



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103198366 B

(45)授权公告日 2016.08.24

(21)申请号 201310121591.3

(22)申请日 2013.04.09

(73)专利权人 北京理工大学

地址 100081 北京市海淀区中关村南大街5号

(72)发明人 熊光明 刘鹏 龚建伟 姜岩 陈慧岩

(74)专利代理机构 北京天达知识产权代理事务所(普通合伙) 11386

代理人 胡时治

(51)Int.Cl.

G06F 19/00(2011.01)

G06N 3/12(2006.01)

(56)对比文件

CN 101493518 A,2009.07.29,

CN 101739817 A,2010.06.16,

CN 101751491 A,2010.06.23,

KR 101196084 B1,2012.11.01,

US 5272638 A,1993.12.21,

JP 2007241340 A,2007.09.20,

JP 2008139174 A,2008.06.19,

姜宇.车载导航系统智能查询与路径规划的研究与实现.《中国优秀硕士学位论文全文数据库工程科技II辑》.2009,(第01期),第2-8、29-52页.

审查员 郑婷

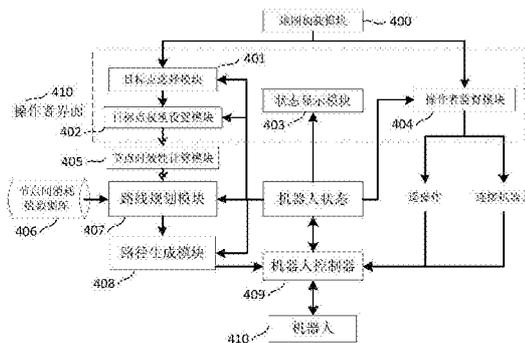
权利要求书2页 说明书9页 附图4页

(54)发明名称

一种考虑目标节点时效性的多目标路径规划方法

(57)摘要

一种考虑搜索机器人目标节点时效性的多目标路径规划装置和方法,通过包含路线规划和路径生成在内的两阶段解耦,使用多目标遗传算法来实现考虑路径消耗和节点时效性两个优化目标的路线规划,从而有助于提高有操作者监督的移动机器人的搜索性能,特别是在路径搜索需要考虑节点时效性问题时可以获得更好的搜索表现。



1. 一种考虑搜索机器人目标节点时效性的多目标路径规划方法,包括以下步骤:

加载机器人需要搜索的空间的简易地图;

选择目标节点的位置和权重;

进行考虑路径消耗和节点时效性两个优化目标的路线规划;

如果生成可执行的路线规划序列,进行生成的路线序列中相邻节点间的路径生成;

如果所生成的路径存在,返回最优解;

其中所述进行考虑路径消耗和节点时效性两个优化目标的路线规划进一步包括:

(a) 读取目标节点位置和权重;

(b) 判断步骤(a)中的权重是否为默认值,若是,转入步骤(i),若不是,转入步骤(c);

(c) 读取节点的时效值和衰减系数;

(d) 在读取的目标节点中,随机选取目标点对(i, j);

(e) 计算时间消耗估计函数的值;

(f) 基于改进的多目标遗传算法进行路线规划;

(g) 判断是否存在路线规划的解,若存在,转入步骤(h),若不存在,转入步骤(k);

(h) 返回路线规划的最优解;

(i) 采用传统的旅行商问题(TSP)算法生成路线;

(j) 判断该路线规划是否存在解,若是,转入步骤(h),若不存在,转入步骤(k);

(k) 返回不存在解时的错误代码;

所述基于改进的多目标遗传算法进行路线规划进一步包括:

(f.1) 染色体编码,将步骤(a)中读取的目标节点进行编码,每条染色体代表一个经过这些目标点并满足传统的旅行商问题(TSP)约束的路线序列的解,其中染色体编码格式为:

$$x = \text{Rand}\{1, 2, \dots, n\}$$

其中x代表染色体,由(a)中读取的n个目标点的序号产生的随机序列组成;

(f.2) 产生种群个数为N的随机初始化的初始种群,其中种群中的N个染色体均由(f.1)随机初始化得到;

(f.3) 初始化遗传代数,将i置为1;

(f.4) 使用适应度函数计算每个个体的适应度 $f_{fit}$ ;

(f.5) 进行个体的选择,根据步骤(f.4)中得到的每个个体的适应度,从种群中筛选符合要求的个体;

(f.6) 进行个体间的杂交,其中杂交表示通过改变染色体中部分节点序号的排序,进而获得新的个体;

(f.7) 进行变异操作,即在本过程中通过随机选取染色体中的两个节点编号进行交换来实现染色体的变异;

(f.8) 判断遗传代数是否大于给定的最大允许代数I,若是,则转入步骤(f.9),若不是,则转入步骤(f.10);

(f.9) 输出最优个体,即输出规划出的最优的路线序列的解;

(f.10) 遗传代数增加1,同时转入步骤(f.4);

其中(f.4)中用到的适应度函数具体表示为:

$$f_{\text{fit}} = (1-\gamma)\left(1 - \frac{\pi_i - \pi_{\min}}{\pi_{\max} - \pi_{\min}}\right)^m + \gamma\left(\frac{\sum_{j=1}^n \left(1 - \frac{S_{ij} - S_{j\min}}{S_{j\max} - S_{j\min}}\right)^m \times \varepsilon_j}{\sum_{j=1}^n \varepsilon_j}\right)$$

其中,  $\pi_i$  为个体  $x_i$  的总的路径消耗,  $\pi_{\max}$  和  $\pi_{\min}$  分别表示当前种群中个体所代表的路线序列路径消耗的最大值和最小值,  $s_{ij}$  为个体  $x_i$  中从起始节点, 节点序号为 0, 到第  $j$  个节点, 的时间消耗, 其中  $s_{j\max}$  为整个种群中的最大值,  $s_{j\min}$  为整个种群中的最小值,  $\varepsilon = \{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n\}$  为目标节点的优先级因子, 即权重值,  $r$  为分布系数用来平衡总路径距离和时间消耗各自所占的权重;  $\varepsilon$  的值由以下时效性方程确定:

$$C(t) = C_0 - v_0 \beta t$$

其中  $C_0$  是初始的节点时效值,  $v_0$  是默认的衰减速率,  $\beta$  是衰减速率影响因子, 代表时效性衰减速率的变化情况, 令  $\beta = \varepsilon$  将目标节点的时效性和节点的权重联系起来。

2. 如权利要求 1 所述的多目标路径规划方法, 其中为了使步骤 (f.4) 中的适应度函数更加适用于在不知道两个目标节点之间确定的时间消耗值的情况下进行时效性规划, 采用以下时间消耗估计函数用于计算两个目标节点间的时间消耗:

$$s_{ij} = \frac{d_{ij} \times \xi}{u}$$

其中  $d_{ij}$  是节点  $i$  和节点  $j$  之间的欧几里得距离,  $\xi$  是节点间的距离因子, 由下面的公式定义:

$$\xi = \frac{p_{ij}}{d_{ij}} \quad i, j \in N$$

其中  $p_{ij}$  是随机选择的目标节点  $i$  和节点  $j$  之间的路径消耗,  $p_{ij}$  的值通过计算采用 A\* 算法在给定的地图上规划随机选取的节点对  $i$  和  $j$  之间的路径的消耗值得到。

## 一种考虑目标节点时效性的多目标路径规划方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种考虑搜索机器人目标节点时效性的多目标路径规划装置和方法,尤其涉及一种考虑目标节点时效性和路径消耗的多目标路径规划方法。

### 背景技术

[0002] 和完全自主的搜索机器人相比,有操作者监督的自主机器人在一些搜索场景下可以发挥更好的表现。采用适当而有效的操作者交互框架,搜索机器人可以得到有用的高层协助,如任务级的目标点选择和重要的任务执行确认等。在有监督的机器人的环境探索和救援任务中,经常需要考虑任务的多目标优化。在这些任务中,除了总路径消耗的优化目标之外,交通环境,访问顺序,资源的利用率等也需要考虑在内。许多用于解决该方法的问题曾被提出。这些方法可以归纳为求解多目标优化的MOTSP(multiple objectives traveling salesman problem)问题。MOTSP问题基于传统的TSP问题,在其基础上考虑具有多个目标函数的最优化问题。其中传统的TSP问题可以归纳为:已知 $n$ 个节点 $V=\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 以及任意两个节点之间的距离 $d(v_i, v_j)$ ,求一条经过且只经过 $V$ 中所有节点一次的闭合 $\pi(V=\{v_1, v_2, \dots, v_n\})$ ,使得总行程 $d_{\pi} = d(v_n, v_1) + \sum_{i=1}^{n-1} d(v_i, v_{i+1})$ 最小,即总的路径消耗最小问题。

[0003] 针对实际应用情形,MOTSP在传统TSP单一的路径消耗目标函数的基础上引入了时间消耗,访问顺序,交通情况等优化目标,形成了多目标优化问题。

[0004] 现有的解决方案中已经存多种MOTSP方法,例如公开号为CN102520718A的中国发明专利申请公开了一种基于物理建模的机器人避障路径规划方法,其在最短路径目标的基础上兼顾障碍规避目标,又例如公告号为CN101571995B的中国授权发明专利公开了一种考虑交叉口转向的最短路径规划方法,其在单一路径消耗目标的基础上再考虑交叉口约束目标。

[0005] 然而现有的解决方案通常只适用于交通运输和调度系统。在这些环境中通常运输车辆或机器人的运动路径为特定的路线,如城市的交通网络,车间的固定传递路线或者障碍点等。在这些环境下,机器人所执行的路线的消耗(路径距离和消耗的时间等)通常容易获得。

[0006] 对于执行搜索任务的自主机器人,考虑上面提到的时效性问题也非常必要。在有监督的机器人多目标点搜索任务中,规划部分的主要任务为规划生成连接所有目标节点的路径,同时考虑不同目标节点的时效性,从而使机器人能够获得一条经过所有目标点的可执行路径。该路径应该满足路径消耗(规划路径距离)最优,同时机器人在到达每个目标点时,满足该目标点的时效性约束。有监督的自主机器人搜索任务可以采用MOTSP模型来表示,但是在机器人的任务规划中,同时考虑路径的消耗和目标节点的时效性是较难实现的。因为在执行搜索任务的机器人的搜索空间中,连接两目标点间的路径在机器人执行搜索任务之前通常是未知的,此外在机器人路径规划之前计算机器人执行该路径的时间消耗也很

困难。因为通常路径生成在路线规划之后,两个目标节点间的真实的时间消耗在机器人未执行完该段路径之前往往是未知的。大多数的求解方法采用目标节点*i*和节点*j*之间的欧几里得距离近似代替实际的路径距离,或者在规划之前计算节点间的真实路径消耗矩阵 $D_R$ 。例如,对于障碍物比较少的大范围搜索地图,采用欧几里得距离替代的方法规划效果比较好;在一些特定的交通运输场景中,由于车辆要行使的路线通常为固定的线路,可以事先计算地图中两个目标点之间的真实路径消耗,进而求得两个目标点之间的时间消耗。但是对于只有一个简易的全局搜索地图的机器人搜索任务来说,用以上的两种方法进行求解都不太理想。由于搜索的目标节点均由操作者在和机器人进行交互时选取,因此在规划程序执行搜索任务之前计算节点间真实的路径距离矩阵 $D_r$ 比较困难。同时,对于一个具有*n*个目标节点的搜索任务,规划程序需要计算一个有*n*<sup>2</sup>个元素的矩阵,这对规划算法的实时性影响比较大。而对于采用欧几里得距离矩阵 $D_E$ 代替实际路径距离的方法,即使假设搜索环境里面障碍物较少,从目标节点*i*到目标节点*j*之间的时间消耗仍然较难计算。因为对于任意的两个目标节点间的时间消耗 $t_{ij}$ ,有

$$[0007] \quad t_{ij} \geq \frac{d_{ij}}{u} \quad t_{ij} \in T, d_{ij} \in D_E$$

[0008] 其中, $d_{ij}$ 为目标节点*i*和目标节点*j*之间的欧几里得距离, $u$ 是机器人在目标节点*i*和目标节点*j*之间搜索时的平均速度。由于 $d_{ij}$ 为目标节点间的最短距离,所以当且仅当两个目标节点规划出的路径为连接两目标点的直线且不和障碍物相碰时,等式成立。由于通常考虑避障的路径规划算法所得的路径消耗比 $d_{ij}$ 要大,由欧几里得距离所求的时间消耗通常偏小。特别地,当两节点间的障碍物较多时,采用欧几里得距离的方法会产生严重误差。

[0009] 此外,在考虑多个搜索目标点搜索算法的研究中,现有技术中提出的方案仅仅考虑非欧几里得距离下连接多个目标节点的路径生成问题,在节点时效性方面没有考虑相应的解决方案。

[0010] 在有监督的机器人环境探索中,操作者可能会在交互过程中同时选定几个目标点作为感兴趣的搜索点。这些搜索点需要进行合理的路径规划并添加到机器人的任务列表中。对于传统的TSP问题,通常会以总路径的距离值作为目标函数对该任务进行优化。但是在一些情形下,操作者需要考虑一些目标节点的时效性。比如在搜索任务中一些节点包含的信息的重要性更高,或者在救援任务中一些节点的情况更加危急。通过合理的将节点的时效性考虑到任务规划中可以提高机器人的任务执行能力,获得更好的搜索或者救援效果。本发明方案针对有监督的自主机器人的工作场景,提出了考虑目标节点时效性的MOTSP路径规划算法。通过为节点设定不同的权重,让机器人在路径规划中考虑不同节点的时效性。

## 发明内容

[0011] 为了达到上述目标,本发明提出一种考虑搜索机器人目标点时效性和路径消耗的多目标路径规划方法。该方法采用两阶段方法解耦,即路线规划和路径生成,提出了一种改进的多目标遗传算法(MOGA)的适应度函数用于求解多目标旅行商问题(MOTSP),该适应度函数考虑了帕雷托最优。路线节点间的路径通过启发式搜索算法A\*生成,提出了一个简化的路线节点的时效性函数来表示每个节点的时效性。

- [0012] 本发明的技术方案包括：
- [0013] 加载机器人需要搜索的空间的简易地图；
- [0014] 选择目标节点的位置和权重；
- [0015] 进行考虑路径消耗和节点时效性两个优化目标的路线规划；
- [0016] 如果生成可执行的路线规划序列,进行生成的路线序列中相邻节点间的路径生成；
- [0017] 如果所生成的路径存在,返回最优解。
- [0019] 其中所述进行考虑路径消耗和节点时效性两个优化目标的路线规划进一步包括：
- [0020] (a)读取目标节点位置和权重；
- [0021] (b)判断步骤(a)中的权重是否为默认值,若是,转入步骤(i),若不是,转入步骤(c)；
- [0022] (c)读取节点的时效值和衰减系数；
- [0023] (d)在读取的目标节点中,随机选取目标点对(i,j)；
- [0024] (e)计算时间消耗估计函数的值；
- [0025] (f)基于改进的多目标遗传算法进行路线规划；
- [0026] (g)判断是否存在路线规划的解,若存在,转入步骤(h),若不存在,转入步骤(k)；
- [0027] (h)返回路线规划的最优解；
- [0028] (i)采用传统的旅行商问题算法(TSP)生成路线；
- [0029] (j)判断该路线规划是否存在解,若是,转入步骤(h),若不存在,转入步骤(k)；
- [0030] (k)返回不存在解时的错误代码。
- [0031] 其中所述基于改进的多目标遗传算法进行路线规划进一步包括：
- [0032] (f.1)染色体编码,将步骤(a)中读取的目标节点进行编码,每条染色体代表一个经过这些目标点并满足传统的旅行商
- [0033] (TSP)问题约束的路线序列的解。其中染色体编码格式为：
- [0034]  $x = \text{Rand}\{1, 2, \dots, n\}$
- [0035] 其中x代表染色体,由(a)中读取的n个目标点的序号产生的随机序列组成。
- [0036] (f.2)产生种群个数为N的随机初始化的初始种群,其中种群中的N个染色体均由(f.1)随机初始化得到；
- [0037] (f.3)初始化繁殖代数,将i置为1；
- [0038] (f.4)使用适应度函数计算每个个体的适应度 $f_{fit}$ ；
- [0039] (f.5)进行个体的选择,根据步骤(f.4)中得到的每个个体的适应度,从种群中筛选符合要去的个体；
- [0040] (f.6)进行个体间的杂交。其中杂交表示通过两个染色体的交换组合,来产生新的优良品种。在本步骤中,是指通过改变染色体中部分节点序号的排序,进而获得新的个体；
- [0041] (f.7)进行变异操作。变异操作模拟生物在自然的遗传环境中由于各种偶然因素引起的基因突变,以很小的概率随机地改变遗传基因。在本过程中通过随机选取染色体中的两个节点编号进行交换来实现染色体的变异；
- [0042] (f.8)判断遗传代数是否大于给定的最大允许代数I,若是,则转入步骤(f.9),若不是,则转入步骤(f.10)；

[0043] (f.9)输出最优个体。在本步骤中输出规划出的最优的路线序列的解；

[0044] (f.10)遗传代数增加1,同时转入步骤(f.4)。

[0045] 其中(f.4)中用到的适应度函数具体表示为：

$$[0046] \quad f_{\text{fit}} = (1-\gamma)\left(1 - \frac{\pi_i - \pi_{\min}}{\pi_{\max} - \pi_{\min}}\right)^m + \gamma\left(\frac{\sum_{j=1}^n \left(1 - \frac{s_{ij} - s_{j\min}}{s_{j\max} - s_{j\min}}\right)^m \times \varepsilon_j}{\sum_{j=1}^n \varepsilon_j}\right)$$

[0047] 其中, $\pi_i$ 为个体 $x_i$ 的总的路径消耗, $\pi_{\max}$ 和 $\pi_{\min}$ 分别表示当前种群中个体所代表的路线序列路径消耗的最大值和最小值。 $s_{ij}$ 为个体 $x_i$ 中从起始节点(节点序号为0)到第 $j$ 个节点(节点序号为 $j$ )的时间消耗,其中 $s_{j\max}$ 为整个种群中的最大值, $s_{j\min}$ 为整个种群中的最小值。 $\varepsilon = \{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n\}$ 为目标节点的优先级因子(权重值)。 $r$ 为分布系数用来平衡总路径距离和时间消耗各自所占的权重。

[0048] 5,如权利要求4所述的多目标路径规划方法,其中所述 $\varepsilon$ 的值由以下时效性方程确定：

$$[0049] \quad C(t) = C_0 - v_0 \beta t$$

[0050] 其中 $C_0$ 是初始的节点时效值, $v_0$ 是默认的衰减速率, $\beta$ 是衰减速率影响因子,代表时效性衰减速率的变化情况,令 $\beta = \varepsilon$ 将目标节点的时效性和节点的权重联系起来。

[0051] 6,如权利要求4所述的多目标路径规划方法,其中为了使步骤(f.4)中的适应度函数更加适用于在不知道两个目标节点之间确定的时间消耗值的情况下进行时效性规划,采用以下时间消耗估计函数用于计算两个目标节点间的时间消耗：

$$[0052] \quad s_{ij} = \frac{d_{ij} \times \xi}{u}$$

[0053] 其中 $d_{ij}$ 是节点 $i$ 和节点 $j$ 之间的欧几里得距离, $\xi$ 是节点间的距离因子由下面的公式定义：

$$[0054] \quad \xi = \frac{p_{ij}}{d_{ij}} \quad i, j \in N$$

[0055] 其中 $p_{ij}$ 是随机选择的目标节点 $i$ 和节点 $j$ 之间的路径消耗, $p_{ij}$ 的值通过计算采用A\*算法(本领域公知的一种静态路网中求解最短路的有效方法)在给定的地图上规划随机选取的节点对 $i$ 和 $j$ 之间的路径的消耗值得到。

[0056] 本发明另外揭示了一种考虑节点时效性的多目标点路径规划装置,包括：

[0057] 地图加载模块,加载机器人执行搜索任务的简易地图,为机器人提供搜索区域的障碍物信息和可行区域信息,为状态显示模块提供全局地图数据；

[0058] 目标点选择模块,读取操作者选择的目标点的位置信息,为多个目标节点设定节点号；

[0059] 目标点权重设置模块,读取操作者设定的不同节点的权重值,并根据目标点选择模块提供的节点号存储各个节点的权重值；

[0060] 状态显示模块,在交互界面上显示搜索任务的全局地图,当前机器人的位置信息、路线规划结果、路径生成结果以及各个节点的时效值；

[0061] 操作者监督模块,根据当前的机器人状态,执行对机器人的初始化连接和遥控操

作；

[0062] 节点间消耗值数据库模块,存储目标点间的路径消耗和时间消耗值。这些数据根据目标点选择模块中的节点位置信息,由路径生成模块计算得到。其中在计算时间消耗值时,各个节点的节点权重由目标点权重设置模块提供,各个节点的时效性值由节点实效性计算模块提供；

[0063] 节点时效性计算模块,计算每个目标节点的时效性值,该模块同时接收系统初始化时节点的时效性值和每个节点的时效性衰减速率；

[0064] 路线规划模块,规划通过所有目标点的MOTSP问题,求解满足多个目标函数的路线序列；

[0065] 路径生成模块,在路线规划模块规划出可执行的路线序列后,该模块规划并生成路线序列中相邻两点之间的路径,路径在考虑总体消耗的同时,应躲避障碍物。

[0066] 应用本发明,可以取得以下有益效果：

[0067] 通过提出考虑时效性和路径消耗的多目标路径规划方法,本发明有助于提高有操作者监督的移动机器人的搜索性能。该方法中所采用两阶段方法将问题解耦为路线规划和路径生成的思路可应用于该领域类似问题的求解。本发明中提出的简化的路线节点的时效性函数可以用于通用的路径节点时效性分析。当搜索任务需要考虑节点时效性问题时,采用本发明提出的解决方案可以获得更好的搜索表现。

## 附图说明

[0068] 下列附图在此作为本发明的一部分以便于理解,附图中：

[0069] 图1为本发明中考虑节点时效性的多目标点路径规划方法的总体流程；

[0070] 图2为本发明中考虑目标节点时效性的路线规划示意图；

[0071] 图3为本发明中基于改进的多目标遗传算法(MOGA)的多目标路线规划流程图。

[0072] 图4为本发明中考虑节点时效性的多目标点路径规划装置框架模型；

[0073] 图5为本发明中考虑节点时效性的示意图。

## 具体实施方式

[0074] 在下文的描述中,给出了大量具体的细节以便提供对本发明更为彻底的理解。然而,对于本领域技术人员而言显而易见的是,本发明可以无需一个或多个这些细节而得以实施。在其他的例子中,为了避免与本发明发生混淆,对于本领域公知的一些技术特征未进行描述。下面结合附图,说明本发明的实施方式。

[0075] 图1示出了本发明的多目标点路径规划方法的总体流程。请参见图1,下面是对方法中各个步骤的详细描述。

[0076] 步骤S100:加载机器人需要搜索的空间的简易地图。

[0077] 本发明考虑工作在一些恶劣环境下的搜索机器人的搜索和救援场景。这些场景通常伴随着一些危险因素,例如火灾,气体泄漏,辐射等。在这种情况下,该场景的建筑物结构蓝图通常是事先已知的,因此搜索机器人可以根据该图纸构建简易的全局地图。

[0078] 根据已知的结构图,将图中障碍物和无法行驶区域设置为不可通行区域,将路面和可行驶区域设置为自由区域,生成具有不可通行区域和自由区域的栅格地图。

[0079] 步骤S101:判断是否成功加载地图,若成功加载地图,进入步骤S102,若未成功加载地图,进入步骤S107。

[0080] 步骤S102:选择目标节点的位置和权重。

[0081] 机器人对每个目标节点的时效性的判断基于和其进行交互的监督者的经验知识。监督者可以根据自身对场景情况的分析来确定机器人需要搜索的目标点的位置和该目标点对应的时效性的值,例如,整个危险救援场景中最先应该检查或搜索的目标可能出现在什么位置。因此,对于有监督的机器人的搜索任务,操作者可以在和搜索机器人交互过程中选择一系列的感兴趣的搜索目标节点。和每次交互过程中只选择一个节点相比,该方法可以减轻操作者的工作负担。

[0082] 步骤S103:进行考虑路径消耗和节点时效性两个优化目标(MOTSP)的路线规划。

[0083] 当机器人得到一个有多个目标点的搜索任务命令时,机器人需要优化通过每个目标节点的路径以保证最低的路线消耗,同时,不同的目标节点应该有不同的搜索优先级以保证机器人可以优先搜索重要的目标节点。

[0084] 如图5所示,仅考虑全局总路径的消耗,得到的路径目标节点序列为 $\pi_1(V=\{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\})$ ,而在一些需要考虑目标节点 $v_3$ 的时效性的情况下,路径目标节点序列 $\pi_2(V=\{v_1, v_3, v_4, v_5, v_2\})$ 可能更符合要求。在规划目标节点序列 $\pi_2$ 中,机器人从起始节点 $v_1$ 出发到节点 $v_3$ 的路径消耗要小于目标节点序列 $\pi_1$ 中的情形,即机器人可以在更短的时间内到达节点 $v_3$ 。

[0085] 步骤S104:判断步骤S103是否生成可执行的解,若否,转入步骤S102。

[0086] 步骤S105:进行生成的路线序列中相邻节点间的路径生成。

[0087] 步骤S106:判断步骤S105中所生成的路径是否存在,若存在,返回最优解,规划过程结束;若不存在,转入步骤S102。

[0088] 步骤S107:输出错误代码,程序结束。

[0089] 其中步骤S103用到了遗传算法求解多目标旅行商人问题(MOTSP)。遗传算法是模拟达尔文生物进化论的自然选择和遗传学机理的生物进化过程的计算模型,是一种通过模拟自然进化过程搜索最优解的方法。该算法的基本运算过程包括,种群初始化、个体评价、选择、交叉、变异和终止条件判断。

[0090] 下面结合图2的流程,对使用遗传算法求解MOTSP的路线规划的步骤S103进行详细描述:

[0091] 步骤S201:读取目标节点位置和权重。

[0092] 步骤S202:判断步骤S201中的权重是否为默认值,若是,转入步骤S209,若不是,转入步骤S203;

[0093] 步骤S203:读取节点的时效值和衰减系数。

[0094] 步骤S204:在读取的目标节点中,随机选取目标点对 $(i, j)$ 。

[0095] 步骤S205:计算时间消耗估计函数的值。

[0096] 步骤S206:基于改进的多目标遗传算法(MOGA)进行路线规划。

[0097] 步骤S207:判断是否存在路线规划的解,若存在,转入步骤S208,若不存在,转入步骤S211。

[0098] 步骤S208:返回路线规划的最优解。

[0099] 步骤S209:采用传统的求解TSP的遗传算法生成路线。

[0100] 步骤S210:判断该路线规划是否存在解,若是,转入步骤S208,若不存在,转入步骤S211。

[0101] 步骤S211:返回不存在解时的错误代码。

[0102] 其中,步骤S206基于传统的遗传算法(GA)构造了改进适应度函数的多目标遗传算法。多目标遗传算法在遗传算法的基础上考虑多个优化目标,在计算每个个体的适应度时,需要综合考虑这些优化目标的影响。结合图3的流程,该步骤的详细流程如下:

[0103] 步骤S301:染色体编码,将步骤S201中读取的目标节点进行编码,每条染色体代表一个经过这些目标点并满足TSP问题约束的路线序列的解。其中染色体编码格式为:

[0104] 义二Rand{1,2,...,n}

[0105] 其中x代表染色体,由步骤S301中读取的n个目标点的序号产生的随机序列组成。

[0106] 步骤S302:产生种群个数为N的随机初始化的初始种群,其中种群中的N个染色体均由步骤S301随机初始化得到。

[0107] 步骤S303:初始化繁殖代数,将i置为1。

[0108] 步骤S304:计算每个个体的适应度。

[0109] 步骤S305:进行个体的选择,根据步骤S304中得到的每个个体的适应度,从种群中筛选符合要去的个体。

[0110] 步骤S306:进行个体间的杂交。其中杂交表示通过两个染色体的交换组合,来产生新的优良品种。在本步骤中,是指通过改变染色体中部分节点序号的排序,进而获得新的个体。

[0111] 步骤S307:进行变异操作。变异操作模拟生物在自然的遗传环境中由于各种偶然因素引起的基因突变,以很小的概率随机地改变遗传基因。在本过程中通过随机选取染色体中的两个节点编号进行交换来实现染色体的变异。

[0112] 步骤S308:判断遗传代数是否大于给定的最大允许代数I,若是,则转入步骤S309,若不是,则转入步骤S310。

[0113] 步骤S309:输出最优个体。在本步骤中输出规划出的最优的路线序列的解。

[0114] 步骤S310:遗传代数增加1,同时转入步骤S304。

[0115] 其中步骤S304中用到的适应度函数具体表示为:

$$[0116] \quad f_{fit} = (1-\gamma) \left(1 - \frac{\pi_i - \pi_{\min}}{\pi_{\max} - \pi_{\min}}\right)^m + \gamma \left( \frac{\sum_{j=1}^n \left(1 - \frac{s_{ij} - s_{j\min}}{s_{j\max} - s_{j\min}}\right)^m \times \varepsilon_j}{\sum_{j=1}^n \varepsilon_j} \right)$$

[0117] 其中, $\pi_i$ 为个体 $x_i$ 的总的路径消耗, $\pi_{\max}$ 和 $\pi_{\min}$ 分别表示当前种群中个体所代表的路线序列路径消耗的最大值和最小值。 $s_{ij}$ 为个体 $x_i$ 中从起始节点(节点序号为0)到第j个节点(节点序号为j)的时间消耗,其中 $s_{j\max}$ 为整个种群中的最大值, $s_{j\min}$ 为整个种群中的最小值。 $\varepsilon = \{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n\}$ 为目标节点的优先级因子(权重值)。 $r$ 为分布系数用来平衡总路径距离和时间消耗各自所占的权重。

[0118] 其中, $\varepsilon$ 的值由时效性方程确定。为了考虑每个目标节点的时效性,采用以下的方程(时效性方程)描述节点的时效性的值:

[0119]  $C(t) = C_0 - v_0 \beta t$

[0120] 其中 $C_0$ 是初始的节点时效值, $v_0$ 是默认的衰减速率, $\beta$ 是衰减速率影响因子,代表时效性衰减速率的变化情况。当一个目标节点的时效性值为0时,该目标节点被置为失效。通过该时效性函数,节点的时效性可以转化为节点的权重。令 $\beta=\epsilon$ 将目标节点的时效性和节点的权重联系起来。确定每个目标节点的时效性函数后,便可以得到机器人在执行搜索任务过程中每个目标节点的实际时效性值。

[0121] 为了使步骤S304中的适应度函数更加适用于在不知道两个目标节点之间确定的时间消耗值的情况下进行时效性规划,本发明提出了一种时间消耗估计函数用于计算两个目标节点间的时间消耗。

$$[0122] \quad s_{ij} = \frac{d_{ij} \times \xi}{u}$$

[0123] 其中 $d_{ij}$ 是节点i和节点j之间的欧几里得距离, $\xi$ 是节点间的距离因子,由下面的公式定义:

$$[0124] \quad \xi = \frac{p_{ij}}{d_{ij}} \quad i, j \in N$$

[0125] 其中 $p_{ij}$ 是随机选择的目标节点i和节点j之间的路径消耗。 $p_{ij}$ 的值通过计算采用A\*算法(本领域公知的一种静态路网中求解最短路的有效方法)在给定的地图上规划随机选取的节点对i和j之间的路径的消耗值得到。

[0126] 通过计算两个目标节点间的路径消耗值和这两个节点间的欧几里得距离的比值 $\xi$ ,并将 $\xi$ 引入到节点间的距离消耗矩阵,本发明可以得到一个近似于节点间真实距离消耗的距离消耗矩阵。通过该方法求得的距离值和机器人的平均速度进行计算,可以得到近似的机器人在执行搜索任务时的时间消耗。

[0127] 本发明通过采用距离因子补偿的方法,一方面解决了传统的采用节点间的欧几里得距离作为计算的输入值,求解出的时间消耗不满足要求的问题;另一方面也避免了重复的计算节点间每一条路径的消耗值,不能满足实时的计算要求的问题。本发明中的方法仅计算一组随机目标节点间的实际路径消耗,其他的节点间的消耗可由上面的公式求得,方法简单易行。

[0128] 基于上面获得的机器人执行搜索任务时的时间消耗,结合前面提到的节点的时效性函数,可以求得机器人在搜索到每一个目标节点时,该节点的时效值。

[0129] 基于上述的方法,本发明另外揭示了一种考虑节点时效性的多目标点路径规划装置,包括:地图加载模块400、目标点选择模块401、目标点权重设置模块402、状态显示模块403、操作者监督模块404、节点时效性计算模块405、节点间消耗值数据库406、路线规划模块407、路径生成模块408和机器人控制器409。其中目标点选择模块、目标点权重设置模块、状态显示模块和操作者监督模块位于操作者界面模块410内(各模块连接关系如图4所示)。

[0130] 地图加载模块400,加载机器人执行搜索任务的简易地图,为机器人提供搜索区域的障碍物信息和可行区域信息,为状态显示模块403提供全局地图数据;

[0131] 目标点选择模块401,读取操作者选择的目标点的位置信息,为多个目标节点设定节点号;

[0132] 目标点权重设置模块402,读取操作者设定的不同节点的权重值,并根据目标点选择模块401提供的节点号存储各个节点的权重值;

[0133] 状态显示模块403,在交互界面上显示搜索任务的全局地图,当前机器人的位置信息、路线规划结果、路径生成结果以及各个节点的时效值;

[0134] 操作者监督模块404,根据当前的机器人状态,执行对机器人的初始化连接和遥控操作;

[0135] 节点时效性计算模块405,计算每个目标节点的时效性值,该模块同时接收系统初始化时节点的时效性值和每个节点的时效性衰减速率;

[0136] 节点间消耗值数据库模块406,存储目标点间的路径消耗和时间消耗值。这些数据根据目标点选择模块中的节点位置信息,由路径生成模块计算得到。其中在计算时间消耗值时,各个节点的节点权重由目标点权重设置模块提供,各个节点的时效性值由节点实效性计算模块提供;

[0137] 路线规划模块407,规划通过所有目标点的MOTSP问题,求解满足多个目标函数的路线序列;

[0138] 路径生成模块408,在路线规划模块规划出可执行的路线序列后,该模块规划并生成路线序列中相邻两点之间的路径,路径在考虑总体消耗的同时,应躲避障碍物。

[0139] 尽管本发明是通过上述优选实施方式进行的描述,但是其实现形式并不局限于上述的实施方式。应该认识到,在不脱离本发明主旨的情况下,本领域技术人员可以对本发明做出不同的变化和修改。

[0140] 本发明已经通过上述实施例进行了说明,但应当理解的是,上述实施例只是用于举例和说明的目的,而非意在将本发明限制于所描述的实施例范围内。此外本领域技术人员可以理解的是,本发明并不局限于上述实施例,根据本发明的教导还可以做出更多种的变型和修改,这些变型和修改均落在本发明所要求保护的范围内。本发明的保护范围由附属的权利要求书及其等效范围所界定。

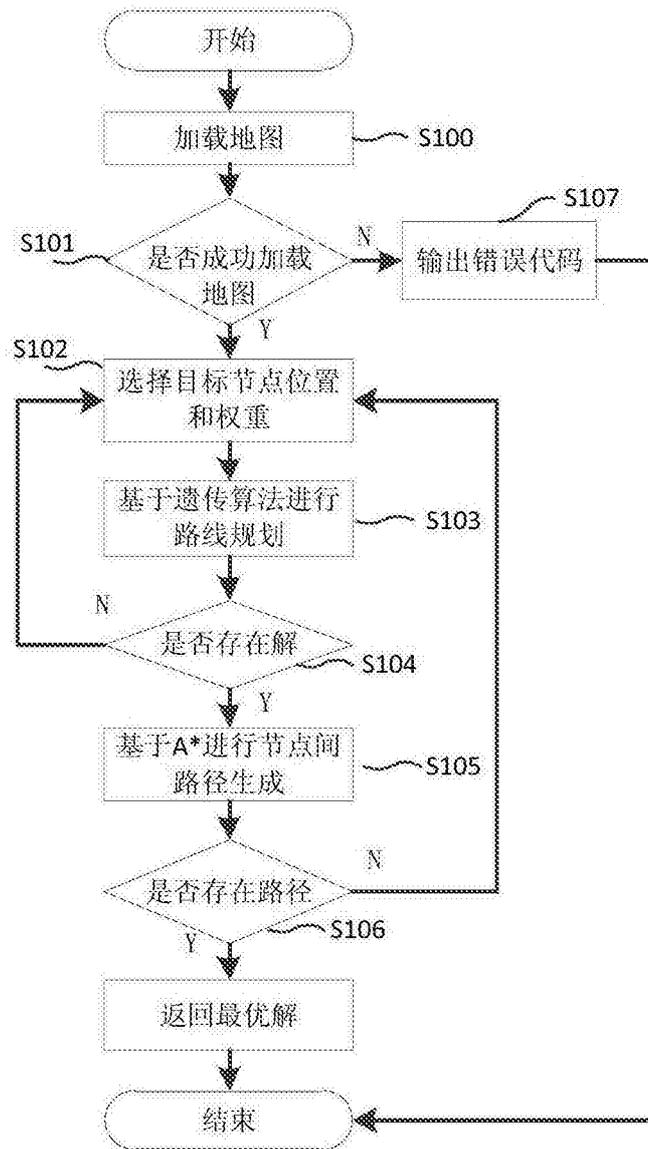


图1

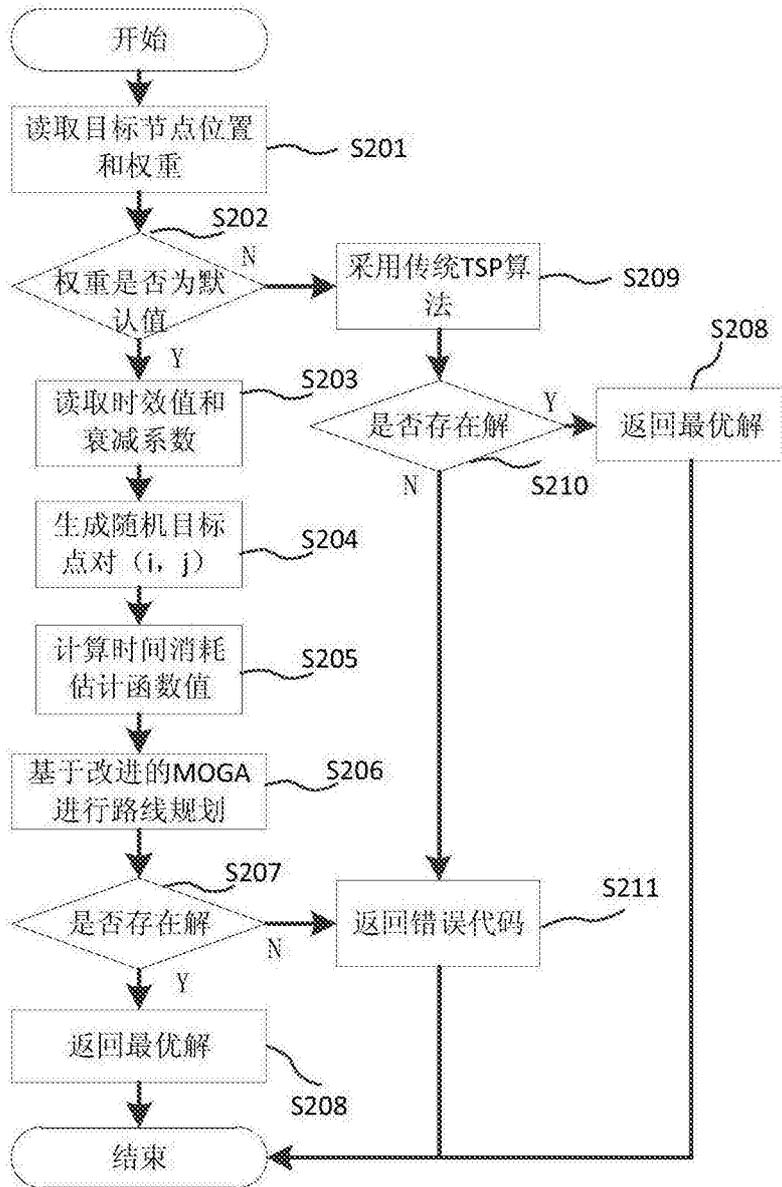


图2

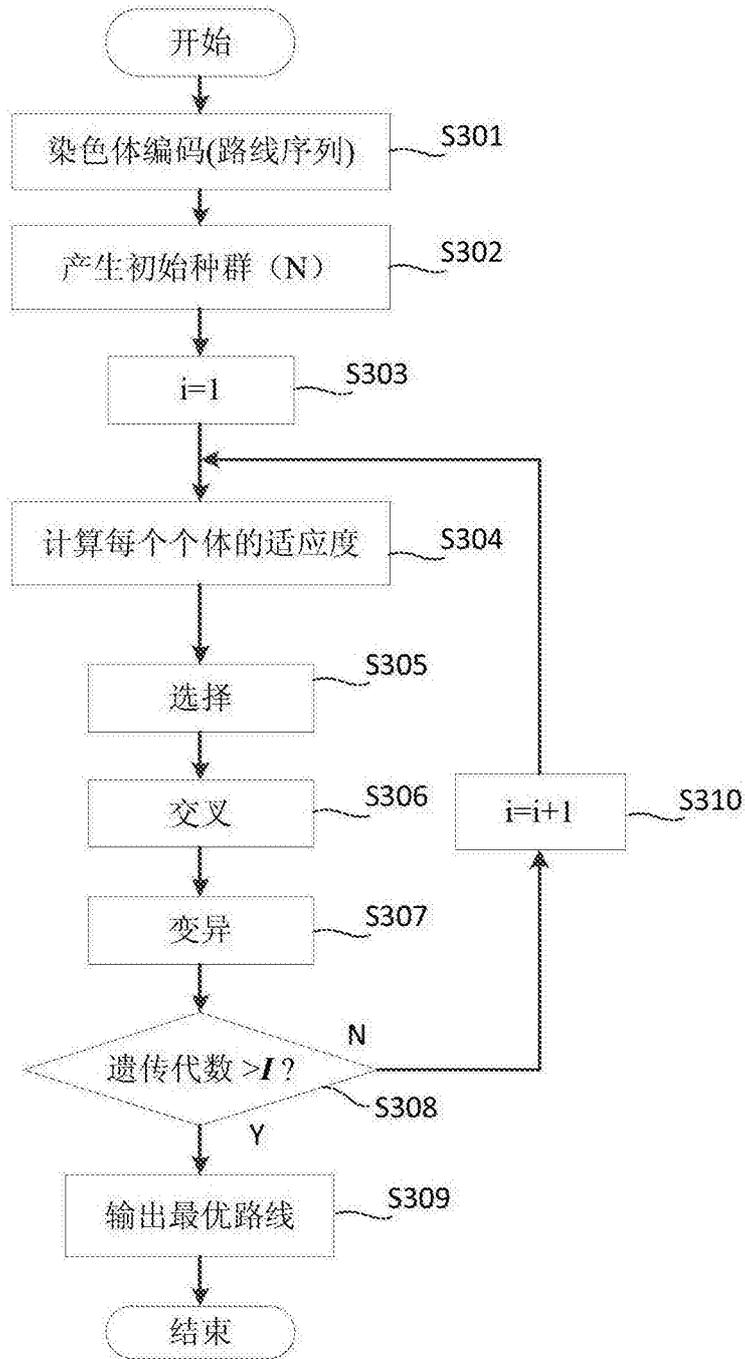


图3

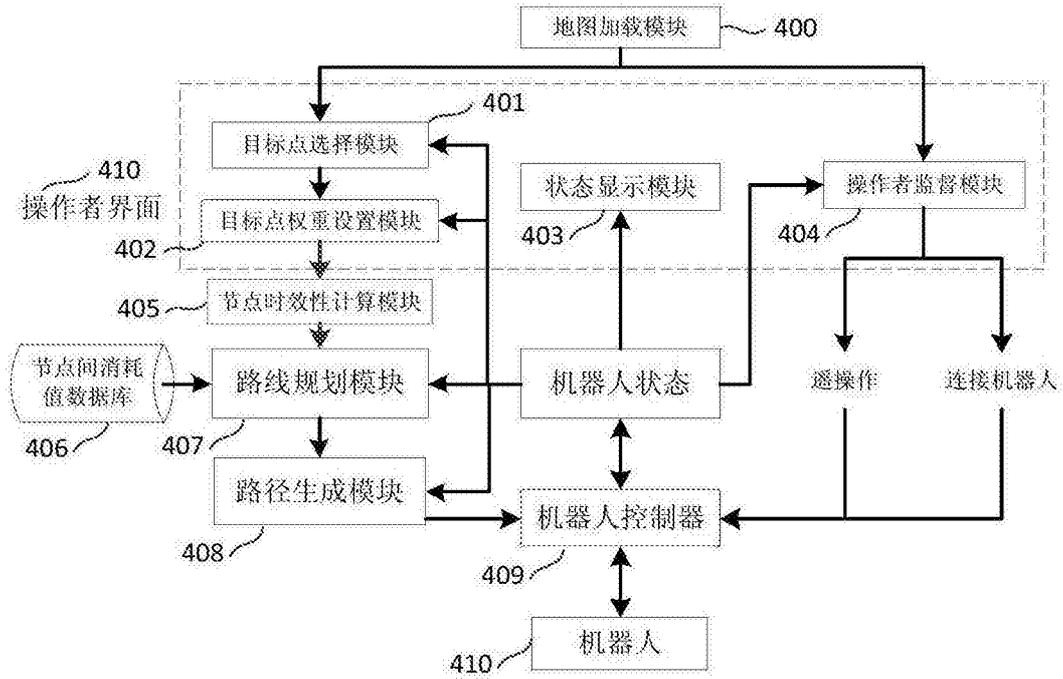


图4

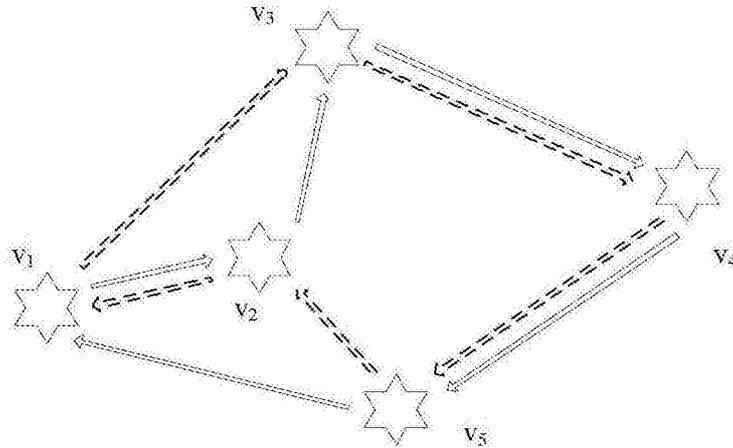


图5