

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.11.021

基于动作决策的机器鱼顶球算法

陶金^{1,2}, 孔峰¹, 谢广明²

(1. 广西工学院 电子信息与控制工程系, 广西 柳州 545006; 2. 北京大学 工学院, 北京 100871)

摘要: 为了使机器鱼的顶球兼备速度性和连贯性并提高进球效率, 提出一种基于动作决策的顶球算法。在分析典型的顶球算法的基础上, 设计了机器鱼 5 种简单动作, 依据机器鱼、球和对方球门的坐标几何位置关系的设计决策机制来选择机器鱼下一步动作, 并在机器人水球比赛平台上进行了单鱼顶球实验进行算法验证。实验结果表明, 该算法能大大缩短一次进球所需要的时间。

关键词: 顶球算法; 机器鱼; 水球比赛; 动作决策

中图分类号: TP249; TP301.6 **文献标识码:** A

Behavior-Based Motion Planning of Biomimetic Robot-Fish

Tao Jin^{1,2}, Kong Feng¹, Xie Guangming²

(1. Dept. of Electronic Information & Control Engineering, Guangxi University of Technology, Liuzhou 545006, China; 2. College of Engineering, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: In order to make the ball-pushing movement fast and coherent, and to improve the efficiency of goals, on the basis of analyzing the basic ball-pushing algorithms, a action-based algorithm was proposed, which designed five simple actions and used arbiter for action decision according to the geometry sites of robotic fish, ball and opponent's gate. Validate the algorithm by a ball-pushing experiment on the robotic fish water polo game platform. Results show this ball-pushing algorithm can largely shorten one goal time.

Keywords: ball-pushing algorithm; robotic fish; water polo game; action arbitration

0 引言

近年来, 各种机器人比赛的蓬勃发展极大地推进了机器人技术的进步^[1]。机器人水球比赛是以智能仿生机器鱼为主体, 进行类似陆地机器人足球的激烈的对抗性比赛。它不但涉及机器人足球应用的各种技术, 还涉及水动力学分析、水下通讯、抗干扰技术等多方面的内容, 既具有很强的技术挑战性, 又有很高的观赏性, 是科研和科普的完美结合^[2]。机器人水球比赛的基本形式是两队机器鱼进行对抗, 将水球顶入对方球门次数多者为胜。参赛队伍要想取胜, 就必须进更多的球, 这就涉及到一项基本的技术—顶球^[3]。顶球算法的优劣是衡量一支队伍实力的关键因素。故在分析了典型的顶球算法的基础上, 考虑影响进球的客观因素, 提出了一种新颖的基于动作决策的机器鱼顶球算法。该算法秉承以头顶球为主的进攻模式, 最大限度地利用机器鱼尾巴和身体击球, 大大提高了进球的效率。

1 基本顶球算法

基本顶球算法^[4]先让机器鱼 F 沿直线运动到最佳射门点 G (最佳射门点 G 的求取参看切入圆顶球算法), 再调整自身方向, 然后前游顶球。整个过程

一般要经过先加速后减速到 G 点, 然后转角, 最后加速顶球, 过程示如图 1。

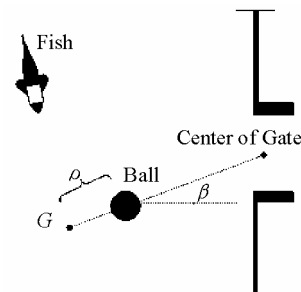


图 1 基本顶球算法示意图

基本顶球算法原理简单, 容易实现, 相应的射门算法在机器人足球比赛中得到了广泛应用, 但在机器人水球比赛中效果并不好, 主要原因在于:

- 1) 水中阻力较小, 目前比赛中用到的机器鱼没有制动机构, 不能做到旋停, 也不能倒退运动, 即使尾部摆动频率降为零, 机器鱼仍将沿着原来的运动方向漂移, 这就造成了准确到达 G 点的困难性;
- 2) 机器鱼硬件条件的限制使较大角度的转弯不能一次完成, 多次转弯调整中产生的水波会给环境造成更大干扰, 增加了控制的难度;
- 3) 如果机器鱼处于球和对方球门之间, 机器鱼为了达到 G 点可能会碰到球, 极易造成为对方鱼助攻甚至出现“乌龙球”。

收稿日期: 2010-06-12; 修回日期: 2010-08-11

基金项目: 国家自然科学基金资助 (10972003)

作者简介: 陶金 (1986-), 男, 山东人, 硕士, 从事仿生机器鱼控制研究。

2 切入圆顶球算法

切入圆顶球算法^[5]的基本思路可描述为机器鱼先直线运动到切入圆上, 再沿切入圆上的轨迹运动到最佳顶球点 G , 最后以一定的速度顶球, 如图 2。

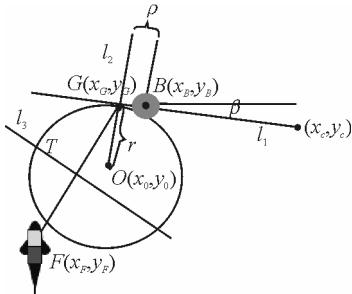


图 2 切入圆顶球算法示意图

基本的算法过程可叙述如下:

1) 确定最佳射门点 $G(x_G, y_G)$, 其公式为:

$$\beta = \arctan\left(\frac{y_C - y_B}{x_C - x_B}\right)$$

$$x_G = x_B - \rho \cdot \cos \beta$$

$$y_G = y_B - \rho \cdot \sin \beta$$

式中, x_G, y_G 即为最佳顶球点的坐标, x_C, y_C 为对方球门中心坐标, x_B, y_B 为球的坐标, ρ 为常数, 可根据实际需求设定。

2) 确定切入圆。切入圆是指机器鱼运动到 G 点所经过的轨迹。过 G 点做直线 l_1 的垂线 l_2 , 在 l_2 上取距离 G 点 r 的点 O ; 以 O 为圆心, r 为半径做圆恰与 l_1 相切于 G 点, 圆 O 即为确定的切入圆。这里有两点需要注意:

(1) 切入圆半径 r 的选取。 r 为机器鱼最舒适转弯半径, 所谓最舒适转弯半径即是机器鱼在某一通用转弯档位下, 游动速度最快时的转弯半径, 通常取 55 cm。

(2) 圆心 O 点的确定。圆心 O 的选取应遵循点 O 与机器鱼 F 位于 l_1 的同侧。

3) 计算轨迹点。连接机器鱼 F 与切入点 G , 做线段 FG 的垂直平分线 l_3 。若 l_3 与切入圆 O 相交且有 2 个交点, 则选取横坐标值较小的那个点为轨迹点; 若只有一个交点, 则直接选取交点为轨迹点; 若 l_3 与圆 O 没有交点, 则先以 G 点为临时轨迹点。轨迹点的集合即为机器鱼的进攻路径。

切入圆顶球算法可以引导机器鱼沿着指定的轨迹平滑地运动到最佳顶球点 G , 同时机器鱼方向也调整到位, 这样就同时消除了机器鱼与最佳进攻点 G 的角度和距离的误差。但是切入圆算法在实验

和实际比赛中的效果不能令人满意, 其主要原因是:

(1) 由于水波的扰动, 球随时可能处于漂移状态, 使规划出的切入圆进攻轨迹点不断地变化, 导致机器鱼长久处于位姿调整状态, 贻误了顶球良机。

(2) 该算法规划出来的进攻轨迹较长, 在激烈的比赛环境中, 往往我方机器鱼还未碰到球, 球就已经被对方鱼劫走。

3 基于动作决策的顶球算法

基本顶球算法和切入圆顶球算法是目前机器鱼水球比赛中常用到的顶球算法, 这些算法主要是在路径规划^[6]上做了较好的研究。虽然合理的路径规划可以调高机器鱼靠近球以及运动到目标点的准确度, 但在实际比赛中还存在以下问题:

1) 水下环境的复杂性和不确定性给系统带来的大量的干扰, 降低了控制的效率和准确度^[7]。目前, 机器鱼还不能做到较好的跟踪, 难以达到理想的效果; 2) 机器鱼头部很光滑, 宽度也很窄, 在大量实验中发现机器鱼头部顶球的精度比较低, 特别容易顶偏。实际比赛场景中的进球往往不是机器鱼头顶着球, 长途奔袭式的进球, 大多数情况下是靠机器鱼反复调整, 反复顶球而最终完成的。

3.1 基本思想

先让机器鱼快速地趋近球^[8], 在距离球一定的范围内(机器鱼通过一或两次动作可触到球的范围, 笔者取 13 cm), 根据机器鱼、球以及对方球门的坐标几何位置关系设计动作决策机制, 来选择机器鱼动作。其目的是让机器鱼不管是用头顶球, 或是用身体蹭球, 尾巴甩球(在某种程度上更倾向于用尾巴和身体完成击球动作), 最大限度地使球靠近对方球门, 在此过程中即使机器鱼没有碰到球, 激起的水波也有助于球漂向对方球门。在这种思路的引导下, 笔者提出了一种基于动作决策的顶球算法^[9-10], 算法结构如图 3。

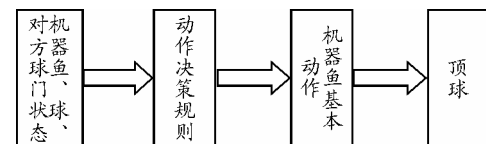


图 3 算法结构图

3.2 算法实现

3.2.1 动作设计

机器鱼的动作的设计为 RightLargeTure、RightSmallTure、MoveForward、LeftSmallTure、LeftLargeTure, 分别代表右转弯大、右转弯小、直

游、左转弯小、左转弯大 5 种情况。参照机器鱼转弯半径、速度与转弯方向档位之间的关系见表 1(多模态仿生机器鱼分别固化了 15 个档位的前进中转弯即通用转弯模态和急转弯即原始转弯模态,具体可参阅文献[5])。

表 1 转弯半径、速度与转弯方向档位关系

转弯方向档位	转弯半径/cm	速度/m·s ⁻¹
0/14	10	8.3
1/13	12.5	13.5
2/12	25	19.7
3/11	55	25.1
4/10	70	28.4
5/9	150	30.6
6/8	200	32.8
7	∞	33.5

机器鱼动作可具体选择为:

- RightLargeTure: 方向档位 14+原始转弯模态;
- RightSmallTure: 方向档位 12+通用转弯模态;
- MoveForward: 方向档位 7;
- LeftSmallTure: 方向档位 2+通用转弯模态;
- LeftLargeTure: 方向档位 0+原始转弯模态。

3.2.2 仲裁器设计

经过大量编程调试实验发现,在使用单个条件如仅用机器鱼的方向来决策机器鱼的下一步动作,当机器鱼需要进行大转弯调整时,很容易造成机器鱼死锁,即机器鱼停滞在某个转弯角度不再游动(仅使用原始转弯时会造成这种现象)。关联条件或多关联条件对机器鱼的动作进行决策可以有效地解决这个问题。笔者在算法中选取了 reledir_fish2ball 和 reledir_ball2goal 作为仲裁条件来选择机器鱼动作,表达为:

$$\begin{aligned} \text{reledir_fish2ball} &= \text{dir_fish2ball} - \text{dir_fish}; \\ \text{reledir_ball2goal} &= \text{dir_ball2goal} - \text{dir_fish}; \end{aligned}$$

其中, dir_fish 是指机器鱼的方向, dir_fish2ball 是指机器鱼中心点指向球的方向, dirball2goal 是指球指向对方球门的方向。

因考虑到机器鱼最大转弯角度在 90°~110°之间,这里将 reledir_fish2ball, reledir_ball2goal 分别划分在 Angle1、Angle2、Angle3、Angle4,其中 Angle1 ∈ (0°~90°), Angle2 ∈ (-90°~0°), Angle3 ∈ (-180°~-90°), Angle4 ∈ (90°~180°)。

仲裁规则可分为以下 4 种情况,如图 4。

Case1:

$$\begin{aligned} \text{reledir_fish2ball} &\in \text{Angle1} \\ \text{reledir_ball2goal} &\in \text{Angle1: RightLargeTure} \\ \text{reledir_ball2goal} &\in \text{Angle2: LeftLargeTure} \end{aligned}$$

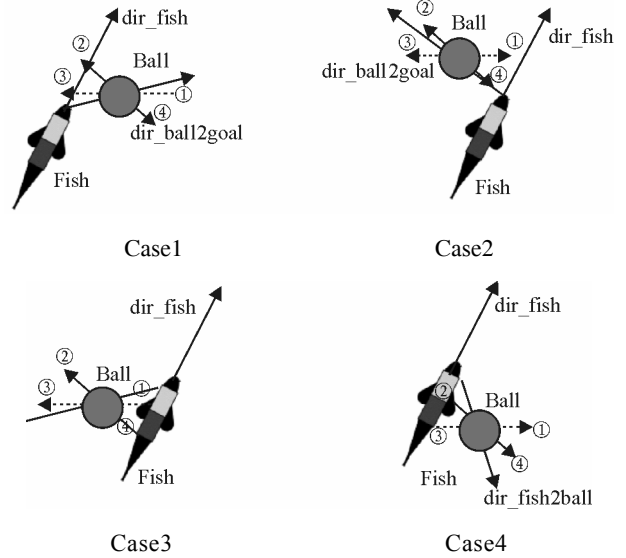
$$\begin{aligned} \text{reledir_ball2goal} &\in \text{Angle3: RightSmallTure} \\ \text{reledir_ball2goal} &\in \text{Angle4: MoveForward} \\ \text{Case2:} \\ \text{reledir_fish2ball} &\in \text{Angle2} \\ \text{reledir_ball2goal} &\in \text{Angle1: RightLargeTure} \\ \text{reledir_ball2goal} &\in \text{Angle2: LeftLargeTure} \\ \text{reledir_ball2goal} &\in \text{Angle3: MoveForward} \\ \text{reledir_ball2goal} &\in \text{Angle4: LeftSmallTure} \\ \text{Case3:} \\ \text{reledir_fish2ball} &\in \text{Angle3} \\ \text{reledir_ball2goal} &\in \text{Angle1: RightSmallTure} \\ \text{reledir_ball2goal} &\in \text{Angle2: RightLargeTure} \\ \text{reledir_ball2goal} &\in \text{Angle3: LeftLargeTure} \\ \text{reledir_ball2goal} &\in \text{Angle4: MoveForward} \\ \text{Case4:} \\ \text{reledir_fish2ball} &\in \text{Angle4} \\ \text{reledir_ball2goal} &\in \text{Angle1: LeftLargeTure} \\ \text{reledir_ball2goal} &\in \text{Angle2: LeftSmallTure} \\ \text{reledir_ball2goal} &\in \text{Angle3: MoveForward} \\ \text{reledir_ball2goal} &\in \text{Angle4: RightLargeTure} \end{aligned}$$


图 4 仲裁规则分类示意图

3.3 实验分析

采用该算法在机器人水球比赛平台下进行单鱼顶球实验,对算法进行验证。试验情况如图 5。

图 5 中, (a) 实验初始, 机器鱼将球推进到 (b) 图所示位置; (b) 机器鱼执行 RightLargeTure, 用头顶球; (c) 机器鱼头球顶偏, 球漂向球门右侧; (d) 机器鱼重新调整到进攻有利位置, 执行 RightLargeTure, 用尾巴和身体朝向球门击球; (e) 球向球门靠近, 机器鱼迅速调整位姿, 执行

MoveForward, 继续推进球; (f) 最终, 机器鱼把球顶入球门; 这一过程用时 47 s。

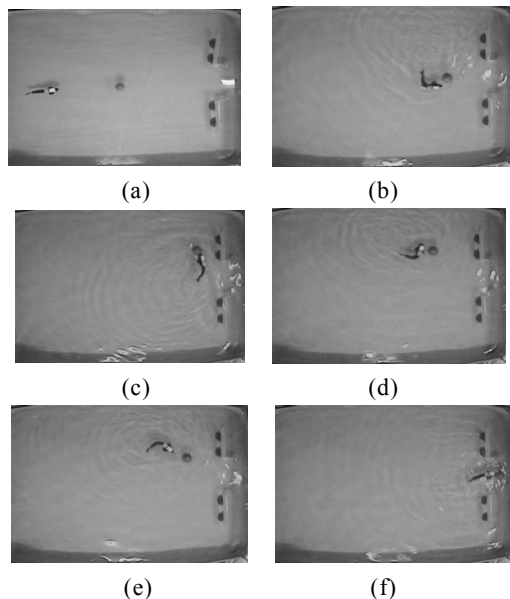


图 5 算法验证机器鱼行为示意图

采用算法进行单鱼顶球实验 20 次, 并记录进球时间, 机器鱼一次进球时间范围在 40~70 s, 且未出现进球任务不能完成情况; 而用前面提及的其他算法进行相同的实验, 一次进球时间大多在 50~240 s, 5 min 内还出现数次任务不能完成的情况, 证明了该算法的优越性 (因偶然性, 所以一次进球时间变化较大)。

4 结论

该算法充分考虑了水下环境的复杂性以及机器

鱼自身机械和运动的特殊性, 通过简单的基本动作和决策规则设计, 实现了机器鱼的高效进球, 是一种更有效、更健壮的顶球算法。目前, 该算法在水球比赛 1vs1 项目及技术挑战赛单鱼顶球项目中得到了较为成功的应用。但对于如何让机器鱼快速进入有效击球范围以及其他比赛项目涉及的避障、群体协作等问题, 该算法均未涉及, 还需要在以后的科研中做更深入的研究。

参考文献:

- [1] KIM J H. Third call for participation : micro - robot world cup soccer tournament 1996 (MiroSot'96) [EB/OL]. <http://vivaldi.kaist.ac.kr>.
- [2] 北京大学. 机器人水球比赛项目推介书[M]. 北京: 北京大学, 2009.
- [3] 刘宏志. 一种改进的射门算法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2004, 36(7): 975-977.
- [4] 韩学东, 洪炳镛, 孟伟. 机器人足球射门算法研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003(9): 1064-1066.
- [5] 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.
- [6] 孔峰, 陶金, 谢超平. 移动机器人路径规划技术研究[J]. 广西工学院学报, 2009(4): 70-74.
- [7] 黎章. 多水下机器人协作控制[R]. 北京: 北京大学, 2008.
- [8] 谢超平, 孔峰, 陶金. 基于模糊控制的仿生机器鱼转向控制研究[J]. 机器人技术与应用, 2009(4): 26-28.
- [9] Brooks R A. A Robust layered control system for a mobile robot. IEEE Journal of Robotics and Automation, RA-2(1): 14-23.
- [10] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [11] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [12] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [13] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [14] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [15] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [16] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [17] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [18] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [19] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [20] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [21] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [22] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [23] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [24] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [25] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [26] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [27] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [28] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [29] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [30] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [31] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [32] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [33] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [34] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [35] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [36] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [37] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [38] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [39] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [40] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [41] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [42] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [43] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [44] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [45] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [46] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [47] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [48] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [49] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [50] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [51] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [52] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [53] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [54] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [55] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [56] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [57] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [58] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [59] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [60] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [61] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [62] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [63] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [64] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [65] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [66] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [67] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [68] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [69] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [70] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [71] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [72] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [73] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [74] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [75] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [76] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [77] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [78] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [79] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [80] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [81] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [82] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [83] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [84] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [85] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [86] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [87] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [88] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [89] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [90] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [91] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [92] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [93] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [94] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [95] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [96] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [97] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [98] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [99] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.
- [100] 单建华. 基于行为的实时路径规划[J]. 控制工程, 2009(3): 367-370.

(上接第 62 页)

参考文献:

- [1] Ehud Reiter. Has a Consensus Generation Architecture Appeared, and is it Psycho linguistically Plausible, 1994.
- [2] Lynne Cahill and Mike Reape. Component tasks in applied NLG systems[R]. Technical Report ITRI-99-05, ITRI: University of Brighton, 1998.
- [3] Benoit Lavoioe, Owen Rambow. A Fast and Portable Realizer for Text Generation Systems[C]. Washington, DC: In Proceedings of the Fifth Conference on Applied Natural Language processing, 1997.
- [4] Adam Berger, Stephen A. Della Pietra, and Vincent J. Della Pietra. A Maximum Entropy Approach to Natural Language Processing[J]. Computational Linguistics, 1996, 22(1): 39-71.
- [5] Xuedong Huang, Fileno Allevala, Mei-Yuh Hwang, Ronald Rosenfeld. An overview of the SPHINX-II speech recognition system[C]. Princeton, New Jersey: In Proceedings of the workshop on Human Language