



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103295080 A

(43) 申请公布日 2013. 09. 11

(21) 申请号 201310235123. 9

(22) 申请日 2013. 06. 14

(71) 申请人 西安工业大学

地址 710032 陕西省西安市金花北路 4 号

(72) 发明人 肖秦琨 王戈

(74) 专利代理机构 西安新思维专利商标事务所
有限公司 61114

代理人 黄秦芳

(51) Int. Cl.

G06Q 10/04 (2012. 01)

G06T 17/00 (2006. 01)

G06T 19/00 (2011. 01)

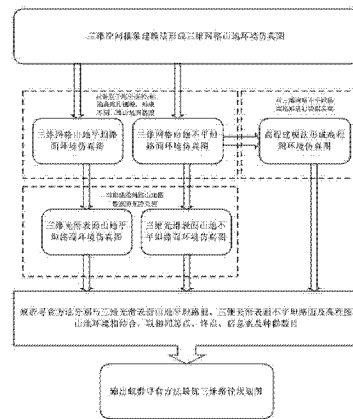
权利要求书3页 说明书6页 附图7页

(54) 发明名称

基于高程图和蚁群寻食的三维路径规划方法

(57) 摘要

本发明属于人工智能机器人技术领域,具体涉及一种基于高程图和蚁群寻食的三维路径规划方法。本发明要克服现有问题中非结构环境中三维环境复杂多变的缺点。基于高程图和蚁群寻食的三维路径规划方法,首先利用抽象建模的方法对三维空间进行三维模型空间的建立,然后将建立的三维空间模型进行表面光滑处理,使所建立的三维地形尽可能的接近真实环境的要求,其次,利用高程建模方法对所建立的三维地形进行相关信息数据等的采集,并建立高程图三维环境;最后将蚁群寻食方法与所建立的高程图环境相结合,实现在高程环境中蚁群寻食方法寻找到最优三维路径,并最终通过仿真图得以证明。



1. 基于高程图和蚁群寻食的三维路径规划方法,其特征在于:该方法包括以下步骤:

(1) 利用抽象建模方法构造三维空间的仿真环境;

(2) 将构造的三维空间进行表面的光滑处理;

(3) 利用高程数学建模方法对已建立的三维地形进行数据采集,并形成高程图的三维空间环境;

(4) 将蚁群寻食方法分别运行在高程图环境和抽象建模三维环境中,得到最优路径。

2. 根据权利要求 1 所述的一种基于高程图和蚁群寻食的三维路径规划方法,其特征在于:所述的实现步骤(1)的具体步骤为:在 matlab 环境下进行三维环境建模,首先把三维地图左下角的顶点作为三维空间的坐标原点 O ,在点 O 中建立三维坐标系,其中, x 轴为沿经度增加的方向, y 轴为沿纬度增加的方向, z 轴为垂直于海平面方向;在该坐标系中以点 O 为顶点,沿 x 轴方向取三维地图的最大长度 ON ,沿 y 轴方向取三维地图的最大长度 OO' ,沿 z 轴方向取三维最大长度 OP ,构造了包含三维地图的立方体区域 $OPMN-O'P'M'N'$,该区域即为三维路径的规划空间。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的一种基于高程图和蚁群寻食方法的三维路径规划方法,其特征在于:所述的实现步骤(2)的具体步骤为:在 matlab 环境中输入以下步骤:

pause(3)

surf1(x1, y1, z)

shading interp

colormap pink

即可将构造的三维空间表面进行光滑处理。

4. 根据权利要求 3 所述的一种基于高程图和蚁群寻食的三维路径规划方法,其特征在于:所述的实现步骤(3)的具体步骤为:

假设三维激光测距系统采集的一组数据为 $w_i = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$, xy 为任一激光点的三维直角坐标,数据对应方差为 $\sigma_i^2 = \{\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_n^2\}$, σ_i^2 为相应激光点的方差,在构建高程图环境之前,将 xy 平面平均划分为多个栅格 C_{ij} , i 和 j 表示栅格编号,并在栅格中存储其周围 8 个栅格的索引,考虑到存储量、噪声敏感度和后续的路径规划,将栅格尺寸设定为约等于机器人最长边长;

把激光点对应到相应的栅格中,在 xy 平面上激光点的分布函数近似为正态分布:

$$w_i(x, y) \approx N(w_i^{xy}, \sigma_i^{xy}) \quad (1)$$

其中, w_i^{xy} 为激光点 x, y 坐标; σ_i^{xy} 为 x 和 y 的方差;

把激光点的有效区域定为 x 和 y 方向 3 倍标准差范围,激光点 i 对周围 8 个栅格都有影响,即这 8 个栅格的参数都与激光点 i 有关,根据二维正态分布公式:

$$\mu_h = \frac{1}{2\pi(3\sigma_x)(3\sigma_y)} e^{-\frac{1}{2} \left[\left(\frac{x_h - x_c}{3\sigma_x} \right)^2 + \left(\frac{y_h - y_c}{3\sigma_y} \right)^2 \right]} \quad (2)$$

计算激光对栅格的影响程度;

设激光点 $H_{c_{ij}} = \frac{1}{S_{\mu}} \sum_{i=1}^n \mu_i z_i$ 为栅格 C_{ij} 的第 h 个点，点 w_i 对栅格

C_{ij} 的影响因子为

$$\begin{aligned} \mu_i &= \int_{x^-}^{x^+} \int_{y^-}^{y^+} w_i(x, y) dx dy \approx \int_{x^-}^{x^+} \int_{y^-}^{y^+} N(p_i^{xy}, \sigma_i^{xy}) dx dy \\ &\approx (x^+ - x^-)(y^+ - y^-) N(p_i^{xy}, \sigma_i^{xy}) \end{aligned} \quad (3)$$

其中， x^+ 、 x^- 、 y^+ 和 y^- 为栅格范围，是常量，所以在计算中取 $\mu \propto N(p_i^{xy}, \sigma_i^{xy})$ ，对栅格 C_{ij} 中每个 μ 进行归一化处理，栅格的高度值为栅格中所有激光点高度的加权平均，即

$$H_{c_{ij}} = \frac{1}{S_{\mu}} \sum_{i=1}^n \mu_i z_i \quad (4)$$

S_{μ} 为栅格中激光点的影响因子之和。

5. 根据权利要求 4 所述的一种基于高程图和蚁群寻食的三维路径规划方法，其特征在于：所述的实现步骤(4)的具体步骤为：

步骤 1：蚂蚁开始搜索，根据蚁群搜索策略：蚂蚁从当前点移动到下一个点时，根据启发函数来计算可视区域内各点的选择概率，启发函数为

$$H(i, j, k) = D(i, j, k)^{w_1} \cdot S(i, j, k)^{w_2} \cdot Q(i, j, k)^{w_3} \quad (5)$$

蚂蚁在平面 Π_i 上的当前点 p_i 选择平面 Π_{i+1} 上下一个点 p_{i+1} ：

$$p(i+1, u, v) = \begin{cases} \frac{\tau_{a+1, u, v} H_{a+1, u, v}}{\sum \tau_{a+1, u, v} H_{a+1, u, v}}, & \text{可行点} \\ 0, & \text{不可行点} \end{cases} \quad (6)$$

其中， $\tau_{a+1, u, v}$ 为平面 Π_{i+1} 上点 $p(i+1, u, v)$ 的信息素值；

步骤 2：信息素更新：在三维环境建模中已经把整个搜索空间离

散为一系列的三维离散点 $w_i = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ ，所述离散点为蚁群寻食方法需要搜索的节点，把信息素储存在模型的离散点中，每个散点都有一个信息素的值，该点信息素的大小代表对蚂蚁的吸引程度，各点信息素在每只蚂蚁经过后进行更新；

所述的的信息素的更新包括局部更新和全局更新两部分，

所述的局部更新是增加蚂蚁搜索未经过点的概率，达到全局搜索的目的，局部信息素更新随着蚂蚁的搜索进行，信息素更新公式为

$$\tau_{ijk} = (1 - \xi) \tau_{ijk} \quad (7)$$

所述的全局更新是指当蚂蚁完成一条路径的搜索时，以该路径的

长度作为评价价值，从路径集合中选择出最短路径，增加最短路径各节点的信息素值，信

息素更新公式如下：

$$\begin{cases} \tau_{ijk} = (1 - \rho)\tau_{ijk} + \rho\Delta\tau_{ijk} \\ \Delta\tau_{ijk} = \frac{K}{\min(\text{length}(m))} \end{cases} \quad (8)$$

当完成全局路径规划后,蚁群就会在路径集合中选择出的最优路径。

基于高程图和蚁群寻食的三维路径规划方法

[0001] 一、技术领域：

本发明属于人工智能机器人技术领域，具体涉及一种基于高程图和蚁群寻食的三维路径规划方法。

[0002] 二、背景技术：

针对无人车的路径规划研究，三维空间路径规划中的建模与避障

的算法成为当下亟待解决的问题。国内的一些高校和研究机构注意到这个领域的巨大潜力，已经开始这方面的研究。“八五”期间研制了 ATB-1 (Autonomous Test Bed-1)，由清华大学、国防科技大学、浙江大学、北京理工大学、南京理工大学联合研制。在 863 专项支持下，清华大学开发了多功能室外智能移动机器人实验平台 (THM R-V)，上海交通大学研制了 211AMCTB 及 Frontier-ITM 移动平台，上海同济大学的“春晖”地面无人车平台，中国一汽和国防科技大学联合研制的红旗 HQ-3 无人车平台。而在国外也有很多机构在无人车方面做了大量的工作并取得了很多科研成果。例如美国陆军 HowlandHowe 公司的“粗齿锯” (Ripsaw-MSI) 无人车平台，美国卡奈基·梅隆大学研制应用于美国海军陆战队“角斗士” (Gladiator) 无人车平台。

[0003] 三、发明内容：

本发明提供一种基于高程图和蚁群寻食的三维路径规划方法，以克服在非结构环境中三维环境复杂多变的缺点。

[0004] 为实现上述目的，本发明采用的技术方案为：基于高程图和蚁群寻食的三维路径规划方法，其特征在于：该方法包括以下步骤：

(1) 利用抽象建模方法构造三维空间的仿真环境；

(2) 将构造的三维空间进行表面的光滑处理；

(3) 利用高程数学建模方法对已建立的三维地形进行数据采集，并形成高程图的三维空间环境；

(4) 将蚁群寻食方法分别运行在高程图环境和抽象建模三维环境中，得到最优路径。

[0005] 所述的实现步骤(1)的具体步骤为：在 matlab 环境下进行三维环境建模，首先把三维地图左下角的顶点作为三维空间的坐标原点 O ，在点 O 中建立三维坐标系，其中， x 轴为沿经度增加的方向， y 轴为沿纬度增加的方向， z 轴为垂直于海平面方向；在该坐标系中以点 O 为顶点，沿 x 轴方向取三维地图的最大长度 ON ，沿 y 轴方向取三维地图的最大长度 OO' ，沿 z 轴方向取三维最大长度 OP ，构造了包含三维地图的立方体区域 $OPMN-O'P'M'N'$ ，该区域即为三维路径的规划空间。

[0006] 所述的实现步骤(2)的具体步骤为：在 matlab 环境中输入以下步骤：

```
pause(3)
```

```
surfl(x1, y1, z)
```

```
shading interp
```

```
colormap pink
```

即可将构造的三维空间表面进行光滑处理。

[0007] 所述的实现步骤(3)的具体步骤为：

假设三维激光测距系统采集的一组数据为 $w_i = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$, xy 为任一激光点的三维直角坐标, 数据对应方差为 $\sigma_i^2 = \{\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_n^2\}$, σ_i^2 为相应激光点的方差, 在构建高程图环境之前, 将 xy 平面平均划分为多个栅格 C_{ij} , i 和 j 表示栅格编号, 并在栅格中存储其周围 8 个栅格的索引, 考虑到存储量、噪声敏感度和后续的路径规划, 将栅格尺寸设定为约等于机器人最长边长；

把激光点对应到相应的栅格中, 在 xy 平面上激光点的分布函数近似为正态分布：

$$w_i(x, y) \approx N(w_i^{xy}, \sigma_i^{xy}) \quad (1)$$

其中, w_i^{xy} 为激光点 x, y 坐标; σ_i^{xy} 为 x 和 y 的方差；

把激光点的有效区域定为 x 和 y 方向 3 倍标准差范围, 激光点 i 对周围 8 个栅格都有影响, 即这 8 个栅格的参数都与激光点 i 有关, 根据二维正态分布公式：

$$\mu_h = \frac{1}{2\pi(3\sigma_x)(3\sigma_y)} e^{-\frac{1}{2} \left[\left(\frac{x_h - x_c}{3\sigma_x} \right)^2 + \left(\frac{y_h - y_c}{3\sigma_y} \right)^2 \right]} \quad (2)$$

计算激光对栅格的影响程度；

设激光点 $H_{c_{ij}} = \frac{1}{S_\mu} \sum_{i=1}^n \mu_i z_i$ 为栅格 C_{ij} 的第 h 个点, 点 w_i 对栅格

C_{ij} 的影响因子为

$$\begin{aligned} \mu_i &= \int_{x^-}^{x^+} \int_{y^-}^{y^+} w_i(x, y) dx dy \approx \int_{x^-}^{x^+} \int_{y^-}^{y^+} N(p_i^{xy}, \sigma_i^{xy}) dx dy \\ &\approx (x^+ - x^-)(y^+ - y^-) N(p_i^{xy}, \sigma_i^{xy}) \end{aligned} \quad (3)$$

其中, x^+, x^-, y^+ 和 y^- 为栅格范围, 是常量, 所以在计算中取 $\mu \propto N(p_i^{xy}, \sigma_i^{xy})$, 对栅格 C_{ij} 中每个 μ 进行规一化处理, 栅格的高度值为栅格中所有激光点高度的加权平均, 即

$$H_{c_{ij}} = \frac{1}{S_\mu} \sum_{i=1}^n \mu_i z_i \quad (4)$$

S_μ 为栅格中激光点的影响因子之和。

[0008] 所述的实现步骤(4)的具体步骤为：

步骤 1: 蚂蚁开始搜索, 根据蚁群搜索策略: 蚂蚁从当前点移动到下一个点时, 根据启发函数来计算可视区域内各点的选择概率, 启发函数为

$$H(i, j, k) = D(i, j, k)^{w_1} \cdot S(i, j, k)^{w_2} \cdot Q(i, j, k)^{w_3} \quad (5)$$

蚂蚁在平面 Π_i 上的当前点 p_i 选择平面 Π_{i+1} 上下一个点 p_{i+1} ：

$$p(i+1, u, v) = \begin{cases} \frac{\tau_{a+1, u, v} H_{a+1, u, v}}{\sum \tau_{a+1, u, v} H_{a+1, u, v}}, & \text{可行点} \\ 0, & \text{不可行点} \end{cases} \quad (6)$$

其中, $\tau_{a+1, u, v}$ 为平面 Π_{i+1} 上点 $p(i+1, u, v)$ 的信息素值;

步骤 2: 信息素更新: 在三维环境建模中已经把整个搜索空间离散为一系列的三维离散点 $w_i = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$, 所述离散点为蚁群寻食方法需要搜索的节点, 把信息素储存在模型的离散点中, 每个散点都有一个信息素的值, 该点信息素的大小代表对蚂蚁的吸引程度, 各点信息素在每只蚂蚁经过后进行更新;

所述的的信息素的更新包括局部更新和全局更新两部分,

所述的局部更新是增加蚂蚁搜索未经过点的概率, 达到全局搜索的目的, 局部信息素更新随着蚂蚁的搜索进行, 信息素更新公式为

$$\tau_{ijk} = (1 - \xi) \tau_{ijk} \quad (7)$$

所述的全局更新是指当蚂蚁完成一条路径的搜索时, 以该路径的长度作为评价值, 从路径集合中选择出最短路径, 增加最短路径各节点的信息素值, 信息素更新公式如下:

$$\begin{cases} \tau_{ijk} = (1 - \rho) \tau_{ijk} + \rho \Delta \tau_{ijk} \\ \Delta \tau_{ijk} = \frac{K}{\min(\text{length}(m))} \end{cases} \quad (8)$$

当完成全局路径规划后, 蚁群就会在路径集合中选择出的最优路径。

[0009] 与现有技术相比, 本发明具有的优点和效果如下:

1、相比与一般的建模方法, 可以在不同的三维空间路径环境中更快的找到最优路径。

[0010] 2、可以将复杂的三维环境进行降维处理, 显著降低数据存储空间并提高运算速度。

[0011] 四、附图说明:

图 1 为本发明方法总体流程图;

图 2 为本发明三维山地平坦路面模型图;

图 3 为本发明三维山地不平坦路面模型图;

图 4 为本发明三维山地平坦路面表面光滑处理图;

图 5 为本发明三维山地不平坦路面表面光滑处理图;

图 6 为本发明三维山地高程图的左视图;

图 7 为本发明三维山地高程图的俯瞰图;

图 8 为本发明蚁群寻食方法在三维山地平坦路面的路径规划图;

图 9 为本发明蚁群寻食方法在三维山地不平坦路面的路径规划图;

图 10 为本发明蚁群寻食方法在高程图环境中的路径规划左视图;

图 11 为本发明蚁群寻食方法在高程图环境中的路径规划俯瞰图；

五、具体实施方式：

下面结合附图和具体实施方式对本发明进行详细说明：

本发明基于高程图和蚁群寻食的三维路径规划方法包括以下步骤：

1、利用抽象建模方法构造三维空间的仿真环境，(平坦路面与不平坦路面)

基于实验的要求，在 matlab 环境下上进行三维环境建模，首先把三维地图左下角的顶点作为三维空间的坐标原点 O ，在点 O 中建立三维坐标系，其中， x 轴为沿经度增加的方向， y 轴为沿纬度增加的方向， z 轴为垂直于海平面方向。在该坐标系中以点 O 为顶点，沿 x 轴方向取三维地图的最大长度 ON ，沿 y 轴方向取三维地图的最大长度 OO' ，沿 z 轴方向取三维最大长度 OP ，这样就构造了包含三维地图的立方体区域 $OPMN-O'P'M'N'$ ，该区域即为三维路径的规划空间。建立一个区域跨度为 $20\text{km} \times 20\text{km}$ 进行仿真建模，取该区域内最低点 O 为海平面高度，在 600m 取为海拔高度即这一区域内的主要陆地平面高度，其他点高度根据和最低点高度差依次取得，形成的仿真三维山地环境，参见图 3。我们将以上所建立的区域跨度及区域内所设置的海平面高度点及主要陆地平面点保持不变，在 x 轴方向 $5\text{km} \sim 9\text{km}$ 范围内将 z 轴垂直于海平面高度改为 600m ，在 y 轴方向 $3\text{km} \sim 19\text{km}$ 范围内将 z 轴垂直于海平面高度改为 600m ，利用抽象建模形成一条平坦路面，参见图 2。

[0012] 2、将构造的三维空间进行表面的光滑处理；(平坦路面与不平坦路面)

在具体的 matlab 环境中输入以下步骤：

```
pause(3)
surfl(x1,y1,z)
shading interp
colormap pink
```

即对已建立的三维山地平坦路面和不平坦路面网格环境图进行表面光滑处理，参加图 4、图 5。

3、利用高程数学建模方法对已建立的三维地形进行数据采集，并形成高程图的三维空间环境，参见图 6 和图 7；

假设三维激光测距系统采集的一组数据为 $w_i = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ ， xy 为任一激光点的三维直角坐标，数据对应方差为 $\sigma_i^2 = \{\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_n^2\}$ ， σ_i^2 为相应激光点的方差，在构建高程图环境之前，将 xy 平面平均划分为多个栅格 C_{ij} ， i 和 j 表示栅格编号，并在栅格中存储了其周围 8 个栅格的索引。考虑到存储量、噪声敏感度和后续的路径规划，将栅格尺寸设定为约等于机器人最长边长。

[0013] 把激光点对应到相应的栅格中，在 xy 平面上激光点的分布函数近似为正态分布：

$$w_i(x, y) \approx N(w_i^{xy}, \sigma_i^{xy}) \quad (1)$$

其中， w_i^{xy} 为激光点 x, y 坐标； σ_i^{xy} 为 x 和 y 的方差。

[0014] 把激光点的有效区域定为 x 和 y 方向 3 倍标准差范围，激光点 i 对周围 8 个栅格都有影响，即这 8 个栅格的参数都与激光点 i 有关，根据二维正态分布公式：

$$\mu_h = \frac{1}{2\pi(3\sigma_x)(3\sigma_y)} e^{-\frac{1}{2}\left[\left(\frac{x_h-x_c}{3\sigma_x}\right)^2 + \left(\frac{y_h-y_c}{3\sigma_y}\right)^2\right]} \quad (2)$$

计算激光对栅格的影响程度。

[0015] 设激光点 $H_{c_{ij}} = \frac{1}{S_\mu} \sum_{i=1}^n \mu_i z_i$ 为栅格 C_{ij} 的第 h 个点，点 w_i 对栅格 C_{ij} 的影响

因子为

$$\begin{aligned} \mu_i &= \int_{x^-}^{x^+} \int_{y^-}^{y^+} w_i(x, y) dx dy \approx \int_{x^-}^{x^+} \int_{y^-}^{y^+} N(p_i^{xy}, \sigma_i^{xy}) dx dy \quad (3) \\ &\approx (x^+ - x^-)(y^+ - y^-) N(p_i^{xy}, \sigma_i^{xy}) \end{aligned}$$

其中， x^+ 、 x^- 、 y^+ 和 y^- 为栅格范围，是常量，所以在计算中取 $\mu \propto N(p_i^{xy}, \sigma_i^{xy})$ ，对栅格 C_{ij} 中每个 μ 进行规一化处理，栅格的高度值为栅格中所有激光点高度的加权平均，即

$$H_{c_{ij}} = \frac{1}{S_\mu} \sum_{i=1}^n \mu_i z_i \quad (4)$$

S_μ 为栅格中激光点的影响因子之和。

[0016] 我们对所建立的平坦路面的三维山地环境，参见图 3 进行数

据采集，按照以上步骤，最后形成高程图环境三维山地图，参见图 6、图 7。

[0017] 4、将蚁群寻食方法分别运行在高程图环境和抽象建模三维环境中，并显示出最优路径；参见图 8、图 9、图 10、图 11；

步骤 1：蚂蚁开始搜索，根据蚁群搜索策略：蚂蚁从当前点移动

到下一个点时，根据启发函数来计算可视区域内各点的选择概率，启发函数为

$$H(i, j, k) = D(i, j, k)^{w_1} \cdot S(i, j, k)^{w_2} \cdot Q(i, j, k)^{w_3} \quad (5)$$

蚂蚁在平面 Π_i 上的当前点 p_i 选择平面 Π_{i+1} 上下一个点 p_{i+1} ：

$$p(i+1, u, v) = \begin{cases} \frac{\tau_{a+1, u, v} H_{a+1, u, v}}{\sum \tau_{a+1, u, v} H_{a+1, u, v}}, & \text{可行点} \\ 0, & \text{不可行点} \end{cases} \quad (6)$$

其中， $\tau_{a+1, u, v}$ 为平面 Π_{i+1} 上点 $p(i+1, u, v)$ 的信息素值。

[0018] 步骤 2：信息素更新：在三维环境建模中已经把整个搜索空间离

散为一系列的三维离散点 $w_i = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ ，这些离散点为蚁群寻食方法需要搜索的节点。因此，把信息素储存在模型的离散点中，每个散点都有一个信息素的值，该点信息素的大小代表对蚂蚁的吸引程度，各点信息素在每只蚂蚁经过后进行更新；

信息素的更新包括局部更新和全局更新两部分，局部更新的目的是增加蚂蚁搜索未过点的概率，达到全局搜索的目的。局部信息素更新随着蚂蚁的搜索进行，信息素更新公式为

$$\tau_{ijk} = (1 - \xi) \tau_{ijk} \tag{7}$$

全局更新是指当蚂蚁完成一条路径的搜索时，以该路径的长度作为评价价值，从路径集合中选择出最短路径，增加最短路径各节点的信息素值，信息素更新公式如下：

$$\begin{cases} \tau_{ijk} = (1 - \rho)\tau_{ijk} + \rho\Delta\tau_{ijk} \\ \Delta\tau_{ijk} = \frac{K}{\min(\text{length}(m))} \end{cases} \tag{8}$$

当完成全局路径规划后，蚁群就会在路径集合中选择出的最优路

径。

不同环境中 Elapsed time (s)	高程图	平坦路面	不平坦路面
信息素系数 与种群数量 信息素, $\rho = 0.9$ 种群数目 PopNumber=10	6.044438	6.146206	9.895059
信息素, $\rho = 0.7$ 种群数目 PopNumber=35	20.892370	20.921832	23.863909
信息素 $\rho = 0.5$, 种群数目 PopNumber=60	35.262469	35.391268	38.409478

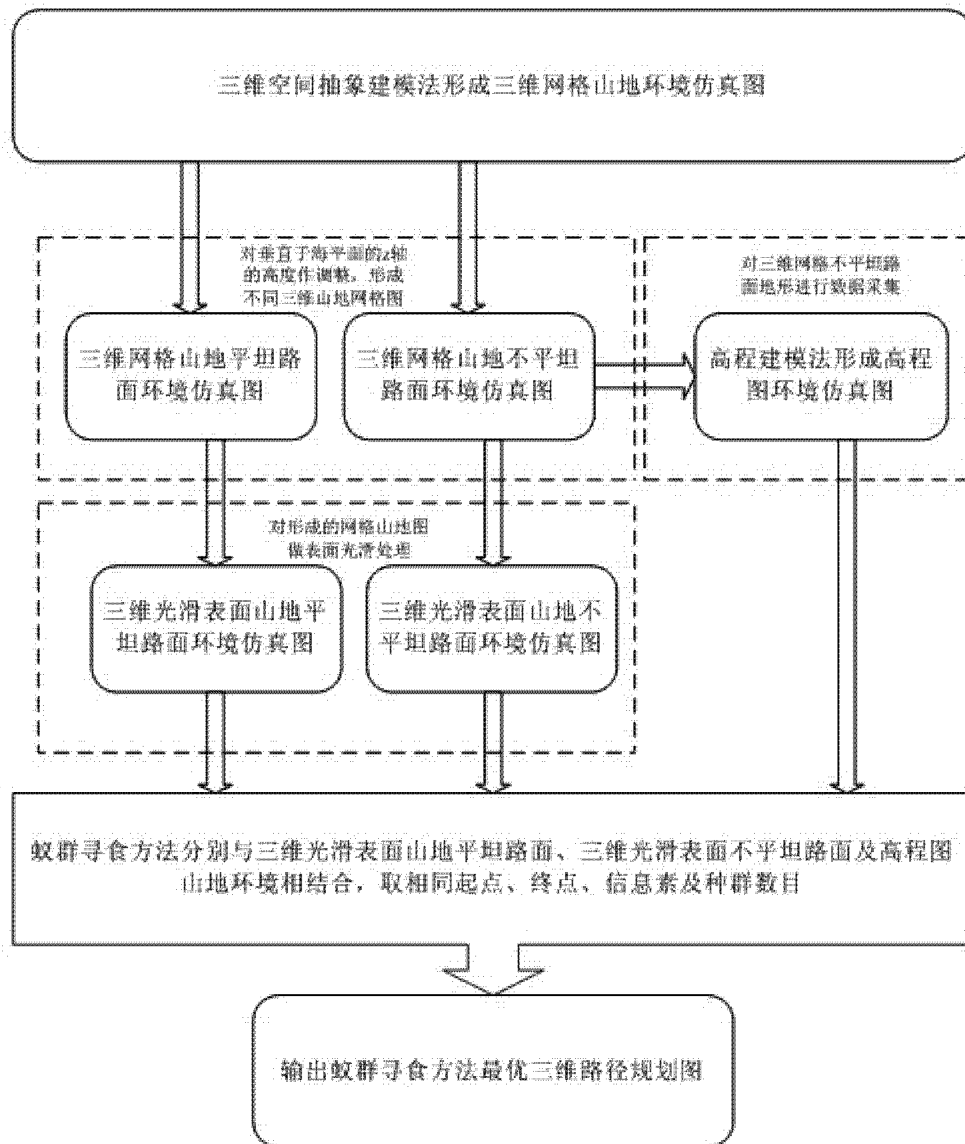


图 1

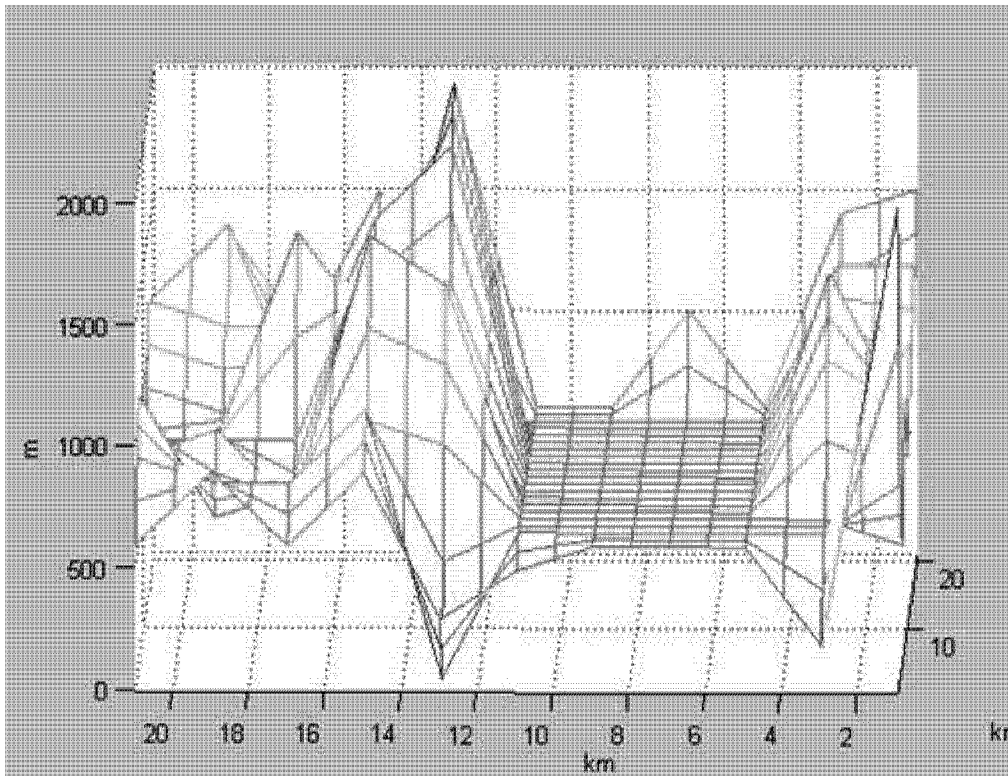


图 2

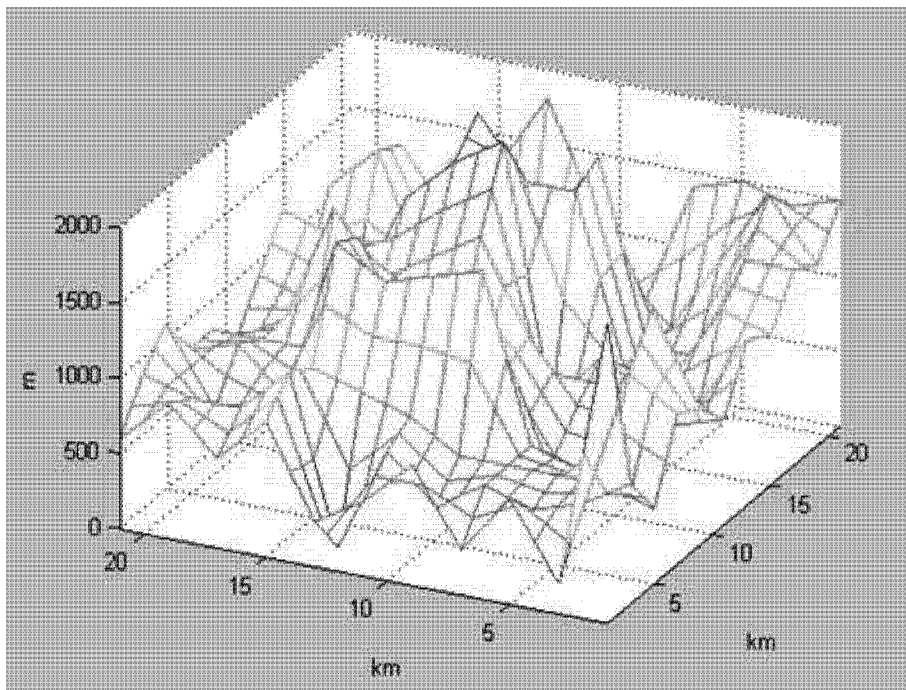


图 3

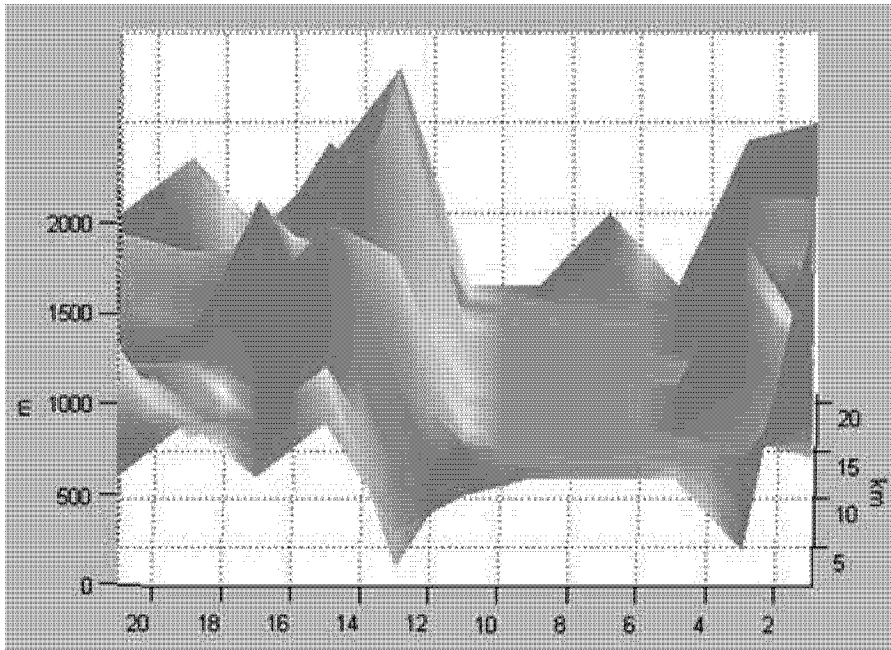


图 4

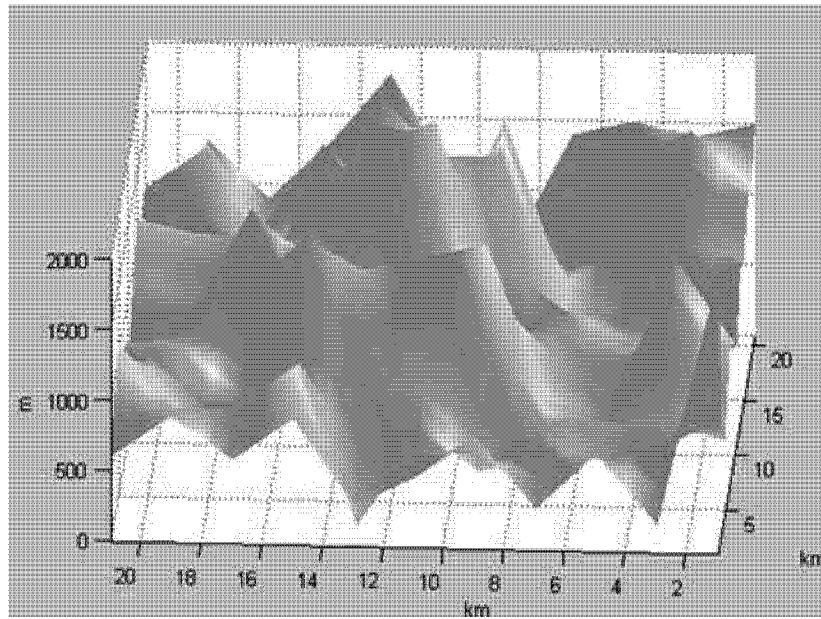


图 5

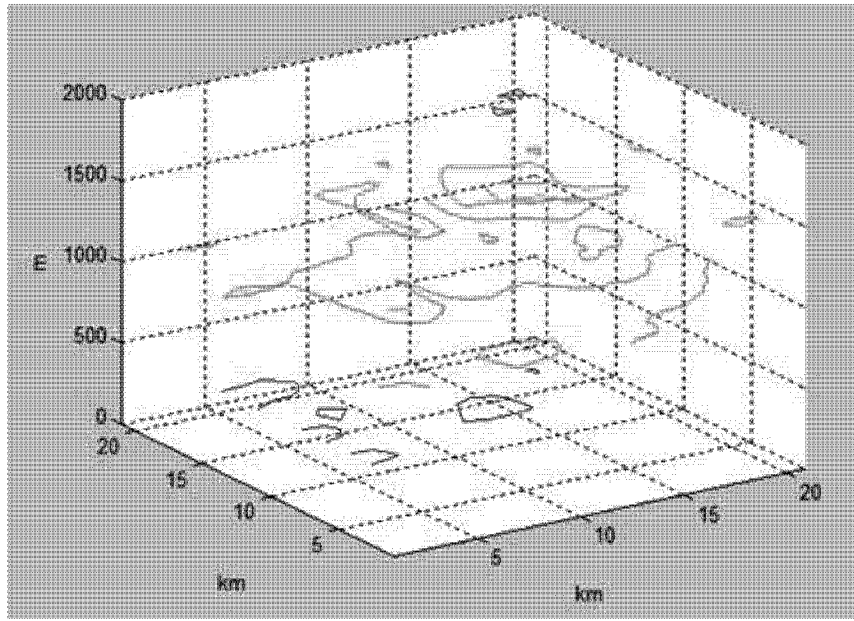


图 6

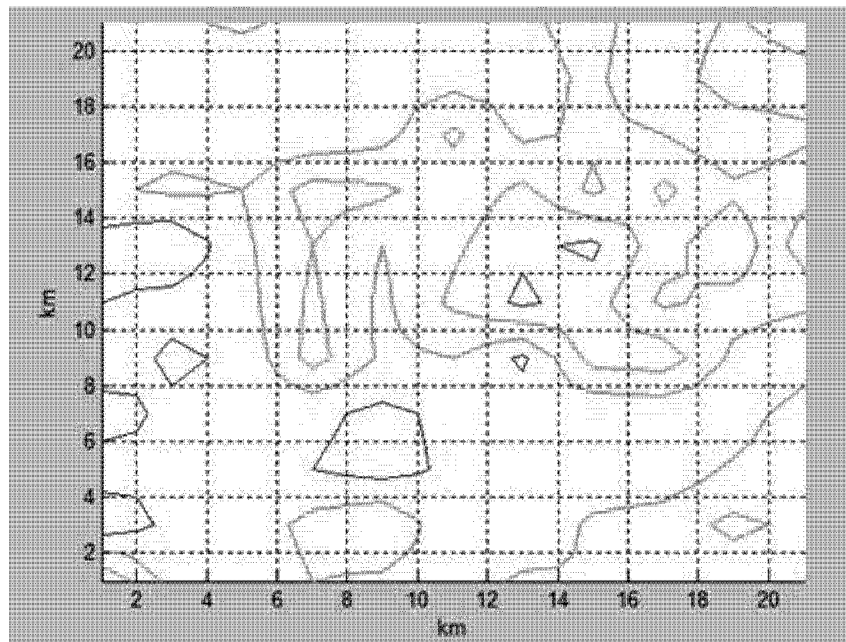


图 7

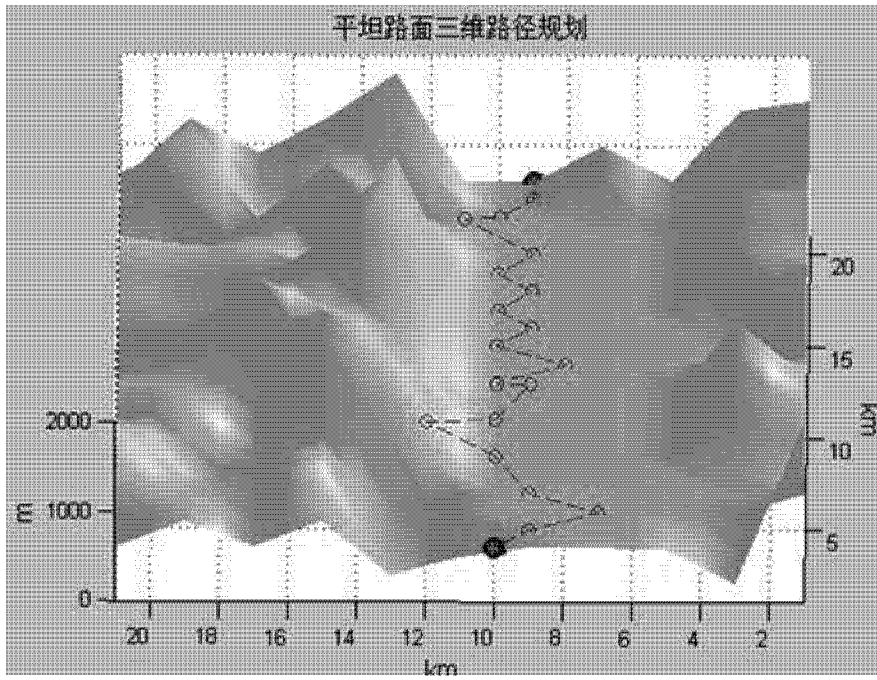


图 8

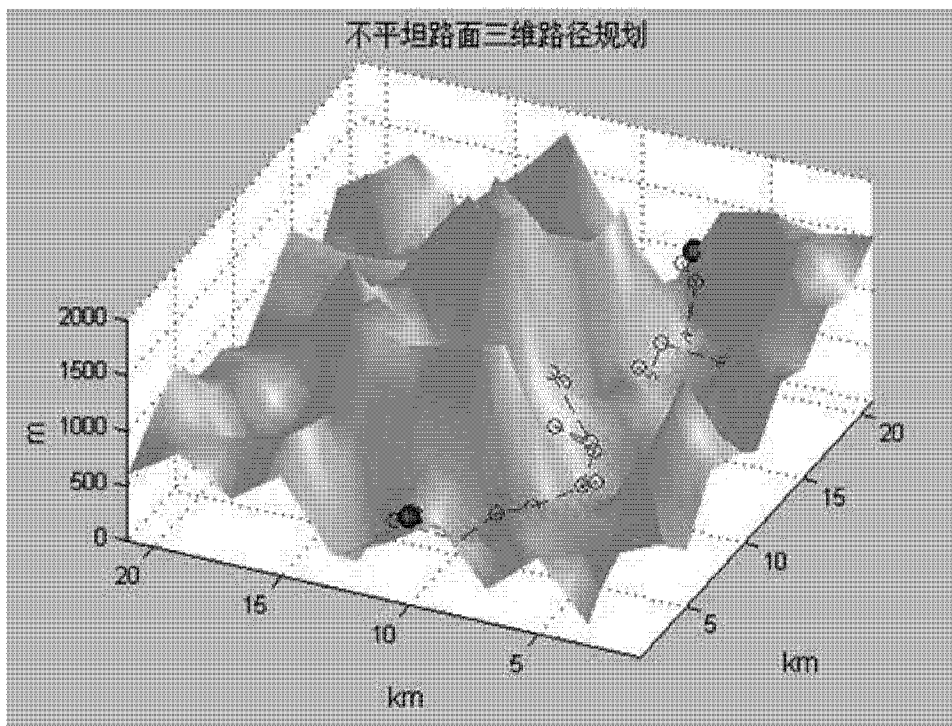


图 9

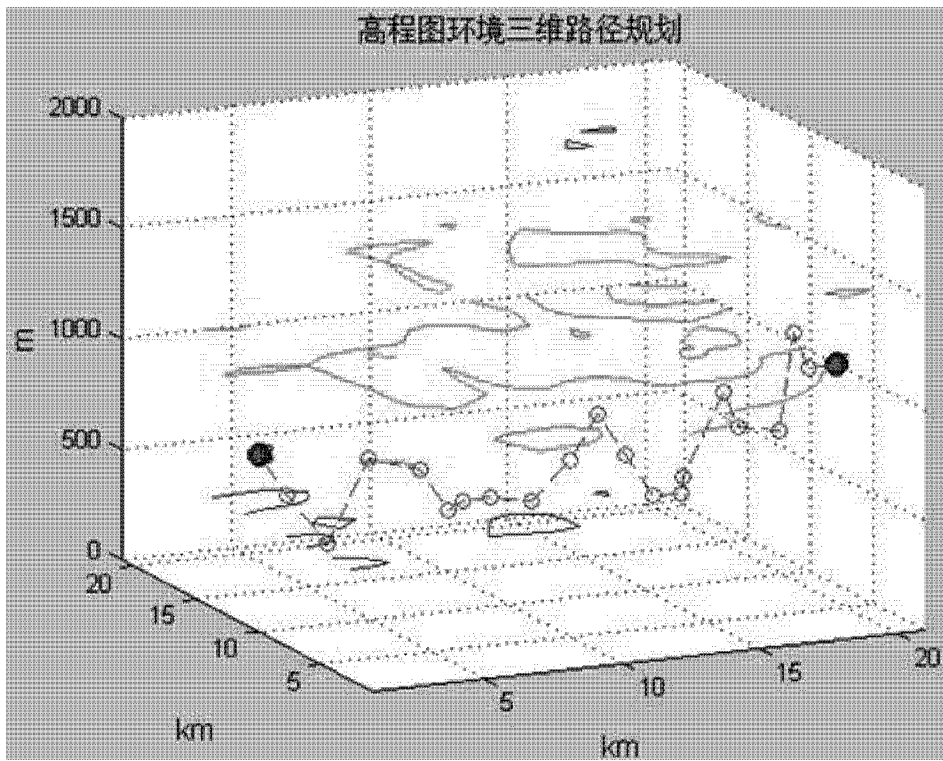


图 10

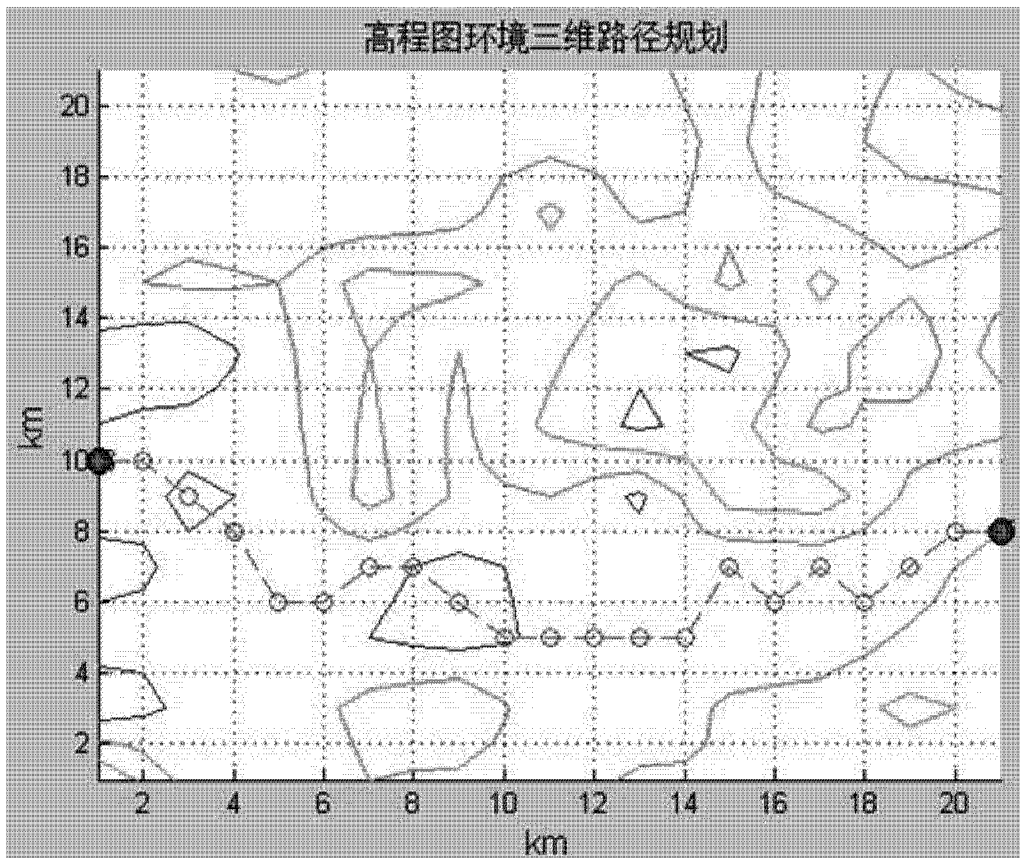


图 11