

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.11.014

## 机器鱼仿真水球斯诺克比赛策略

安永跃, 李淑琴, 龙海楠, 侯霞

(北京信息科技大学计算机学院, 北京 100101)

**摘要:** 针对中国水中机器人大赛中 2D 仿真机器鱼水球斯诺克项目, 从比赛策略和控制方法 2 方面进行研究。介绍仿真平台及斯诺克项目, 给出机器鱼对目标球及最佳球洞的选择策略, 提出一种基于虚拟区域法的路径规划方法, 对仿真机器鱼的运动进行控制。实践结果表明, 虚拟区域法在路径规划上是有效的。

**关键词:** 仿真; 机器鱼; 目标球; 虚拟区域; 路径规划

**中图分类号:** TP391.98 **文献标志码:** A

## Game Strategies in Robot Fish Simulation Water Pole Snooker

An Yongyue, Li Shuqin, Long Hainan, Hou Xia

(Computer College, Beijing Information Science & Technology University, Beijing 100101, China)

**Abstract:** According to the Chinese underwater robot contest in 2D simulation robot fish water ball snooker project, research two ways from the competition strategy and control method. Introduce simulation platform and the snooker project, give the strategy of robot fish on the choice of the target ball and the best hole, propose a path planning method based on the virtual area, and control the robot fish movement. The test results show that the virtual area method is effective in path planning.

**Key words:** simulation; robot fish; target ball; virtual area; path planning

### 0 引言

随着智能仿生机器鱼的问世以及近年来的不断发展, 机器鱼技术已经应用到了探测水体污染、追踪遗迹等诸多领域。有关仿真机器鱼<sup>[1]</sup>的问题已经成为该领域的热点研究课题之一。针对目前水下仿真机器鱼和水中机器人比赛项目研发中遇到的困难, 水中机器人 2D 仿真比赛平台提供了一种真实的实时仿真系统, 能够模拟水下仿真机器鱼各个关节的位姿变化、运动状态变化以及机器鱼水球比赛状况, 能很好地测试水下仿真机器鱼的各种运动学理论、水波干扰理论及碰撞检测理论等体系结构, 从而更好地促进了水下机器人技术的发展<sup>[2]</sup>。

水中机器鱼仿真比赛<sup>[3]</sup>分对抗性比赛和非对抗性比赛, 其中对抗赛包括水球 5vs5 策略和抢球大作战; 非对抗赛包括水球斯诺克、带球接力、协作过孔及花样游泳等。笔者针对水球斯诺克比赛项目, 在水中机器鱼 2D 仿真平台下, 从选择目标球和最佳球洞组合 2 方面来进行策略研究, 并且从路径规划方面对仿真机器鱼的控制进行讨论。

### 1 仿真平台及斯诺克项目简介

#### 1.1 仿真平台简介

2012 中国水中机器人大赛 2D 仿真组比赛采用

URWPGSim2D (underwater robot water polo game simulator 2D edition) 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并向客户端发送实时比赛环境和过程信息; 客户端模拟单个水中机器人, 加载比赛策略, 完成计算决策过程, 向服务端发送决策结果。

URWPGSim2D 仿真平台提供了当前机器鱼体朝向、鱼体位置、鱼的线速度和鱼的角速度等控制参数, 用来对机器鱼的动作进行实际操作控制。其中, 仿真平台对机器鱼线速度和角速度是通过不同档位控制的, 线速度档位的取值范围为  $\{0, \dots, 15\}$ , 用这 16 个档位依次确定线速度值 (单位: 转/s, 0 档最慢, 15 档最快); 角速度档位即转弯档位, 取值范围为  $\{0, \dots, 15\}$ , 用这 16 个档位依次确定角速度值 (单位: 转/s, 其中 0 档左转最急, 15 档右转最急, 公共档值 7 为直游); 鱼体角度范围为  $(-\pi, \pi]$ 。

#### 1.2 水球斯诺克项目简介

2D 仿真水球斯诺克项目<sup>[2]</sup>中用到 1 条仿真机器鱼、10 个仿真水球以及由 4 个矩形仿真障碍物围成的 6 个球洞。其中, 仿真水球包括 6 个红球和 4 个彩球, 彩球颜色分别为黄、绿、棕、粉。10 个球依

收稿日期: 2012-05-27; 修回日期: 2012-06-24

基金项目: 北京市属市管高等学校人才强教计划资助项目 (PHR201108256, PHR201007131); 北京信息科技大学研究生科技创新和实践能力的培养项目

作者简介: 安永跃(1987—), 女, 北京人, 在读硕士, 从事多智能体协作研究。

次编号为 {0, ..., 9}, 0 至 5 代表红球分值均为 1, 6 至 9 依次代表黄球分值为 2、绿球分值为 3、棕球分值为 4、粉球分值为 5。

按照项目规则要先把 1 个红球推入球洞, 然后按照一个红球一个彩球的顺序推球入洞, 直至全部红球入洞。其中彩球入洞后自动放回初始位置, 若初始位置有其它球, 则其它球被自动挤开。若红球全部入洞, 则按照黄、绿、棕、粉的顺序推彩球入洞。比赛时间为 10 min, 比赛结束后得分最高(相同分数用时最少)者获胜。

## 2 策略分析

为了较好地完成水球斯诺克比赛项目, 笔者重点研究了机器鱼如何选择目标球和最佳球洞以及机器鱼如何进行路径规划, 机器鱼最终按照规划的路径把球推进最佳球洞中。策略实现过程如图 1 所示。

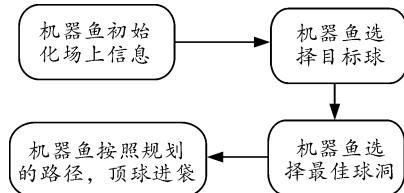


图 1 斯诺克项目策略实现过程

### 2.1 目标水球的选择策略

**定义 1** 目标球: 机器鱼当前正在顶的球或者机器鱼下一时刻将要顶的球。

按照斯诺克项目比赛规则, 各红球分值相同, 所以通过计算, 首先将红球与目标球洞间距离最短者设置为目标球; 红球进洞后要选顶彩球进洞, 由于彩球的分值不同, 而机器鱼顶球时花费的代价几乎一样, 所以选分值最高的粉球为目标球; 当场上不再有红球时, 则按照规则依次将黄、绿、棕、粉球设置为目标球, 顶球进洞。文中机器鱼选择目标球的方法如下:

- 1) 机器鱼选择红球为目标球;
- 2) 机器鱼选择彩球中分值最高的粉球为目标球;
- 3) 机器鱼判断场上是否有红球, 若有红球, 则执行步骤 1); 若没有红球, 则执行步骤 4);
- 4) 机器鱼依次选择黄、绿、棕、粉为目标球。

### 2.2 最佳球洞的选择策略

根据场上初始信息, 如图 2 所示, 可知粉球距离左下球洞(用数字 2 表示)和中下球洞(用数字 3 表示)路径最短、红球距离中上球洞(用 1 表示)和

中下球洞路径最短; 按照机器鱼先顶红球再顶彩球进洞的顺序, 进洞顺序组合有 4 种方式: 12、13、32 和 33。下面用评估函数的方法, 来确定最佳球洞的组合。

由于受水波的干扰, 机器鱼为顶球需要旋转所占的时间较长, 因此, 影响球洞评估函数的评估特征主要有球与球洞的距离(Distance)以及机器鱼完成红、粉球进洞一个来回所要旋转角度的总和(SumAngle)。特征函数的计算方法参见公式(1)。通过对评估特征的选择, 可以得到如下评估函数:

$$\text{Evaluation} = k \times \text{Distance} / \text{MaxDis} + h \times \text{SumAngle} / \text{MaxSumAng} \quad (1)$$

$$(\text{Distance} = \sum_{i=1}^n d_i, \quad \text{SumAngle} = \sum_{i=1}^n \text{angleDiff}_i)$$

其中:  $k$ 、 $h$  为评估因子系数, 由经验得出;  $d_i$  表示球与球洞之间的距离;  $\text{angleDiff}_i$  表示球与球洞之间的方向向量  $\mathbf{v}_i$  对应的角度值。机器鱼所走路径以及需要旋转的角度如图 2 所示。

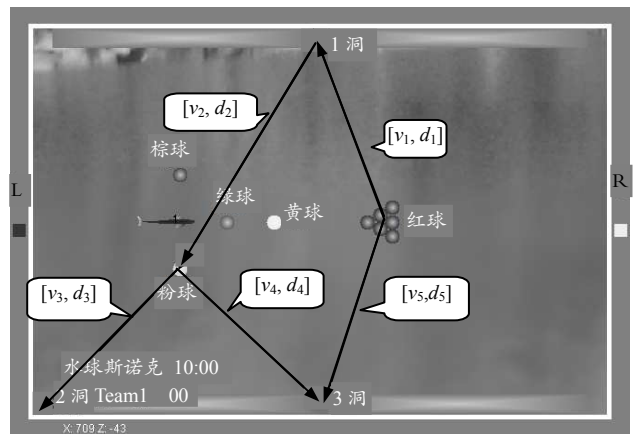


图 2 球与球洞间关系

下面分别讨论 2 个评估特征的计算方法:

1) 假设球洞坐标为  $(x_i, z_i) (i=1,2,3,4)$ , 球的坐标为  $(x_j, z_j) (j=1,2, \dots, 10)$ , 可计算球与球洞间距离:

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (z_1 - z_2)^2};$$

2) 根据图 2 中所示, 分别计算各向量角度值(即机器鱼的游动方向), 计算公式(2)如下:

$$\text{angle}(\mathbf{v}) = \begin{cases} \arctan \frac{z}{x} + 180^\circ & (x < 0, z \geq 0) \\ \arctan \frac{z}{x} - 180^\circ & (x < 0, z < 0) \\ \arctan \frac{z}{x} & (x > 0) \\ 0^\circ, 90^\circ, -90^\circ & (x = 0) \end{cases} \quad (2)$$

公式中  $x$  为向量  $\mathbf{v}$  的横坐标,  $z$  为向量  $\mathbf{v}$  的纵坐标; 其中第 1 个公式表示向量在第三象限、第 2 个公式

表示向量在第二象限、第 3 个公式表示向量在第一三象限、第 4 个公式表示直线反正切不存在的情况。

3) 根据各向量角度值, 计算机器鱼执行下一目标动作所需要旋转的角度, 并将该角度差规范化到范围  $(-\pi, \pi]$  中, 计算公式 (3) 和 (4) 如下:

$$\text{angleDiff} = \text{angle}(\mathbf{v}_i) - \text{angle}(\mathbf{v}_j) \quad (i, j \in \{0, \dots, n\}) \quad (3)$$

$$\text{angleDiff} = \begin{cases} \text{angleDiff} + 2\pi & (\text{angleDiff} < -180^\circ) \\ \text{angleDiff} - 2\pi & (\text{angleDiff} > 180^\circ) \end{cases} \quad (4)$$

根据公式 (2)~(4) 分别计算出图 2 中的各向量的权值(取整)[向量角度, 距离]为:  $[-110^\circ, 1440]$ 、 $[123^\circ, 2033]$ 、 $[137^\circ, 1479]$ 、 $[43^\circ, 1479]$ 、 $[110^\circ, 1440]$ 。

试验中发现, 机器鱼在旋转角度寻找目标点的代价远大于机器鱼直接游到目标点的代价, 即距离对评估函数的影响远小于机器鱼旋转角度对评估函数的影响, 所以合理假设评估因子系数值  $k=0.1$ ,  $h=0.9$ 。考虑不同的球洞组合, 并根据公式 (1) 可计算出各评估特征值如表 1 所示。通过表 1 中数据表明, 组合 12 为球洞最佳选择。

表 1 评估函数分析

球洞组合	评估特征		
	Distance/mm	SumAngle/(°)	Evaluation( $k=0.1, h=0.9$ )
12	4 952	141	1.482
23	4 952	221	1.752
32	4 498	199	1.587
33	4 498	293	1.908

### 2.3 基于虚拟区域的路径规划

控制策略的最终目的是要寻找一条从起始点到最优球洞的路径, 使机器鱼在带球过程中能够准确到达球洞, 不碰撞到矩形障碍物上, 且所走路径及所用时间最短。

如果按照只给定机器鱼起始点和球洞中点的方法, 可以实现机器鱼进球的效果, 但是在实际的运行中会遇到如下问题:

1) 由于仿真平台中的水波干扰以及机器鱼本身游动状态的影响, 使得机器鱼不能按照预期路径进行精确的“点到点”的游动。

2) 一旦机器鱼将球顶到矩形障碍物上, 那么将要花费大量的时间将球重新定位再顶进球洞。

针对以上不足, 笔者提出基于虚拟区域法来实现机器鱼的路径规划, 并通过动作控制<sup>[4]</sup>实现机器鱼在水中按照预定虚拟区域来运动。

**定义 2** 虚拟区域: 人为地设计以目标行进点而划分的目标球待测最佳球洞的区域。该区域是以目标球待测点坐标与场地边界所确立的拟定区域。

根据选定好的目标球和最佳球洞的组合, 笔者以机器鱼顶粉球进 2 号球洞为例来描述基于虚拟区域法的路径规划<sup>[5]</sup>。其中, 设置虚拟区域的主要目的在于: 根据设置不同的虚拟区域来控制机器鱼带目标球到球洞的速度。

机器鱼主要确定将要执行的最佳路径以及下一时刻机器鱼的动作执行区域, 如图 3 所示。

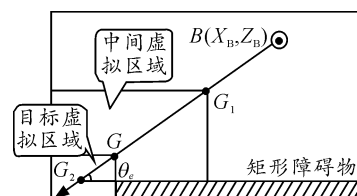


图 3 虚拟区域规划

首先, 连接目标球中心点  $B$  与球洞中点  $G_2$  ( $G_2$  坐标的计算方法见公式 (5)), 可知线段  $|BG_2|$  为最佳路径。矩形障碍物左侧向上延长线与线段  $|BG_2|$  交于点  $G$ , 多次试验发现点  $G$  为最佳进球点(即目标球在这个位置附近, 机器鱼可以很准确地将球顶进球洞), 故设置此点为第 2 个目标点, 点  $G$  的横纵坐标与左边界和下边界连线所构成的矩形为目标虚拟区域; 取线段  $|BG|$  的中点  $G_1$  为第一目标点, 点  $G_1$  的横纵坐标与左边界和下边界连线所构成的矩形为中间虚拟区域。

如图 3 所示, 目标球的初始位置为  $B(X_B, Z_B)$ , 球洞中心位置  $G_2(X_2, Z_2)$  作为仿真机器鱼顶球进袋的最终位置 ( $\theta_e$  为球与球洞的夹角), 各变量由计算公式 (5) 求得

$$\begin{cases} x_2 = (\text{targetHole.left.x} + \text{targetHole.right.x})/2 \\ z_2 = (\text{targetHole.left.z} + \text{targetHole.right.z})/2 \\ \theta_e = \arctan(z_B - z_2 / x_B - x_2) \end{cases} \quad (5)$$

其中:  $\text{targetHole.left}$  表示目标球洞的左侧坐标;  $\text{targetHole.right}$  表示目标球洞的右侧坐标。

机器鱼选择  $G_1(X_1, Z_1)$  为第 1 目标点, 仿真机器鱼游到以  $G_1$  为目标点的中间虚拟区域, 可以保证球的路径最优, 并且此时目标球离球洞的距离很远, 设置机器鱼较大的顶球速度快速到达  $G_1$  点; 然后选择  $G$  点作为第 2 目标点, 在仿真机器鱼游到以  $G$  为目标点的目标虚拟区域的过程中, 由于距球洞较近和鱼的惯性, 设置机器鱼顶球的速度减慢, 同时机器鱼到达目标虚拟区域后要调整鱼体, 使仿真机器鱼在  $G$  处朝向与球洞方向夹角范围在  $(-5, 5)$  内(角度调整如图 4 所示)以确保机器鱼的最佳顶球方向。

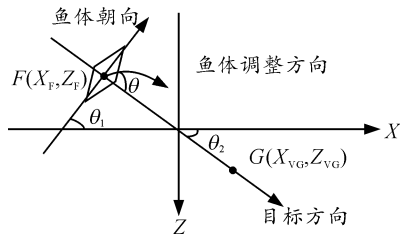


图 4 机器鱼方向调整示意图

确定当前机器鱼鱼体中心点  $F(X_F, Z_F)$ 、目标球洞的中心点  $G(X_{VG}, Z_{VG})$  以及机器鱼的身体朝向  $\theta_1$  (如图 4 所示), 确定机器鱼与球洞之间的距离  $D$  及夹角  $\theta$ , 用于判断机器鱼调整角度与目标点的方向是否保持一致;

其中鱼体中心到目标点的距离:

$$D = \sqrt{(X_F - X_{VG})^2 + (Z_F - Z_{VG})^2};$$

鱼体中心与目标点的夹角:  $\theta = \theta_1 - \theta_2$  ( $\theta_2$  为目标方向);

若角度差  $\theta > 0$  仿真鱼向右转设置角速度  $\omega$  取值范围为  $\{7, \dots, 15\}$ , 若角度差  $\theta < 0$  仿真鱼向左转设置角速度  $\omega$  取值范围为  $\{0, \dots, 7\}$ ; 根据已知的机器鱼与目标点间距离  $D$ 、夹角  $\theta$ , 可得到机器鱼以角速度  $\omega$  转过调整角度  $\theta$  所需时间  $t$  及机器鱼游过的目标距离所需要的速度值  $v$ , 下面给出计算公式 (6):

$$\begin{cases} t = \theta / \omega \\ v = D / t \end{cases} \quad (6)$$

上述提到的机器鱼在带球到虚拟区域的过程中, 需要选择合理的顶球点以便机器鱼带球的方向实时与球洞的方向保持一致。经过多次试验, 最终确定机器鱼的顶球点为球门到球中心的延长线与球边缘交点  $E(X_E, Z_E)$  处, 如图 5 所示。

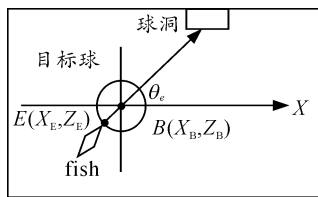


图 5 鱼顶球边缘点坐标

其中球与目标球洞夹角为  $\theta_e$ 、球半径为  $r$ 、目标球坐标为  $B(X_B, Z_B)$ , 式 (7) 可求得机器鱼顶球点:

$$\begin{cases} x_e = x_b - r \times \cos(\theta_e) \\ z_e = z_e - r \times \sin(\theta_e) \end{cases} \quad (7)$$

机器鱼带球规划的路径轨迹<sup>[6]</sup>如图 6 所示, 与图 7 比较可以看出, 机器鱼带球的路径是最优或次最优的, 并且没有出现与矩形障碍物碰撞的情况。

其中表 2 体现了对机器鱼采用路径规划与不采用路径规划算法进行比较各物理量得出的结果, 该值是经过多次试验取的平均结果, 通过比较, 在球与目标点距离相同的情况下, 采用路径规划算法所走的路程少, 用时较短并且机器鱼角度偏移量较小。图 8~图 11 为斯诺克仿真平台运用路径规划算法的实际仿真过程结果图。其中图 8 表示机器鱼到达目标球, 图 9 表示机器鱼带球到中间虚拟点 (中间虚拟区域), 图 10 表示机器鱼带球到目标虚拟区域, 图 11 表示机器鱼带球进球洞。

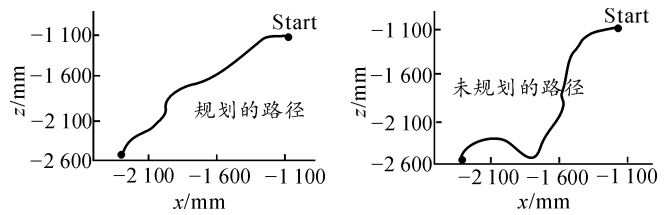


图 6 机器鱼规划的路径 图 7 机器鱼未规划的路径

表 2 机器鱼路径规划前后的比较

路径规划前后	距离/mm	平均用时/s	平均偏移角度/(°)	实际路程/mm
规划后的路径	1 530	40	14	1 823
未规划的路径	1 530	65	32	2 375

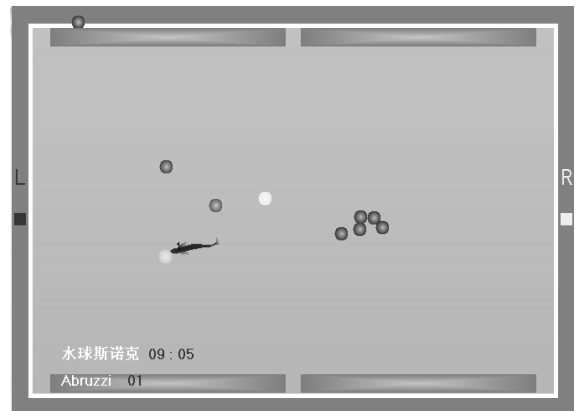


图 8 机器鱼到达目标球

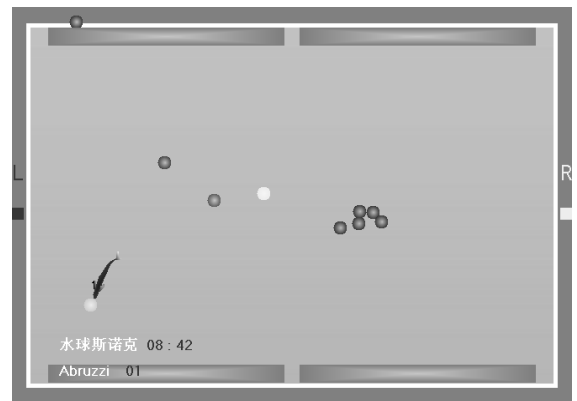


图 9 机器鱼带球到中间虚拟点 (中间虚拟区域)

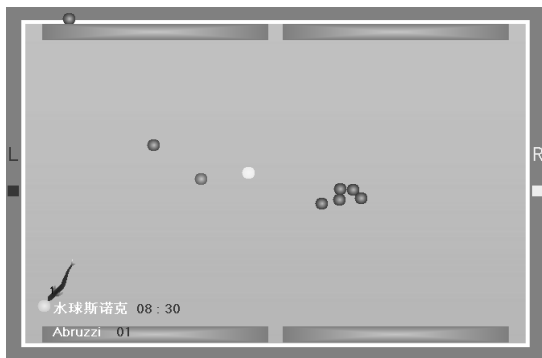


图 10 机器鱼带球到目标虚拟区域

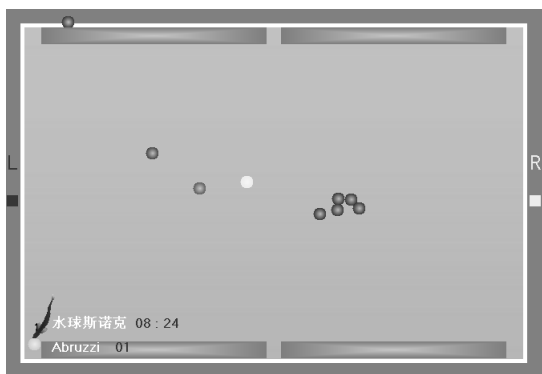


图 11 机器鱼带球进球洞

### 3 总结

在合理选择了目标球和最佳球洞的前提下, 依据虚拟区域路径规划法, 将场地分为多个虚拟区域并设置虚拟目标点, 使机器鱼以最短路径到达目标球洞。水球斯诺克项目的试验结果也证明了虚拟区域法在路径规划上的有效性。

### 参考文献:

- [1] 陈尔奎, 喻俊志, 王硕, 等. 一种基于视觉的仿生机器鱼实时避障方法[J]. 控制与决策, 2004, 19(4): 452-454.
- [2] 谭敏, 张新, 唐霖, 等. 机器鱼仿真 3 对 3 策略研究[J]. 兵工自动化, 2011, 37(5): 231-234.
- [3] 北京大学智能实验室. 2012 水中机器人大赛暨首届国际水中机器人公开赛 2D 仿真规则[M]. 北京: 北京大学工学院, 2012: 6-20.
- [4] 张纯, 邓彦松, 等. 基于蚁群算法的仿生机器鱼动作决策策略[J]. 兵工自动化, 2011, 30(12): 83-86.
- [5] 谢超平, 孔峰, 等. 仿生机器鱼路径规划研[D]. 计算机仿真, 广西: 广西工学院, 2010: 9-47.
- [6] 朱毅, 张涛, 程农. 动态环境下基于子目标的移动机器人路径规划方法[J]. 系统仿真学报, 2010, 22(1): 254-257.

\*\*\*\*\*

(上接第 43 页)

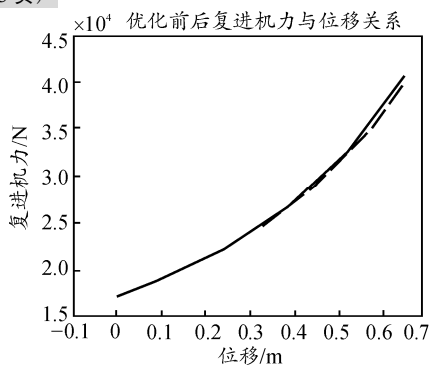


图 6 复进机力与位移曲线

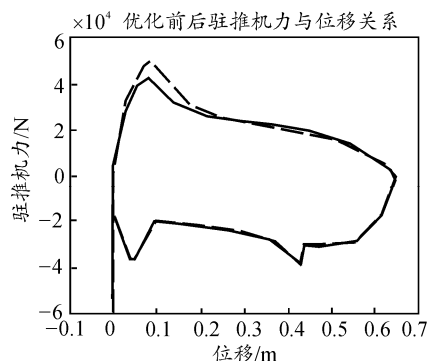


图 7 驻退机力与位移曲线

以上是对火炮反后坐装置进行仿真以及对节制杆优化以后的曲线, 从图 5~7 中可以看出, 经过优化以后的曲线, 变化较平缓, 有更好的动态特性。

在仿真过程中, 还可以根据仿真的结果, 修改过程中的参数, 观察不同参数对反后坐装置带来的影响, 进一步了解反后坐装置的特性, 以便对反后坐装置进行优化, 进一步提高反后坐装置的性能和效率。

### 3 结束语

仿真结果表明: 仿真结果的动态特性与反后坐装置的运动过程基本符合, 通过对所建模型分析及调试, 能为反后坐装置分析研究提供一定的平台。

### 参考文献:

- [1] 杜中华. 基于 simulink 的火炮反后坐装置反面问题计算[J]. 机械, 2010(11): 53-55.
- [2] 黄永安, 马路, 刘惠敏. Matlab7.0/ simulink 6.0 建模仿真开发与高级工程应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [3] 张月林. 火炮反后坐装置设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1984.
- [4] 刘荣忠, 曹从咏. 机械系统动力学[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2000.
- [5] 康新中, 马春茂, 魏孝达. 火炮系统建模理论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.
- [6] 康新中, 吴三灵, 马春茂. 火炮系统动力学[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999.
- [7] 杜中华, 孙亚娟. 基于 Matlab 的火炮反后坐装置反面问题计算[J]. 机械, 2003(S1): 104-106.