

基于 LCS 的多机器人路径规划控制体系结构

邵 杰^{1,2}, 杨静宇¹

(1 南京理工大学 计算机学院, 江苏 南京 210094; 2 商丘科技职业学院 计算机系, 河南 商丘 476000)

摘 要: 提出了一种基于学习分类器的多机器人混合分层体系结构. 体系协作规划层中的人工势场栅格法、协调规划层的学习分类器广播操作及行为控制层的多机器人 DSP 控制系统, 易于实现多机器人间的通信联络及系统的扩充, 提高了整个多机器人系统的实用性、实时性和可靠性.

关键词: 学习分类器; 多机器人; 混合分层体系结构

中图分类号: TP39

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)11-0128-04

Multi-Robot Hybrid Hierarchical Architecture Based on the Learning Classifier System

SHAO Jie^{1,2}, YANG Jing-yu¹

(1 School of Computer, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;

2 School of Computer, Shangqiu Science and Technical Vocational College, Shangqiu 476000, China)

Abstract: The paper proposes a hybrid hierarchical architecture in multiple robot system based on improved learning classifier system. In the system cooperation-planning layer, artificial potential field grid method, learning classifier broadcast operation of coordination-planning layer and mobile control platform in multiple robot system of behavior-control layer, easy to realize the multiple robot signal communication and system's expansion, enhanced the entire multi-robot assembly system's practicality, real-time and reliability.

Key words: learning classifier system; multi-robot; hybrid hierarchical architecture

1 引言

多智能机器人的体系结构是定义一个智能机器人系统各部分之间相互关系和功能分配, 决定一个智能机器人或多个智能机器人系统的信息流通关系和逻辑上的计算结构. 它研究如何组织和控制机器人的硬件和软件系统来实现机器人所需完成的工作^[1]. 文献[2]从宏观上建立了一个通用、开发、适应于非结构及不确定环境下面向复杂任务的多机器人体系. 文献[3]提出了一种基于多智能体的混合体系结构, 统一规划了机器人系统的软硬件结构, 实现了硬件接口. 文献[4]针对动态环境中的学习问题提出分层强化学习的体系结构.

文中提出基于学习分类器的多机器人混合分层体系结构. 协作规划层中的人工势场栅格法规划出一条从起点到目标点的多机器人无碰安全全局路径规划、协调规划层的学习分类器规划动态局部行为及行为控制层的多机器人 DSP 控制系统实现机器人具体动作. 该体系易于实现多机器人间的通信联络及系统的扩充, 提高了整个多机器人系统的实用性、实时性和可靠性. 仿真实验结果也表明人工势场栅格法和学习分类器结合用于多机器人的路径规划是有效.

2 基于 LCS 的多机器人路径规划相关技术

2.1 学习分类器系统

学习分类器系统 (Learning Classifier System,

LCS)^[5]是一个大量并行、消息传递以及基于规则的系统,其主要解决的问题是如何通过信用分配和基于遗传算法的规则发现机制进行对环境的学习,不断产生出新的规则.系统^[6]主要由规则与消息系统、信用分配系统和基于 GA 的规则发现系统三部分组成.

学习分类器算法描述:

Step1:读取环境反馈信息,将其信息编码送入消息列表中.

Step2:环境消息与规则库中规则的条件部分进行匹配,匹配成功的规则送往匹配规则集.

Step3:匹配规则集依据自身强度值进行投标,中标获胜的规则有权将其动作部分向外发送,引导机器人产生相应的动作.

Step4:依据环境回报,启动信用分配算法对规则的权值强度进行重新分配.

Step5:信用分配算法每运行间隔 T_{gen} 时间或机器人碰撞次数达到设定次数,启动规则发现算法,运用选择、交叉、变异遗传算子操作构造新的规则,对产生的新规则进行规则合并,再经拥挤算子进一步淘汰权值最小的规则.

Step6:如果机器人未到达目标位置,则返回 Step1.

2.2 多机器人分层体系结构

为了满足多机器人自主性和协作性要求,机器人分层体系结构分为三层:协作规划层、协调规划层及行为控制层.不同的控制层以不同的方式实现相互之间的协作和协调.每一层都有相应的规划任务,任务经过层层分解,最后得到机器人可执行的动作.这种体系结构的并发性好、实时性强并能够加强机器人对变化环境的应变能力.具体如图 1 所示.

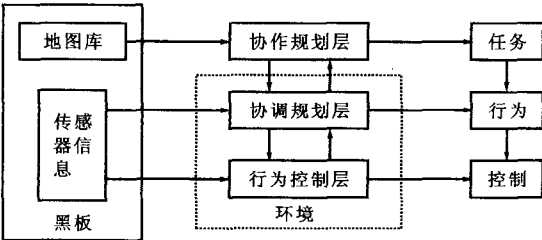


图 1 多机器人分层体系结构

2.3 基于 LCS 的多机器人混合分层体系结构

系统的控制流程如下:系统先从地图库中得到全局地图.协作规划层规划出一条从起点到目标点的无碰安全路径,是整个多机器人全局规划.协调规划层综合各机器人的传感器信息,产生整个多机器

人系统的动态局部行为规划.行为控制层根据行为规划产生动作,同时对上一次的规划行为给予反馈,通过 LCS 及时学习调整行为规划,通过机器人不断探测环境,反复执行上述过程,通过 LCS 系统最终实现多机器人的无碰路径规划.如图 2 所示.

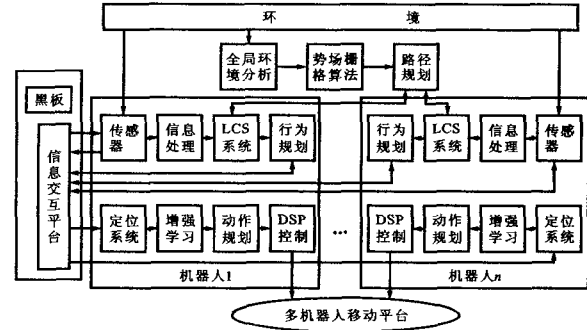


图 2 基于 LCS 的多机器人混合分层体系结构

3 基于 LCS 的多机器人混合分层体系结构设计

在协作规划层中采用应用人工势场栅格法^[7]实现多机器人的全局路径规划;在协调规划层中应用 LCS 方法规划多机器人的动态局部整体行为;行为控制层设计的目的是执行协调规划层产生的运动控制命令,由系统的多 DSP 控制产生相应的动作.

3.1 协作规划层

协作规划层是为多机器人在同一工作空间中为每个机器人找到一条最优或次优路径,并保证每一时刻机器人与机器人之间无碰撞,机器人与环境无碰撞.栅格法是把整个环境空间用固定大小的栅格分成许多小空间,所有节点可分为障碍物节点和自由节点两大类.每个自由节点连接相邻的自由节点组成一个图.人工势场法通过栅格图构造目标点引力场和障碍物周围斥力场共同作用的人工合势场,搜索势函数的下降方向来寻找无碰撞路径.目标位姿产生引力势,使机器人向目标位姿靠近,且方向指向目标点;障碍物产生排斥势,使机器人避开障碍物,方向指向远离障碍物方向;整个势场合力其引力与斥力的合力.

设机器人在工作空间中的位置为 $X = [x, y]^T$,机器人引力、斥力等算法定义如下:引力势函数定义为

$$U_{att}(x) = \frac{1}{2}kp(X - X_G)$$
(1)

相对的吸引力为目标引力势函数的负梯度

$$F_{att} = -grad[U_{att}(x)] = kp(X_G - X)$$
(2)

其中 kp 为比例因子, X 为机器人当前位置, X_G

为机器人目标位置. 在机器人到达目标的过程中, F_{att} 线性收敛于零. 斥力势函数为

$$U_{rep}(x) = \begin{cases} \frac{1}{2} \eta \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R_0} \right), & R \leq R_0 \\ 0, & R > R_0 \end{cases} \quad (3)$$

其中 η 为位置增益系数, R_0 是一个常数, 表示单个障碍物影响的最大距离范围, R 表示机器人在空间位置与障碍物的最短距离. 相应的斥力为

$$\begin{aligned} F_{rep}(x) &= \text{grad}[U_{rep}(x)] \\ &= \begin{cases} \frac{1}{2} \eta \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R_0} \right) \frac{1}{R^2} \nabla R, & R \leq R_0 \\ 0, & R > R_0 \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

其中 $\nabla R = \frac{\partial R}{\partial X}$. 机器人所受到的势场和合力

$$U = U_{att} + U_{rep} \quad (5)$$

$$F = F_{att} + F_{rep} \quad (6)$$

3.2 协调规划层

协调规划层用来实现多机器人不同行为的协调. 在全局路径规划中, 各机器人的路径规划应作为一个整体进行规划, 既要保证各机器人不与障碍物发生碰撞, 又要保证机器人之间不能发生碰撞, 每个机器人都能找到一条最优或次优路径. 在协调规划层主要采用了学习分类器系统内的两种算法: 信用分配系统和基于 GA 的规则发现系统.

信用分配系统用于调整现有规则的权值使之反映出规则的适用程度, 分类器的强度利用信用分配算法进行更新. 在信用分配过程中, 学习分类器产生三种规则: 未中标的匹配规则集中的规则、中标的匹配规则集中的规则、未匹配的规则. 三种规则强度更新的信用分配算法如下:

$$B_i(t) = \rho S_i(t) f_i \quad (7)$$

其中 $0 < \rho \leq 1$, 投标的风险系数. $S_i(t)$ 是当前规则的权值强度, $S_i(0) = 100$. $B_i(t)$ 为规则参与投标的投标值. f_i 表示规则参与投标的机会因子, 表示该规则参与投标的力度, $0 \leq f_i \leq 1$.

$$f_i = l/L \quad (8)$$

l 为规则条件部分中非“#”的位数, L 为规则条件部分的长度, $L = 16$.

(1) 投标获胜的规则 $C_i(t)$ 在第 t 次迭代后的权值强度

$$S_i(t+1) = S_i(t) + R_i(t) - B_i(t) \quad (9)$$

$R_i(t)$ 为规则从环境获得的回报值.

(2) 对于经过第 n 次迭代仍未能被激活的匹配规则, 其权值强度为

$$S_i(t+n) = S_i(t) * (1 - \text{Tax}_{life})^n \quad (10)$$

(3) 对于未能在拍卖中胜出的匹配规则集中的规则, 经过第 n 次迭代后其权值强度为

$$S_i(t+n) = S_i(t) - \sum_{j=0}^n \text{Tax}_{bid} * B_i(t+j) \quad (11)$$

Tax_{life} 为规则的生存税, 用以防止其权值强度人为地增长. Tax_{bid} 参与投标的规则需支付的投标税. 征税的目的在于调节分类器的强度, 避免强度较低的分类器控制遗传操作过程.

通过上述式(9)~(11)分析, 规则强度的通用更新算法为:

$$S_i(t+1) = (1 - \text{Tax}_{life}) S_i(t) + R_i(t) - \text{Tax}_{bid} * B_i(t)$$

$$\begin{cases} \text{Tax}_{life} = 0, \text{Tax}_{bid} = 1. \\ \quad \text{for winning rules} \\ \text{Tax}_{life} = 0, \text{Tax}_{bid} = 0. \\ \quad \text{for non-winning rules in the} \\ \quad R_i(t) = 0 \text{ matching pool} \\ \text{Tax}_{bid} = 0, 0 \leq \text{Tax}_{life} \leq 1. \\ \quad \text{for non-matching rules} \end{cases} \quad (12)$$

LCS 的规则发现算法采用遗传算法, 地图库中的全局地图和现有各规则的权值确定之后, 规则发现算法从现有规则中淘汰掉权值较小的, 利用较优的规则产生出新的规则, 然后开始下一轮的强化学习. 每一规则的权值为遗传算法的适应度函数.

3.3 行为控制层

在基于 LCS 的多机器人体系结构的分层系统中, LCS 择优规划的各种行为规则最终都将转化为各种相应的动作, 通过机器人本身的执行器件 DSP 系统, 完成机器人可执行的 8 个动作: 前进、后退、停止、右平移、左平移、左曲线、右曲线、保持不动.

3.4 通讯方式

这里采用黑板式通讯和 LCS 系统的广播操作实现多机器人的局部数据共享. 黑板在不同规划层次上分别汇集地图信息、传感器信息、机器人个体规划行为信息和动作信息, 通过黑板广播的方式把这些信息传递给各机器人, 各机器人间通过 LCS 的广播操作实现与黑板及各机器人间的通讯, 使整个分层结构具有良好的实时性和动态性.

4 硬件结构实现和仿真实验

4.1 上层控制系统

上层控制系统为了实现机器人内部各层之间的

实时通信,在上层控制系统中采用工业标准的 CAN 总线卡连接底层 DSP 控制系统中各个工作模块,802.11b/g 无线以太网卡,用于实现机器人与控制人员的实时交互。

4.2 底层控制系统

底层控制系统中,多机器人系统产生的动作规划分别送入行为层相应的 DSP 系统进行处理,使多机器人产生具体的动作,在多机器人移动控制平台上实现并行操作。

4.3 仿真实验

假设机器人的活动区域为一矩形,障碍物的分布情况等如图 3 所示。图内 3 个机器人均采用文中提出的基于 LCS 的多机器人的混合分层体系结构,分别用直径为 0.25m 的圆柱体表示,均以固定的速度向各自的目标前进或者完全停止。活动区域内共有三个圆形障碍物。图 4 仿真的结果表明 3 个机器人均能通过强化学习机制和 LCS 内的组合算法,找到一条最优或次优的路径,有效地提高了收敛速度。

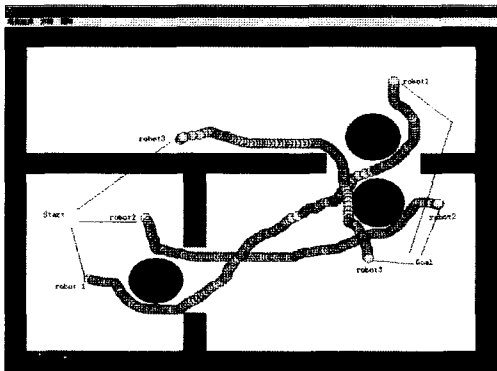


图 3 基于 LCS 系统的多机器人路径规划

5 结束语

文中提出了一种基于 LCS 的多机器人混合分层体系结构,结构中各层责权明晰,整个系统的任务控制、行为控制和动作控制和机器人之间的通讯可以很好的结合,给出了体系结构各层次之间信息流与控制流的关系。即反映了机器人在个体中的自主和智能,又体现出多机器人之间的协作与协调。目

前,将 LCS 用于多机器人体系结构、定位、路径规划和地图创建等关键技术理论、算法及应用都非常少,还有待进一步的研究。

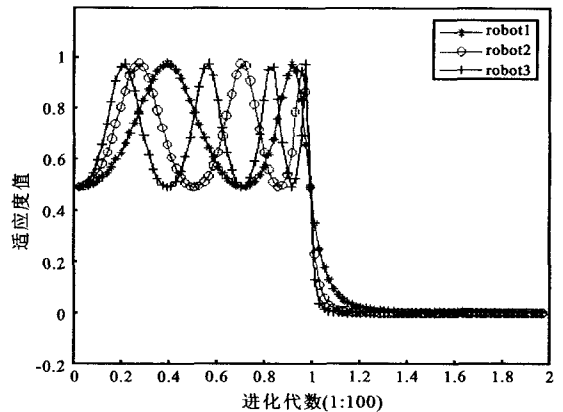


图 4 进化代数与适应度曲线图

参考文献:

- [1] 谭民,王硕,曹志强.多机器人系统[M].北京:清华大学出版社,2005.
- [2] 崔益安,蔡自兴,李潇晨.自组分层式多机器人体系结构[J].小型微计算机系统,2008,29(7):1263-1267.
- [3] 陈春林,陈宗海,周光明.基于多智能体的自主移动机器人混合体系结构[J].系统工程与电子技术,2004(11):210-212.
- [4] 沈晶,程晓北,刘海波,等.动态环境中的分层强化学习[J].控制理论与应用,2008,25(1):71-74.
- [5] Holland J H. A mathematical frame work for studying learning in classifier systems[M]. Mstardom: North - Holland, 1986:307-317.
- [6] Dorigo M, Colombetti M. Robot shaping: an experiment in behavior engineering cambridge[M]. Boston: The MIT Press,1998.
- [7] 于红斌,李孝安.基于栅格法的机器人快速路径规划[J].微电子学与计算机,2005,22(6):70-73.

作者简介:

邵杰男,(1966-)博士研究生,副教授.研究方向为多机器人系统关键技术。

杨静宇男,(1941-),教授,博士生导师.研究方向为模式识别、智能机器人。