

研究简报

基于遗传算法的参数优化在多移动机器人系统中的应用¹⁾

王 硕 范 永 谭 民

(中国科学院自动化研究所 北京 100080)

(E-mail: swang@compsys.ia.ac.cn)

关键词 反应式控制, 多机器人协作, 遗传算法

中图分类号 TP24

PARAMETER OPTIMIZATION BASED ON GENETIC ALGORITHM IN MULTIPLE MOBILE ROBOT SYSTEM

WANG Shuo FAN Yong TAN Min

(Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

(E-mail: swang@compsys.ia.ac.cn)

Key words Reactive control, multi-robot cooperation, genetic algorithm

1 引言

在机器人研究中,基于行为的方法是构造工作于动态开放式环境下的机器人的一类方法,其中 Schema-based 反应式控制结构对于自治移动机器人是一种有效的控制结构^[1,2]. 但在此结构的多机器人系统中,通过配置各个机器人的行为控制参数来实现机器人之间的协作是一个很困难的问题. 而遗传算法(GA, Genetic Algorithm)在复杂的解空间中是一种很有效的搜索算法^[3]. 所以,本文提出了一种改进的遗传算法对多机器人系统进行参数优化配置以实现机器人之间的协作. 此种改进算法的特点在于在适应度函数结构中引入了死区的概念. 这种方法比较简单,而且可以有效地处理一般遗传算法在多机器人参数优化中出现的过早收敛的问题.

2 一种改进的遗传算法

本改进算法采用遗传算法的浮点数表示方法来设计. 交叉、变异、复制等遗传算子也按

1) 国家自然科学基金(69975022)和国家“863”高技术研究发展计划资助

收稿日期 2000-02-22 收修改稿日期 2001-03-15

照浮点数表示方法的特点进行设计^[3]. 针对一般遗传算法应用于多机器人系统参数优化配置中出现的收敛过早、效果不理想的问题, 本文提出了将死区概念引入适应度函数结构的方法来改进遗传算法.

设 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ 是为一特定问题或任务所选的染色体集合, 其中 $c_i (1 \leq i \leq n)$ 表示一个染色体向量. $R = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$ 是与染色体集合 C 相对应的控制效果集合, 其中 $R_i (1 \leq i \leq n)$ 表示将染色体向量 $c_i (1 \leq i \leq n)$ 应用于此特定问题或任务所产生的控制效果子集合. $R_i = \{r_i^1, r_i^2, \dots, r_i^m\}$, 其中 $r_i^j (1 \leq j \leq m)$ 表示 c_i 对本问题或任务的第 j 个目标或方面所产生的控制效果. 所以, 适应度函数一般可以表述为如下方程

$$f_i = \sum_{j=1}^m \omega_j r_i^j \quad (1)$$

其中 f_i 为染色体向量 c_i 的适应度. $\omega_j (1 \leq j \leq m)$ 为 $r_i^j (1 \leq j \leq m)$ 的权系数, 其值的大小一般根据经验或 r_i^j 的重要程度来选择.

在引进死区概念后, 适应度函数可以改为按如下方程描述

$$f_i = \sum_{j=1}^m \omega_j M_i^j, \quad M_i^j = \begin{cases} r_i^j, & r_i^j \notin \text{dead_zone} \\ a, & r_i^j \in \text{daed_zone} \end{cases} \quad (2)$$

a 是一个常数. dead-zone 是一个根据问题或任务的约束、要求或经验来选择的集合. 当 dead-zone 为一个空集时, 等式(2)将退变为等式(1).

3 多移动机器人协作

3.1 移动机器人运动策略

本文研究的多机器人系统采用了 schema-based 反应式控制结构. 这种反应式控制结构的设计包括两部分: 结构和控制参数集合. 其中, 结构由机器人所执行的任务决定, 是一个机器人可实现的行为的集合. 一旦机器人系统的结构定义完成, 系统便可以通过调整机器人行为控制参数来调整机器人的行为. 在本文中, 多机器人系统的基本行为集合为: $\Omega = \{go_to_goal, avoid_obstacle, avoid_robot\}$. 基本行为集合中各基本行为的具体定义可以参见文献[4,5]. 三种行为分别给出三种不同的机器人运动决策, 其具体形式为三个方向向量 $v_{go_to_goal}, v_{avoid_obstacle}, v_{avoid_robot}$.

所有这些行为通过加权、求和及归一化运算, 进而合成为一个运动方向向量, 即为机器人最终运动决策. 合并方程如下

$$v = \text{normalize}(\lambda_1 v_{go_to_goal} + \lambda_2 v_{avoid_obstacle} + \lambda_3 v_{avoid_robot}) \quad (3)$$

其中 $\lambda_i (1 \leq i \leq 3)$ 是需要确定的行为控制参数. $\text{normalize}()$ 为归一化算子.

3.2 应用改进遗传算法的参数优化实现多移动机器人协作

在多机器人系统中, 每个机器人有三个局部目标: 到达目标点, 与静态障碍不发生碰撞, 与其它机器人不发生碰撞. 在各机器人调整其行为控制参数来实现这些局部目标的同时, 各机器人之间的协调避碰也得到实现. 为了减少参数调整的困难, 本文提出的改进遗传算法被用来配置机器人的行为控制参数. 各机器人的染色体向量由三个行为控制参数组成, 并分别通过各自的遗传操作来对参数进行优化. 各机器人从自己的染色体向量集合中选出一个染

染色体,并使用其中的三个控制参数在不确定环境下实现其局部目标.当终止条件成立时,各机器人分别计算各自染色体向量的适应值.合适的染色体向量将被复制下来以进行下一次的遗传操作.机器人的适应度函数定义如下

$$f_i^k = \omega_1 \cdot N_{obstacle} + \omega_2 \cdot N_{robot} + \omega_3 \cdot L, \quad L = \begin{cases} D, & D \notin dead_zone \\ a, & D \in dead_zone \end{cases} \quad (4)$$

f_i^k 是机器人 k 的第 i 个染色体的适应值. $N_{obstacle}$ 是机器人 k 与静态障碍物的碰撞次数. N_{robot} 是机器人 k 与其它机器人的碰撞次数. D 是机器人到达目标时所走过的距离. ω_i ($1 \leq i \leq 3$) 是一个权系数. a 是常数. $dead_zone$ 是一个可接受的机器人行走距离集合.

通过改进遗传算法的参数优化过程,各机器人找到有效控制参数,在实现各自局部目标的同时保证了全局目标的实现.

4 仿真结果

在仿真中,多机器人系统的任务是三个移动机器人在未知环境下分别从各自的初始位置运动到各自的目标位置.仿真的基本假设条件:各机器人的位置可以精确测量;环境对于机器人是未知的;机器人之间无通讯,但可相互识别.机器人的形状是一个半径为 0.3 的圆.传感区域为半径 1.5 的半圆.机器人运动步长为 0.5.当机器人发生碰撞时,它们将在碰撞发生处停住.环境中存在两个圆形障碍物,其半径为 3.4,圆心坐标分别为(15,15),(23,15).机器人 R1,R2,R3 的起点和终点分别为:(15,9),(23,20);(23,9),(15,20);(19,7),(19,20).机器人 R1,R2,R3 的适应度函数的权系数 $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 分别为(0.15,0.7,0.15),(0.35,0.3,0.35),(0.25,0.5,0.25).应用一般遗传算法进行参数优化配置后,多机器人系统运动仿真结果在图 1 中给出;应用改进遗传算法的仿真结果在图 2 中给出.

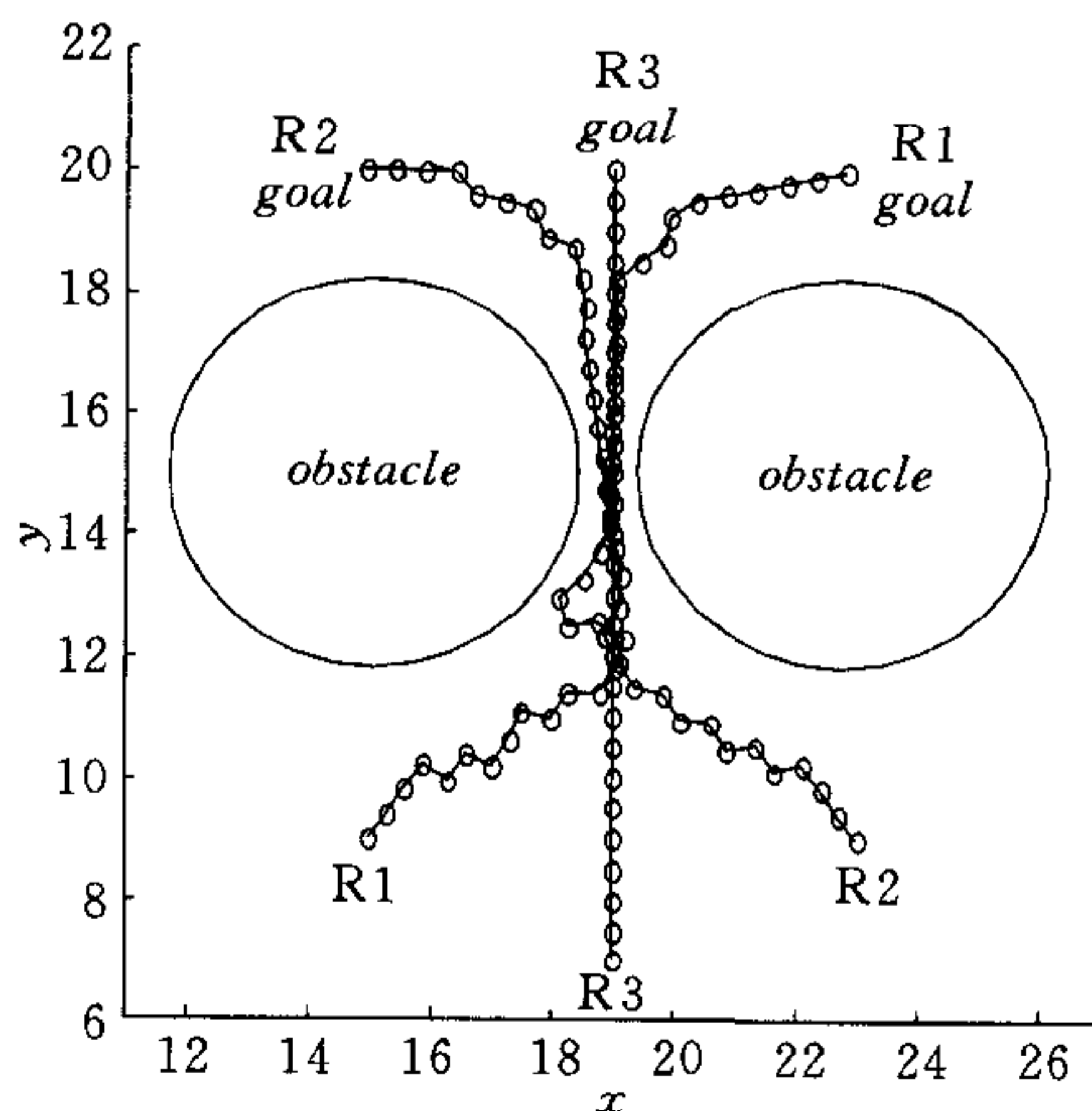


图 1 应用一般遗传算法的仿真结果

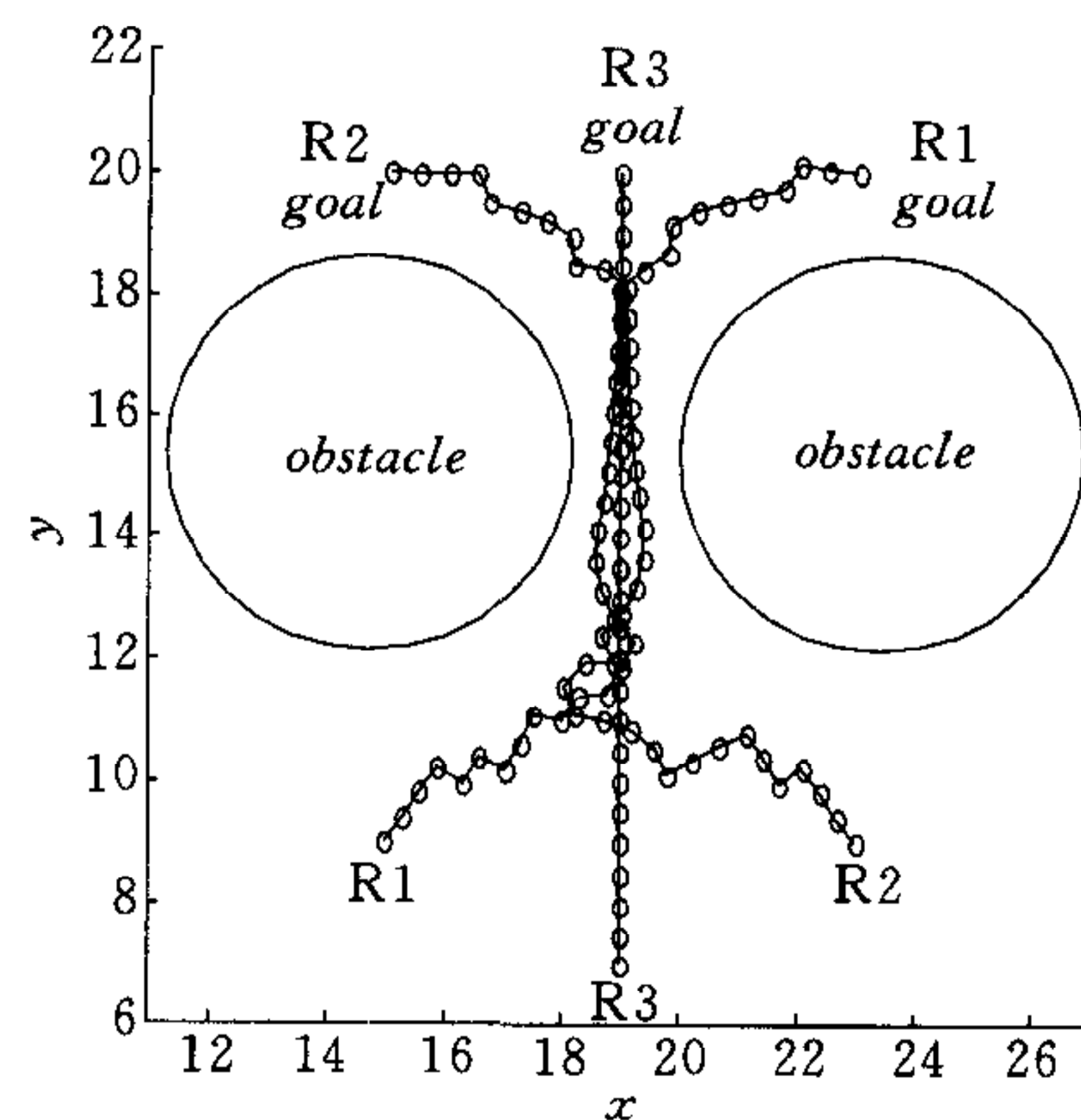


图 2 应用改进遗传算法的仿真结果

在图 1 中,虽然 $R2$ 所走的距离比较短,但是 $R1$ 和 $R2$ 之间的碰撞却无法避免.在图 2 中, $R2$ 虽走了略长一点的路程,但各机器人之间的碰撞却完全避免了.

5 结论

对于采用 Motor Schema 结构的多移动机器人系统,选择系统中各机器人的参数来实现它们相互间的协调是一个很困难的问题.本文提出的改进遗传算法可以比较有效地处理此类多机器人系统的行为控制参数优化配置问题,极大地减少系统配置的难度.仿真结果表明改进的遗传算法可以比一般遗传算法更有效地满足系统的一些特定需求.

参 考 文 献

- 1 Ram A, Arkin R, Boone G, Pearce M. Using genetic algorithm to learn reactive control parameters for autonomous robotic navigation. *Journal of Adaptive Behavior*, 1994, 2(3):277~305
- 2 Arkin R. Motor schema-based mobile robot navigation. *International Journal of Robotics Research*, 1989, 8(4):92~112
- 3 Michalewicz Z. *Genetic Algorithm+Data Structure=Evolution Programs*. Berlin: Springer-Verlag, 1992
- 4 Fan Yong, Wang Shuo, Tan Min. Using genetic algorithm to optimize autonomous and cooperative behaviors of multiple mobile robots systems. In: *Proceedings of the 3rd World Congress on Intelligent Control and Automation*. Hefei: Press of University of Science and Technology of China, 2000. 1192~1196
- 5 Cai A, Fukuda T, Arai F, Ueyama T, Sakai A. Hierarchical control architecture for cellular robotics system: Simulations and experiments. In: *Proceedings International Conference on Robotics and Automation, IEEE*, 1995. 1191~1196

王 硕 中国科学院自动化研究所的博士研究生.研究方向为多机器人协调协作.

范 永 中国科学院自动化研究所的博士研究生.研究方向为多机器人协调协作.

谭 民 中国科学院自动化研究所副所长、研究员、博士生导师.研究方向为机器人控制、多机器人协调协作、系统可靠性理论、智能控制.