, Q_m)$ 各部分参数定义如下:

$$Q = \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7\} \quad (4)$$

$$\Sigma = \{e_{21}, e_{42}, e_{22}, e_{14}, e_{15}, e_{64}, e_{47}, e_{74}\} \quad (5)$$

δ 为一个部分定义的状态转移函数, 具体请参见表 1 中字符含义表中 δ 的描述。初始状态 q_0 定义为自动机开始前由平台获得机器鱼状态求得的初始状态, 可以为所有状态之一, 将其输入状态机, 机器鱼开始受状态机驱动顶球。初始状态 q_0 和标识状态集 Q_m 的具体定义如下:

$$q_0 = S_1 \quad (6)$$

$$Q_m = \{S_1\} \quad (7)$$

根据上述有限状态自动机的定义, 编写状态转移函数 δ , 使多条机器鱼在该自动机的监控与控制下能够高效地协作顶球。该算法在双鱼顶球的场合具有一定的复用性, 且兼具防守与进攻。

(上接第 58 页)

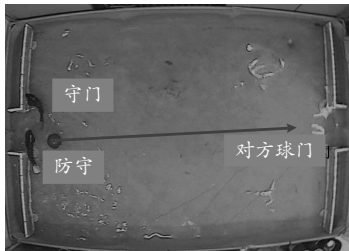


图 6 偏重防守

4 结论

随着机器鱼水球比赛的发展, 在具有相同的机器鱼的情况下, 为了成功地实现协作顶球策略, 动态的任务转换是实现有效策略的关键。在基于有利进攻的原则下, 通过多个竞标函数动态进行非常自然的角色任务转换与利用一个非常适合的复杂的竞标函数进行任务分配具有相同的表现。

在以后的研究中, 笔者将会继续进行多机器人的动态任务分配, 将考虑更多的影响因素。更加智能的协作算法不仅仅考虑进球得分, 还将考虑包括传球在内的参数。

参考文献:

[1] 谭明, 范永, 徐国华. 机器人群体控制与协作的研究[J]. 机器人, 2001, 23(2): 178-182.

4 结论

经过试验与比赛测试, 笔者提出的基于有限自动机的多机器鱼协作算法比以往双鱼直接顶球算法的效率要高得多。该算法已在南京大学金陵学院参加的多次比赛中已得到成功应用, 并获得了优异成绩, 证明了该算法的有效性。

参考文献:

[1] 徐小良, 汪乐宇, 周泓. 有限状态机的一种实现框架[J]. 工程设计学报.

[2] 喻俊志. 多仿生机器鱼控制与协调研究[D]. 北京: 中国科学院自动化研究所, 2003.

[3] 北京大学. 水中机器人系列教材[M]. 北京: 北京大学, 2009.

[4] 臧军旗, 赵臣, 崔炜, 等. 基于区域和切圆弧的足球机器人射门动作研究[J]. 哈尔滨工业大学学报.

[5] 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): 70-72.

[2] 王晨, 谢广明, 王龙. 基于全局视觉的机器人水球比赛[C]. 2009 年中国智能自动化会议论文集(第二分册). 2009: 726-732.

[3] Sng H L, G. Sen Gupta and C. H. Messom. Strategy for Collaboration in Robot Soccer[C]//The First IEEE Int. Workshop on Electronic Design, Test and Applications. Christchurch, New Zealand: IEEE, 2002: 347-351.

[4] 喻俊志, 王硕, 谭明. 多仿生机器鱼协调与控制[J]. 机器人技术与应用, 200(3): 27-35.

[5] 喻俊志, 陈尔奎, 王硕, 等. 一种多仿生机器鱼协作系统的设计与初步实现[J]. 2002, 14(10): 1316-1320.

[6] 张玉文, 许东来, 余跃庆, 等. 基于四腿机器人足球比赛的多智能体协调控制[J]. 机器人技术, 2006, 22(7-2): 249-251.

[7] 邓本再, 张中景, 王江银. 基于最优化模糊逻辑的 Robocup 中型组动态角色分配[J]. 计算技术与自动化, 2011, 30(1): 50-53.

[8] 顾爽, 陈启军. 腿机器人足球比赛的通信机制及协作控制[J]. 华中科技大学: 自然科学版, 2008, 36: 203-206.

[9] Shao Jinyan, Yu Junzhi, Fang Yimin, et al. A hierarchical framework for cooperative control of multiple bio-mimetic robotic fish[C]// IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems. 2005: 777-783.

[10] Zhang Dandan, Wang Long, Yu Junzhi, et al. Robotic Fish Motion Planning under Inherent Kinematic Constraints[C] // American Control Conference. 2006: 4135-4140.