

文章编号: 1002-0446(2000)01-0048-06

网络环境下基于 Agent 的多机器人协调与路径规划*

宋 宇¹ 孙茂相¹ 陈仁际² 吴镇炜²

(1. 沈阳工业大学信息科学与工程学院 沈阳 110023;

2. 中国科学院沈阳自动化所, 机器人学开放研究实验室 110015)

摘 要: 本文针对基于 Agent 的分布协作式多机器人装配系统——DAMAS 的特点, 在原有工作的基础上, 提出了网络环境下基于 Agent 的路径规划思想, 重新定义 Agent 各功能模块的内容, 建立系统中的通讯机制. 同时, 介绍了系统进行路径规划的工作过程, 给出了路径规划器的规划算法.

关键词: Agent; 路径规划; 通讯机制

中图分类号: TP24 **文献标识码:** B

1 引言

多机器人的路径规划意味着在同一工作空间中为每一个机器人找到一条路径, 并保证每一时刻机器人与机器人之间无碰撞, 机器人与环境之间无碰撞, 这就涉及到机器人之间的路径协调与避碰问题. 多机器人的路径规划方法很多, 如: C-空间法, 人工势场法, 路线图法, 神经网络法等. 从规划者和规划时间的角度来看, 上述方法大致可以分为集中式规划与分散式规划, 离线规划与在线规划. 它们各有利弊, 在实际应用中通常采用相结合的方法. DAMAS (Distributed Agent-based Multi-robot Assembly System) 系统是多机器人装配系统, 作为任务级执行的一部分, 路径规划不仅要满足无碰撞的要求, 还要满足(1) 三维动态工作环境(2) 较高的效率. 要实时解决这些问题, 在线集中式规划由于对计算能力和通讯的要求太高, 目前尚无实用价值; 分散式在线规划是局部自主的, 仅依靠基于传感器的在线路径规划并不能保证机器人在动态不确定环境下抵达目标点, 机器人需要知道系统中其他机器人的信息以解决死锁问题. 计算机网络的迅速发展推动了这一问题的进一步解决.

机器人在网络环境下通讯, 进行路径的协调, 在一定程度上弥补了分散式规划及单纯依赖传感器的在线规划缺乏全局性的不足. 目前, 通讯还存在着许多瓶颈问题, 如: 负载量大, 通讯速度下降, 在应用中直接通讯过多会导致系统的动态性能下降等. 基于 Agent 的方法是解决这种问题的重要方法. Agent 的基本特点是: 自主性, 社会交互性, 反映性, 和主动性等. 把这种思想引入多机器人路径规划中, 抓住 Agent 活动的典型特点: 大量信息处理在局部, 只有高层协作信息进行交互. 这样可以降低通讯成本, 提高系统的动态性. 计算机网络与 Agent 相结合的路径规划器具有集中与分散两种规划的双重特点.

文献[1, 2]侧重于任务冲突的解决, 在上述工作的基础上, 本文主要解决如下问题:

- (1) 保持 Agent 的原定义(软/硬件意义的), 重新设计 Agent 各功能模块的内容;
- (2) 重新设计 Agent 之间及 Agent 内部功能模块之间的通讯机制;

* 基金项目: 本项目获得国家 863 计划和国家自然科学基金资助, 资助号 863-512-9805-14
收稿日期: 1999-09-03

(3) 提出一种新型的多机器人避碰路径规划算法.

2 基于 Agent 的路径规划

2.1 任务规划与路径规划

机器人任务规划的输入是机器人要完成的任务, 输出是经其推理和规划生成的动作序列, 该动作序列是路径规划器的输入, 输出是机器人可执行动作的路径. 当任务规划产生的规划在路径规划中显示不可行或出现异常情况, 路径规划无法继续完成任务时, 路径规划要向任务规划返回信息以进行重新规划. 二者关系如图 1 示, DAMAS 系统的工作流程如图 2 示, 本文主要研究路径规划阶段.

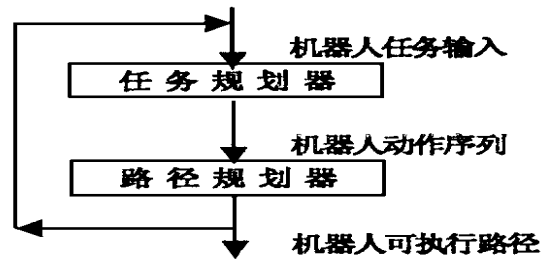


图 1 任务规划与路径规划的关系

2.2 Agent 的结构

Agent 是系统进行物理建模和物理执行的基本实体, 每个 Agent 都具有其自身的目标和对象, 都对应着系统中相应的物理实体或软件, 在自主的进行内部活动过程中与其他 Agent 通讯, 解决装配过程中的冲突, 实现任务目标. 这样看来, Agent 的活动有两种类型:

- 内部活动: Agent 为实现其目标进行的自主决定.
- 外部活动: Agent 间为解决目标冲突进行的彼此通讯与合作.

考虑到 Agent 这两方面的活动, 在路径规划阶段, Agent 模型中有三个相互通讯的基本模块: 通讯模块、知识库模块、控制模块, Agent 的内部结构如图 3 所示.

- 通讯模块

通讯模块负责管理和控制 Agent 之间、Agent 内部各模块之间的通讯. Agent 通过发送点对点的状态信息或以黑板的方式发布消息进行通讯. 通讯模块由两部分组成:

- 网络接口模块 支持使用 TCP/IP 协议, 负责 Agent 间通过以太网进行通讯.
- 协议模块 该模块由一系列协议组成, 由它们来确定发送那种信息(状态或命令)进行通讯, 以及如何发送或接收这些信息. 根据信息的类型, 该模块分为两个通讯子模块:

(1) 状态通讯子模块(SCSM) 负责状态信息的通讯, 这些信息含有系统组件的状态变化, 状态通讯是点对点的同步通讯.

(2) 命令通讯子模块(CCSM) 这里命令是指非状态信息, 如: 信息查询命令. 命令通讯是通过优先级信息, 缓冲区情况来实现, 且没有时间限制. 该子模块采用黑板机制进行管理.

- 知识库模块

知识库模块是 Agent 的信息源, 是一个存储数据和知识的信息库, 这些信息是 Agent 实现其目标进行活动所必需的. 该模块按信息来源分为:

- 本地知识库: 含有本地 Agent 能力和状态的信息.
- 异地知识库: 含有本地 Agent 感兴趣的其他 Agent 的信息.

按信息的状态分为:

- 静态环境子模块(SES M) 各个 Agent 均含有的静态不变的环境模型信息.
- 动态环境变化子模块(DESM) 收集、存储、更新系统中所有成员的动态的状态信息. 系

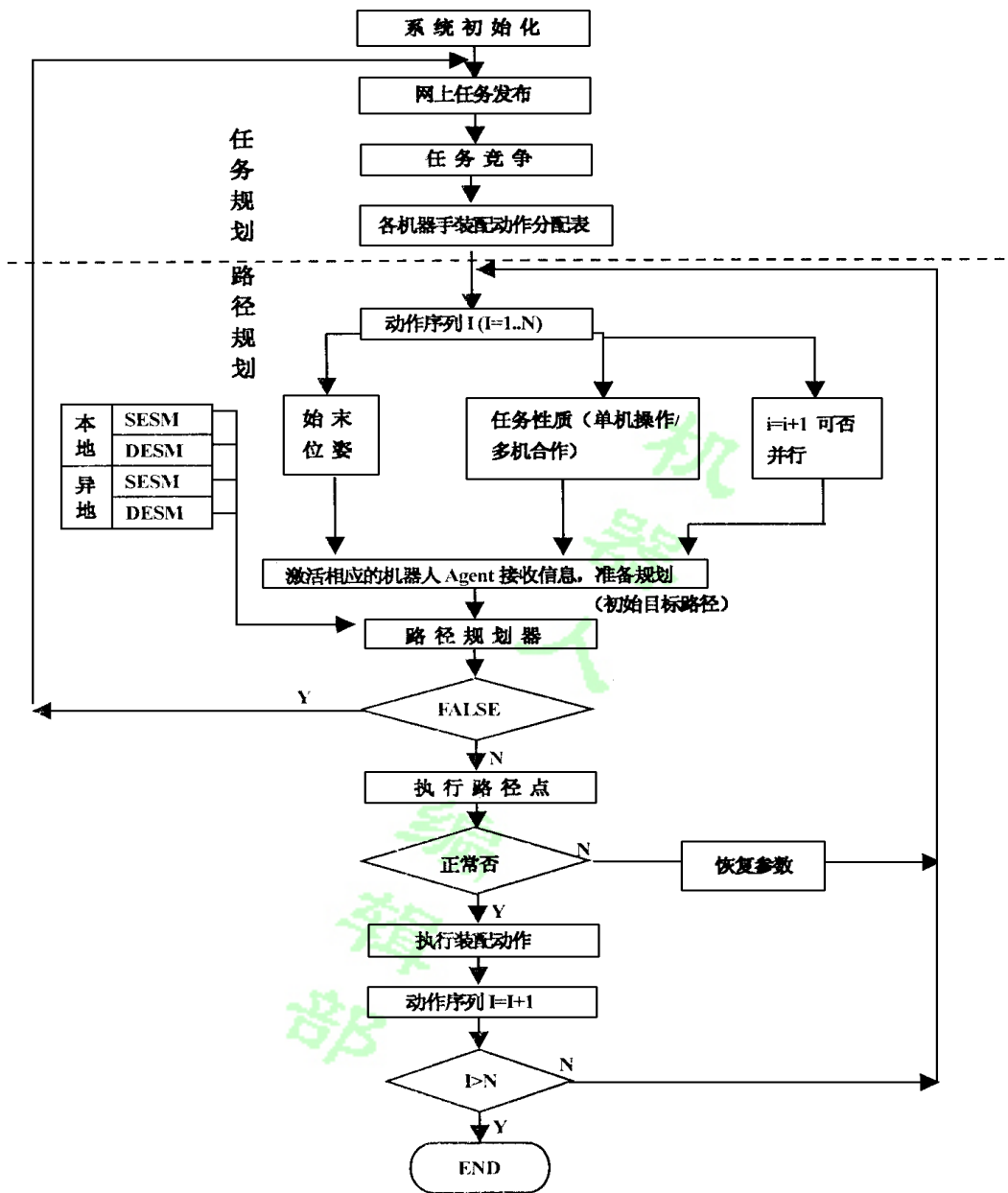


图 2 系统流程图

统中任何一个 Agent 可要求获取其他系统成员的动态变化信息, 通过发送和接收点对点的状态信息, 进行 Agent 之间及其内部模块间的状态通讯。

- 控制模块

Agent 在进行路径规划时所执行的计算程序存放在该模块中. 控制模块可在本地 Agent 上独立运行, 也可在与其它 Agent 合作时同时运行. 控制模块分为两部分:

- 路径规划器: 在每一个路径规划执行周期内, 进行碰撞检测, 规划无碰路径, 保证在同一时刻、同一工作空间中, 多机器人在执行装配任务时无碰撞。

· 错误检测: 管理在执行规划任务中的错误及不可执行规划, 恢复错误发生前系统的参数(激活程序的参数: 环境信息, 始末位姿, 任务性质, 前一动作已完成, 多机器人并行与否), 为重新规划做准备

2.3 基于 Agent 的路径规划

基于 Agent 的路径规划思想是把整个路径规划任务分配到各个 Agent 上, 这相当于分布式人工智能(DAI)中分布式问题(DPS)的求解; 然后, 各个 Agent 进行局部自主规划, 这相当于是 DAI 中的多 Agent 系统(MAS)问题, 其核心内容是多 Agent 之间的协作机制. 整个多机器人系统的规划结果是通过各个机器人规划之间的交互集成实现的, 这种集成包括在线动态过程和离线静态过程. 在线动态过程中, Agent 间实时地进行信息的交互, 每个 Agent 获得规划所需的本地与异地的实时信息, 但 Agent 不可能实时获得所有信息, 实际上应当充分发挥其自主性, 尽可能减少信息的交互; 离线的静态过程中, 由一个集中管理者对自主规划的结果进行集成, 最终得到整个系统的规划结果. 前一阶段提出的动态虚拟管理者, 可继续用到路径规划中, 同样可以解决由于固定集中管理者带来的瓶颈及冗余性差的问题.

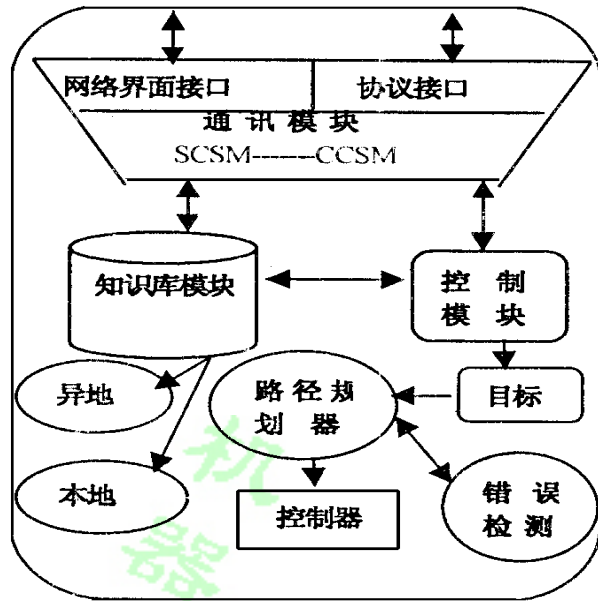


图 3 Agent 的结构

DAMAS 系统的路径规划过程是: 首先, 对于任务规划完的每一个动作序列, 动态虚拟管理者规划出一条初始的全局路径, 各个机器人以此全局路径作为目标路径做进一步的自主规划. 即: 整个 DAMAS 系统的复杂规划简化为每个 Agent 的简单规划, 在第 6 节中将进一步说明路径规划的过程.

3 系统中的通讯机制

前面已经指出, 系统中存在两种通讯: 命令通讯和状态通讯, 它们各有自身的特点.

· 命令通讯(非周期性)

在各 Agent 的命令通讯子模块中, 采用黑板机制管理命令通讯. 根据优先权大小与装配序列的次序来处理命令信息, 高优先级信息优先发送; 同一优先级的信息, 动作序列在前的优先发送. Agent 在黑板上张贴命令消息后, 命令通讯子模块负责处理该消息: 把消息发送给接收者(本地 Agent 或异地 Agent), 接收应答信息并把它传递给发送者. 与命令通讯有关的类型有:

(1) 控制命令: 包括启动或停止操作手运动、操作手归位、进行碰撞检测与避碰规划、执行第 i 个路径段的路径点;

(2) 信息查询命令: 在合作与协商过程中, 查询系统各组件的状态;

(3) 失败命令: 包括各种失败报告.

· 状态通讯

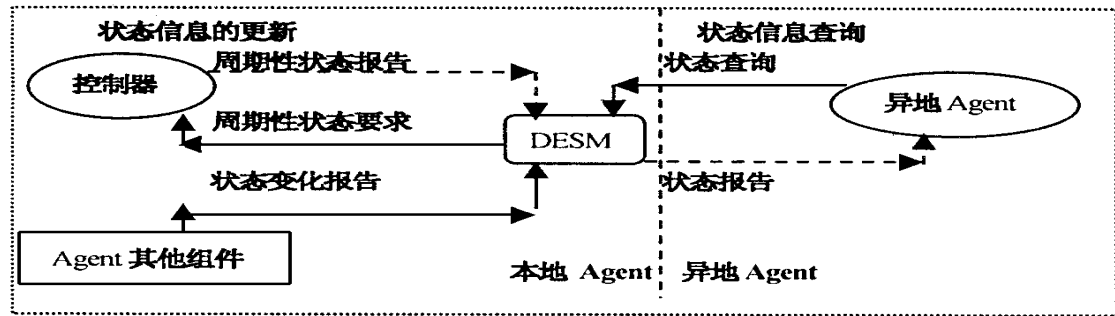


图4 状态通讯

操作手的位置和姿态随着装配任务的变化而变化,在进行操作手每个执行周期的路径规划时,不仅要知道本机的位置和姿态(状态的变化),还要知道其他操作手的位置和姿态,以规划出无碰路径.状态变化的信息是以Agent中状态通讯子模块为媒介,在Agent之间或其内部进行传递,如图4所示,状态通讯包括两种类型:

(1) 动态环境变化子模块(DESM)与操作手控制器的状态通讯(周期性通讯)

两者间的通讯为点对点的周期性状态通讯.在每个采样周期内,环境状态子模块发送状态通讯(状态变化请求),操作手控制器发送请求的状态信息作为应答,环境变化子模块存储状态变化信息.两者之间的要求与响应以Agent中状态通讯子模块为媒介,更新信息的通讯速度与所选的计算机及通讯协议类型有关.

(2) 环境变化子模块与其他Agent模块的通讯(非周期性通讯)

Agent其他组件的状态的变化,也应报告给相应的Agent,更新环境变化子模块中的信息,获得新的Agent状态.

任何Agent对操作手状态变化信息的查询都不必与操作手控制器本身通讯(硬件单元,通讯速度缓慢),而是向相应Agent请求,查询环境状态子模块(软件单元,通讯速度迅速).

上述两种情况下,信息的交互都是通过非周期性的点对点通讯来实现的,由状态通讯子模块负责状态信息的传递.

分析可知,绝大多数的信息交互是在Agent内部进行的,只有少数的状态与命令信息的交互是在Agent之间进行,这样就充分发挥Agent的自主性,降低了网络通讯的负载量.

4 在线避碰路径规划算法

当多机器人进行合作时,多机器人的空间位置造成机器人工作空间的重叠,在机器人机环境间发生碰撞的可能性就很大.各Agent中的控制模块负责保证产生机器人的无碰路径.如图2所示,虚线下的部分为路径规划过程的工作流程.对于某项任务,任务规划的输出为 N 个动作序列.机器人Agent中的动态虚拟管理者获得第 i 个动作序列的任务性质、始末位姿及第 $i+1$ 个动作是否并行的信息.该管理者根据任务性质、第 $i+1$ 个动作是否并行确定将要激活哪些机器人Agent,根据始末位姿规划各机器人Agent局部规划的初始目标路径.然后,发出激活命令,激活相应的机器人Agent.被激活的机器人Agent在Agent之间及Agent的内部进行信息的交互,获得进行路径规划所需的本地/异地的环境模型信息和动态环境变化信息,在Agent的控制模块中进行碰撞检测与路径规划.对于规划出的结果要判断其物理上的可执

行性,若超出机械手的可执行范围,则向任务规划级发出重新规划的命令请求;否则,发出执行该路径点的命令.在执行中,若出现设备异常(机械或电气故障),则恢复规划前的系统参数,准备重新规划;否则,控制器发出执行装配的指令,完成该动作.接着,规划序列 $i = i + 1$,直到装配任务结束.

对于第 i 个动作序列,机器人在执行第 j 个运动周期的路径点的同时,计算第 $j + 1$ 个运动周期的可执行路径点.在第 j 个周期内,控制模块进行下列工作:

- (1) 根据第 $j + 1$ 周期机械手运动的优先级,计算该机械手在 $j + 1$ 周期的路径点;
- (2) 碰撞检测;
- (3) 控制执行第 j 个周期的运动执行;

如图 5 所示,该框图说明了路径规划器的规划算法:

第一步:输入初始目标路径, $j = 0$.

第二步:检测机械手沿初始目标路径运动是否发生碰撞,否,本周期的路径点为安全路径,转向第四步;是,重新规划,转向第三步.

第三步:基于势场的路径规划算法规划无碰撞路径点.

第四步:转存缓冲区等待执行,并转向第五步.

第五步:当前路径点是否为目标点,否,根据当前路径点和目标点重新确定初始目标路径, $j = j + 1$,并返回第二步,是 $i = i + 1$,准备进行下一个序列.

上面提到的碰撞检测算法是以代数法为基础建立的.该算法将操作手臂用等长的直线段来代替,将工作空间中的障碍物进行凸包化处理,凸包的尺寸要弥补手臂细化的部分,多面体障碍物用一组平面方程组成.这样,判断机械手与障碍物是否发生碰撞就转化为直线与各平面是否相交的问题了.当检测到碰撞后,采用基于势场的路径规划算法^[4]获得无碰路径,对于算法本身和运动优先级的设定,本身是一个复杂的问题,另有专文论述.

5 结语

本文首先针对多机器人装配系统的特点,提出了网络环境下基于 Agent 的路径规划思想,重新定义 Agent 各功能模块的内容,设计了 Agent 多系统的通讯机制.同时,介绍了系统进行路径规划的工作过程,给出了路径规划器的规划算法.下一步的工作就是建立多装配机器人路径规划的图形仿真系统.

参 考 文 献

- 1 陈仁际,谈大龙.分布式机器人装配系统任务合作规划算法研究.中国机械工程 1999(已录用)
- 2 陈仁际,谈大龙.分布式机器人协作装配系统协商策略研究.中南工业大学学报(专辑),1998,29: 5- 8
- 3 孙茂相,周明等.多移动机器人实时最优运动规划.控制与决策,1998,2: 125- 130

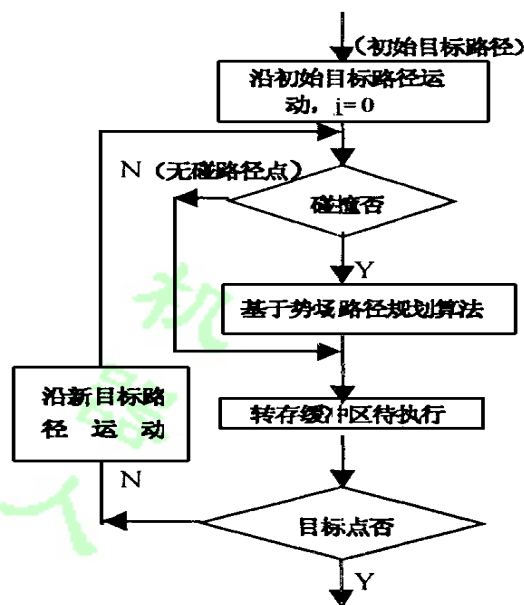


图 5 路径规划算法

4 Jean-Claude Latombe. Robot Motion Planning. Kluwer Academic Publishers, Boston, 1991

CO-OPERATION AND PATH PLANNING FOR AN AGENT-BASED MULTI-ROBOTS SYSTEM UNDER NETWORK

SONG Yu¹ SUN Mao-xiang¹ CHEN Yin-ji² WU Zhen-wei²

(1. Dept. of Information Eng., Shenyang Polytechnic Univ. 110023;

2. Robotic Laboratory, Science Academy of China, Shenyang, 110015)

Abstract: This paper presents a new strategy for path planning according to the characteristic of multi-robot assembly system. The strategy is based on Agent under network. On the basis of the previous work, the content of each function module for Agent is redefined and the communication protocol of the system has been built. Moreover, the procedure of path planning is addressed and the algorithm for path planning is given.

Keywords:

作者简介:

宋宇 (1975-), 女, 硕士生. 研究领域: 多机器人路径规划.

孙茂相 (1938-), 男, 教授. 研究领域: 现代控制理论及应用, 机器人规划与控制等.

陈仁际 (1968-), 男, 博士. 研究领域: 多机器人系统协调及控制.

编
辑
部