



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112506230 B

(45) 授权公告日 2021.09.10

(21) 申请号 202011302644.8

(22) 申请日 2020.11.19

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 112506230 A

(43) 申请公布日 2021.03.16

(73) 专利权人 西安电子科技大学  
地址 710071 陕西省西安市太白南路2号

(72) 发明人 孙伟 和大为 石磊

(74) 专利代理机构 陕西电子工业专利中心  
61205

代理人 侯琼 王喜媛

(51) Int. Cl.  
G05D 1/12 (2006.01)

(56) 对比文件  
CN 110427046 A, 2019.11.08  
US 2015284010 A1, 2015.10.08  
CN 112423286 A, 2021.02.26

袁昕. 面向机群通信的无线网络性能分析. 《中国优秀博硕士学位论文全文数据库(博士) 工程技术II辑》. 2021,  
魏文文. 群移动场景下的移动性模型的研究.

究. 《中国优秀博硕士学位论文全文数据库(硕士) 信息科技辑》. 2013,

杨成恩, 徐家品. 稀疏车辆Ad Hoc 网络移动模型研究. 《通信技术》. 2011,

Wei Wang, Xiaohong Guan, Beizhan Wang, Yaping Wang. A novel mobility model based on semi-random circular movement in mobile ad hoc networks. 《Information Sciences》. 2009,

Dawei He, Wei Sun, Lei Shi. The Realistic 3D Group Mobility Model Based on Spiral Line for Aerial Backbone Network. 《IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY》. 2021,

Dawei He, Wei Sun, Lei Shi. The Novel Mobility Models Based on Spiral Line for Aerial Backbone Networks. 《IEEE Access》. 2020,

Dawei He, Wei Sun, Lei Shi. The Authentic 3D Mobility Model Based on Spiral Line for Aerial Backbone Network. 《IEEE Access》. 2020,

审查员 常玉洁

权利要求书2页 说明书5页 附图3页

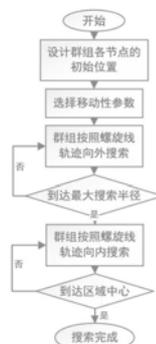
(54) 发明名称

基于螺旋线的群组移动性模型构建方法

(57) 摘要

本发明提出了一种基于螺旋线的群组移动性模型构建方法,用于解决现有模型在搜索和救援场景中存在的轨迹不平滑和飞行节点碰撞的问题。其方案包括:1)设计群组中每个节点的初始位置;2)选择相应的移动性参数,使得群组中每个节点在飞行中保持移动特性一致;3)群组中每个节点按照各自的螺旋线轨迹向外搜索,直到到达最大搜索半径;4)每个节点按照各自的螺旋线轨迹向区域中心搜索,从而完成对整个灾区的完全覆盖。本发明在保证飞行轨迹平滑性的同时,实现了对整个灾区的快速且全面地搜索;此

外,本发明可以保证整个群组在飞行中不会发生节点碰撞;可用于对灾难场景中受害者的搜救任务,并向其提供临时空中基站。



CN 112506230 B

1. 一种基于螺旋线的群组移动性模型构建方法,其特征在于,包括如下步骤:

(1) 以环形星座图的方式设置空中群组内每个无人机节点的初始位置,其实现步骤如下:

(1.1) 将救援目标区域的搜索中心作为原点,以任一方向及其垂直方向作为横纵坐标轴,建立二维坐标系;

(1.2) 根据空中群组内无人机节点的总数量,将其随机划分为N个部分,N为大于1的正整数;

(1.3) 将第一部分的无人机节点,按照相同圆心角有序地放置在二维坐标系中以原点为中心的一个圆环上;

(1.4) 选择以原点为中心、半径大于上一部分无人机节点所在圆环半径的同心圆环,将群组内第二部分的无人机节点按照相同圆心角有序放置在该圆环上;

(1.5) 采用步骤(1.4)的放置方式,继续依次放置其余各部分无人机节点,直到群组中N个部分的无人机节点全部被放置在与之相应的N个同心圆环上,得到由同心圆环和无人机节点在坐标系中构成的环形星座图;

(1.6) 完成各个无人机节点初始位置的设置;

(2) 按照统计分布特征随机选择节点的移动性参数,使得空中群组中各节点在每步运动中均保持相同长度的弧长轨迹;

(3) 空中群组中每个节点按照各自螺旋线的扩展轨迹向外搜索,直到到达目标救援区域的边界;

(4) 到达目标救援区域边界后,空中群组中每个节点按照各自螺旋线的收缩轨迹向目标救援区域中心搜索,直到到达中心位置;

(5) 获取空中群组中各个节点的搜索轨迹,完成移动性模型的建立;利用该模型实现对整个目标区域的全覆盖。

2. 根据权利要求1所述方法,其特征在于:步骤(1.5)所述N个同心圆环中相邻两个圆环之间的距离,大于或等于其上无人机节点运行的最小安全距离。

3. 根据权利要求1所述方法,其特征在于:步骤(2)中的移动性参数包括角速度、移动间隔和暂停间隔,其中角速度是在给定范围内均匀分布,移动间隔和暂停间隔均为给定系数的指数分布。

4. 根据权利要求1所述方法,其特征在于:步骤(3)中每个节点按照各自螺旋线的扩展轨迹向外搜索,具体按照如下步骤实现:

(3.1) 令空中群组中的一个节点为标准节点,根据下式计算该节点的向外搜索轨迹坐标 $(X_1, Y_1)$ :

$$X_1 = I_{spiral} \times \cos(\varphi)$$

$$Y_1 = I_{spiral} \times \sin(\varphi) ,$$

其中, $I_{spiral}$ 表示螺旋线系数, $\varphi$ 表示螺旋线弧度;令初始弧度为 $\varphi_0$ 、螺旋线螺距为 $B_0$ ,则:

$$\varphi = \varphi_0 + \Delta\varphi$$

$$I_{spiral} = B_0 \times \varphi$$

其中,弧度变化量 $\Delta\varphi = W_\varphi \times T_{move}$ ;  $W_\varphi$ 为角速度,  $T_{move}$ 为移动间隔;

(3.2) 根据与标准节点的相对角度,即旋转角度 $\theta$ ,空中群组中的其它节点按照下式得到其向外搜索轨迹坐标 $(X'_1, Y'_1)$ :

$$\begin{bmatrix} X'_1 \\ Y'_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \end{bmatrix};$$

(3.3) 空中群组中每个节点按照各自的向外搜索轨迹坐标移动,实现搜索。

5. 根据权利要求1所述方法,其特征在于:步骤(4)中每个节点按照各自螺旋线的收缩轨迹向目标区域中心搜索,具体按照如下步骤实现:

(4.1) 令空中群组中的一个节点为标准节点,根据下式计算该节点的向内搜索轨迹坐标 $(X_2, Y_2)$ :

$$X_2 = I_{spiral} \times \cos(-\varphi)$$

$$Y_2 = I_{spiral} \times \sin(-\varphi),$$

其中,  $I_{spiral}$ 表示螺旋线系数,  $\varphi$ 表示螺旋线弧度;令初始弧度为 $\varphi_0$ 、螺旋线螺距为 $B_0$ ,则:

$$\varphi = \varphi_0 - \Delta\varphi$$

$$I_{spiral} = B_0 \times (-\varphi)$$

其中,弧度变化量 $\Delta\varphi = W_\varphi \times T_{move}$ ;  $W_\varphi$ 为角速度,  $T_{move}$ 为移动间隔;

(4.2) 根据与标准节点的相对角度,即旋转角度 $\theta$ ,空中群组中的其它节点按照下式得到其向内搜索轨迹坐标 $(X'_2, Y'_2)$ :

$$\begin{bmatrix} X'_2 \\ Y'_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \end{bmatrix};$$

(4.3) 空中群组中每个节点按照各自的向内搜索轨迹坐标移动,实现搜索。

## 基于螺旋线的群组移动性模型构建方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于移动控制领域,涉及一种空中群组移动性模型,具体为一种基于螺旋线的群组移动性模型构建方法,可用于对灾难场景中的受害者进行搜索和救援,并向区域中受害者提供临时的空中基站。

### 背景技术

[0002] 空中群组移动性模型的主要任务是准确的模拟空中群组的移动性特征,对空中群组中每个节点的实时位置进行控制。对空中群组移动性模型的评价主要基于两点,一是生成群组轨迹的整体平滑性,二是群组内的每个节点在飞行中不能发生碰撞。群组轨迹的整体平滑性主要受空气动力学和机械限制的影响,另外,群组碰撞避免能力主要取决于群组中每个空中节点的实时相对位置。根据目标群组的特征不同,群组移动性模型可分为随机群组移动性模型和空中群组移动性模型。由于空中群组移动性模型能够对空中群组内的每个节点进行准确地模拟,因此,空中群组移动性模型相比于随机群组移动性模型有更高的精确度。通过监视群组内每个节点的实时位置,空中群组移动性模型可以保证在飞行中群组内的每个节点不会与其他节点发生碰撞,从而大大提高了搜救效率。如何更好的将碰撞避免技术与空中群组移动性模型进行融合成为提升对灾区快速覆盖的关键。

[0003] 在2013年发表于“iMac4s”会议上,名称为“Performance evaluation of MANET routing protocols under RPGM model by varying transmission range”的文献,公开了一种基于随机参考点的随机群组移动性模型RPGM。该方法实现的具体步骤是,(1)在整个区域中随机选择群组内每个节点的参考点;(2)每个节点根据统计分布特征随机选择各自的移动性参数;(3)群组内每个节点在各自的参考点附近做随机运动;该发明能够在给定场景中随机参考点附近的特定区域进行有效地覆盖。其存在的不足之处是,第一,群组内每个节点可能会出现尖锐的运动方向变化,从而导致了整个轨迹的不平滑。第二,由于运动随机性,群组内的每个节点可能会在运动中与其他节点发生碰撞。

[0004] 在2020年发表于《IEEE ACCESS》期刊中,名称为“The Novel Mobility Models Based on Spiral Line for Aerial Backbone Networks”的文献,公开了一种基于螺旋线的空中移动性模型SLMM,通过选择节点的运行速度和时间间隔,然后令节点按照运动参数在螺旋线轨道上运动;这种基于螺旋线的移动策略能够保证无人机在一定的巡航高度上对灾区中的目标区域进行快速搜索,且轨迹平滑。同年,在该期刊中还发表了名称为“The Authentic 3D Mobility Model Based on Spiral Line for Aerial Backbone Network”的一篇文献,公开了一种基于螺旋线的3D空中移动性模型3D-SLMM,通过选择节点的运行速度和时间间隔,然后令节点按照运动参数在三维的螺旋线轨道上运动;也是基于螺旋线的移动策略,能够真实地模拟在无人机节点的起飞和对灾区中目标区域的搜索过程,且整个飞行轨迹平滑。然而,这两种方法均存在以下不足:第一,由于相同的螺旋线轨迹,当群组内后面的节点运动超过前面节点时,可能会发生碰撞;第二,无法发挥空中群组的独特优势,去进一步缩短整个搜索任务的时间。

## 发明内容

[0005] 本发明的目的是针对上述现有技术的不足,提出一种基于螺旋线的群组移动性模型SLGM(the group mobility model of spiral line)构建方法,用于解决现有技术中存在的轨迹不平滑和节点发生碰撞的技术问题。

[0006] 为实现上述目的,本发明采取的技术方案包括如下步骤:

[0007] (1)以环形星座图的方式设置空中群组内每个无人机节点的初始位置,其实现步骤如下:

[0008] (1.1)将救援目标区域的搜索中心作为原点,以任一方向及其垂直方向作为纵横坐标轴,建立二维坐标系;

[0009] (1.2)根据空中群组内无人机节点的总数量,将其随机划分为N个部分,N为大于1的正整数;

[0010] (1.3)将第一部分的无人机节点,按照相同圆心角有序地放置在二维坐标系中以原点为中心的一个圆环上;

[0011] (1.4)选择以原点为中心、半径大于上一部分无人机节点所在圆环半径的同心圆环,将群组内第二部分的无人机节点按照相同圆心角有序放置在该圆环上;

[0012] (1.5)采用步骤(1.4)的放置方式,继续依次放置其余各部分无人机节点,直到群组中N个部分的无人机节点全部被放置在与之相应的N个同心圆环上,得到由同心圆环和无人机节点在坐标系中构成的环形星座图;

[0013] (1.6)完成各个无人机节点初始位置的设置;

[0014] (2)按照统计分布特征随机选择节点的移动性参数,使得空中群组中各节点在每步运动中均保持相同长度的弧长轨迹;

[0015] (3)空中群组中每个节点按照各自螺旋线的扩展轨迹向外搜索,直到到达目标救援区域的边界;

[0016] (4)到达目标救援区域边界后,空中群组中每个节点按照各自螺旋线的收缩轨迹向目标救援区域中心搜索,直到到达中心位置;

[0017] (5)获取空中群组中各个节点的搜索轨迹,完成移动性模型的建立;利用该模型实现对整个目标区域的全覆盖。

[0018] 本发明与现有技术相比,具有以下优点:

[0019] 第一、本发明是基于螺旋线的移动策略,使得群组内每个节点可以按照平滑的螺旋线轨迹对灾区进行全面搜索,从而保证了空中群组中飞行姿态的平稳;

[0020] 第二、由于本发明采用环形星座图的方式设计空中群组内各节点的初始位置,使得群组内各节点可以在彼此之间保持最小的安全距离,从而有效地避免了飞行中可能出现的节点碰撞情况;

[0021] 第三、本发明有效地利用空中群组的独特优势,使得空中群组中各节点可以彼此协同搜索,从而大大降低了整个救援任务的搜索时间。

## 附图说明

[0022] 图1为本发明方法的实现流程图;

[0023] 图2为本发明中的环形星座原理图;

- [0024] 图3为本发明中模型的合成轨迹图；
- [0025] 图4为本发明中模型的轨迹平滑性仿真结果图；
- [0026] 图5为本发明和现有技术的碰撞避免能力对比仿真结果图；
- [0027] 图6为本发明和现有技术的覆盖能力对比仿真结果图。

### 具体实施方式

[0028] 下面结合附图和具体实施例,对本发明作进一步的详细描述。

[0029] 参照图1,本发明构建得到一种基于螺旋线的群组移动性模型,可用于控制在搜索和救援场景下的空中群组中各节点的实时轨迹。参照图2,空中群组中各节点的初始位置首先被有序的放置在环形星座图中的圆环上;接着,按照统计分布特征随机选择相应的移动性参数,并且保证群组中各节点的移动特征始终一致;参照图3,空中群组中各节点按照各自的螺旋线轨迹全面搜索整个救援区域。

[0030] 本发明提出的一种基于螺旋线的群组移动性模型构建方法,具体按照如下步骤实现:

[0031] 步骤1:以环形星座图的方式设置空中群组内每个无人机节点的初始位置,其实现步骤如下:

[0032] (1.1) 将救援目标区域的搜索中心作为原点,以任一方向及其垂直方向作为纵横坐标轴,建立二维坐标系;

[0033] (1.2) 根据空中群组内无人机节点的总数量,将其随机划分为N个部分,N为大于1的正整数;

[0034] (1.3) 将第一部分的无人机节点,按照相同圆心角有序地放置在二维坐标系中以原点为中心的一个圆环上;

[0035] (1.4) 选择以原点为中心、半径大于上一部分无人机节点所在圆环半径的同心圆环,将群组内第二部分的无人机节点按照相同圆心角有序放置在该圆环上;对于按照相同圆心角有序地放置节点,即就是将节点等间距均匀的在圆环上进行放置;

[0036] (1.5) 采用步骤(1.4)的放置方式,继续依次放置其余各部分无人机节点,直到群组中N个部分的无人机节点全部被放置在与之相应的N个同心圆环上,得到由同心圆环和无人机节点在坐标系中构成的环形星座图;这里的N个同心圆环中相邻两个圆环之间的距离,大于或等于其上无人机节点运行的最小安全距离,从而保证不同圆环上无人机的运行安全。

[0037] (1.6) 完成各个无人机节点初始位置的设置;

[0038] 步骤2:假设群组中节点的角速度是在给定范围内均匀分布,移动间隔和暂停间隔都是给定系数的指数分布;在群组运动前,按照统计分布特征随机选择节点的移动性参数,这里的移动性参数包含有角速度、移动间隔和暂停间隔,通过参数的设置使空中群组中各节点在每步运动中均保持相同长度的弧长轨迹,即保证群组内各节点的移动特性始终一致。

[0039] 步骤3:在移动间隔中,令空中群组中每个节点按照各自螺旋线的扩展轨迹向外搜索,直到达到最大搜索半径,即到达目标救援区域的边界;

[0040] 每个节点按照各自螺旋线的扩展轨迹向外搜索,具体按照如下步骤实现:

[0041] (3.1) 令空中群组中的一个节点为标准节点,根据下式计算该节点的向外搜索轨迹坐标  $(X_1, Y_1)$  :

$$[0042] \quad X_1 = I_{spiral} \times \cos(\varphi)$$

$$[0043] \quad Y_1 = I_{spiral} \times \sin(\varphi) ,$$

[0044] 其中,  $I_{spiral}$  表示螺旋线系数,  $\varphi$  表示螺旋线弧度;令初始弧度为  $\varphi_0$ 、螺旋线螺距为  $B_0$ , 则:

$$[0045] \quad \varphi = \varphi_0 + \Delta\varphi$$

$$[0046] \quad I_{spiral} = B_0 \times \varphi$$

[0047] 其中, 弧度变化量  $\Delta\varphi = W_\varphi \times T_{move}$ ;  $W_\varphi$  为角速度,  $T_{move}$  为移动间隔;

[0048] (3.2) 根据与标准节点的相对角度, 即旋转角度  $\theta$ , 空中群组中的其它节点按照下式得到其向外搜索轨迹坐标  $(X'_1, Y'_1)$  :

$$[0049] \quad \begin{bmatrix} X'_1 \\ Y'_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \end{bmatrix};$$

[0050] (3.3) 空中群组中每个节点按照各自的向外搜索轨迹坐标移动, 实现搜索。

[0051] 步骤4: 到达目标救援区域边界后, 空中群组中每个节点按照各自螺旋线的收缩轨迹向目标救援区域中心搜索, 直到到达中心位置, 即灾难区域中心;

[0052] 每个节点按照各自螺旋线的收缩轨迹向目标区域中心搜索, 具体按照如下步骤实现:

[0053] (4.1) 令空中群组中的一个节点为标准节点, 根据下式计算该节点的向内搜索轨迹坐标  $(X_2, Y_2)$  :

$$[0054] \quad X_2 = I_{spiral} \times \cos(-\varphi)$$

$$[0055] \quad Y_2 = I_{spiral} \times \sin(-\varphi) ,$$

[0056] 其中,  $I_{spiral}$  表示螺旋线系数,  $\varphi$  表示螺旋线弧度;令初始弧度为  $\varphi_0$ 、螺旋线螺距为  $B_0$ , 则:

$$[0057] \quad \varphi = \varphi_0 - \Delta\varphi$$

$$[0058] \quad I_{spiral} = B_0 \times (-\varphi)$$

[0059] 其中, 弧度变化量  $\Delta\varphi = W_\varphi \times T_{move}$ ;  $W_\varphi$  为角速度,  $T_{move}$  为移动间隔;

[0060] (4.2) 根据与标准节点的相对角度, 即旋转角度  $\theta$ , 空中群组中的其它节点按照下式得到其向内搜索轨迹坐标  $(X'_2, Y'_2)$  :

$$[0061] \quad \begin{bmatrix} X'_2 \\ Y'_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \end{bmatrix};$$

[0062] (4.3) 空中群组中每个节点按照各自的向内搜索轨迹坐标移动, 实现搜索。

[0063] 步骤5: 当空中群组收缩到区域中心时, 得到空中群组中各个节点的搜索轨迹, 完成移动性模型的建立; 利用该模型实现对整个目标区域的全覆盖。

[0064] 以下结合仿真试验,对本发明的技术效果作进一步说明:

[0065] 1. 仿真实验条件:

[0066] 本发明仿真实验的硬件平台为:处理器为CPU intel Core i5-6500,主频为3.2GHz,内存为4GB,显卡为NVIDIA Quadro M2000M;

[0067] 本发明仿真实验的软件平台为:Windows 7旗舰版,64位操作系统,MATLAB R2019a。

[0068] 2、仿真内容与结果:

[0069] 对本发明和现有技术MATLAB上进行轨迹平滑度、碰撞避免能力和快速覆盖能力的对比仿真,其中,轨迹平滑度仿真结果如图4所示,碰撞避免能力仿真结果如图5所示,快速覆盖的仿真结果如图6所示。

[0070] 参照图4,本发明的轨迹平滑性仿真图,可以看出SLGM的轨迹平滑度可以一直保持为0。这意味着它的轨迹上不会出现任何不光滑的部分。这是因为无论是在扩展过程中或收缩过程中,SLGM群组中各节点都会一直按照光滑的螺旋线轨迹进行运动,并且彼此不会干扰和碰撞。因此,SLGM的整个轨迹都是平滑的。

[0071] 参照图5,本发明和现有技术的碰撞避免能力对比仿真结果图,其中横轴代表运行时间,纵轴代表碰撞比例。从图5可以看出,相对于现有技术,本发明可以使得空中群组在整个飞行过程中始终保持0%的碰撞比例,由此可以看出本发明的碰撞避免能力优于现有技术。

[0072] 参照图6,本发明和现有技术的快速覆盖能力对比仿真结果图,其中横轴代表覆盖时间,纵轴代表覆盖比例。从图6可以看出,相对于现有技术,本发明可以以5分钟的最短时间快速覆盖100%的救援区域,由此可以看出本发明的快速覆盖能力优于现有技术。

[0073] 上述仿真分析证明了本发明所提方法的正确性与有效性。

[0074] 本发明未详细说明部分属于本领域技术人员公知常识。

[0075] 以上描述仅是本发明的具体实施例,不构成对本发明的任何限制,显然对于本领域的专业人员来说,在了解了本发明内容和原理后,都可能在不背离本发明原理的情况下,进行形式和细节上的各种修正和改变,但是这些基于本发明思想的修正和改变仍在本发明的权利要求的保护范围之内。

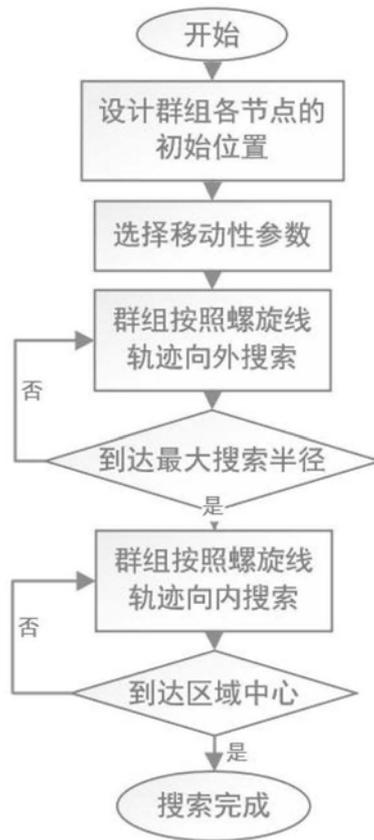


图1

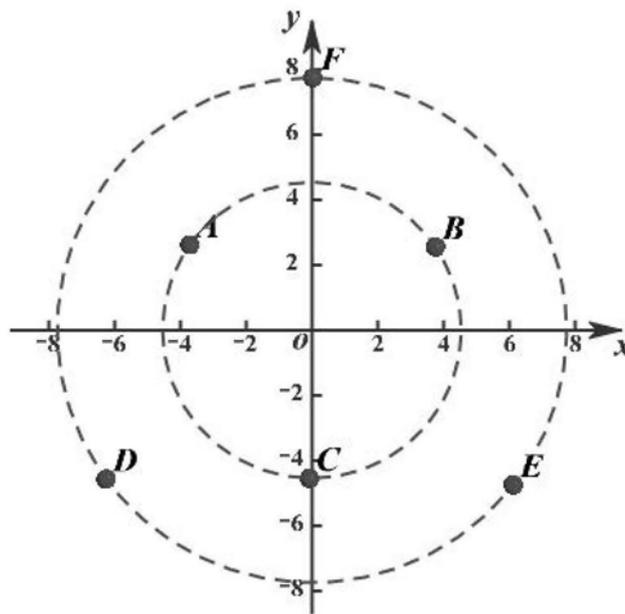


图2

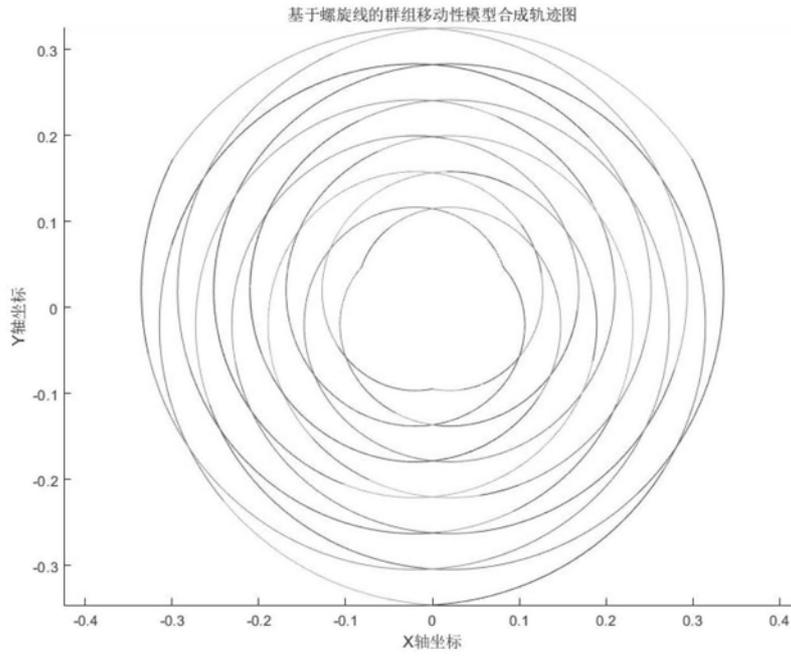


图3

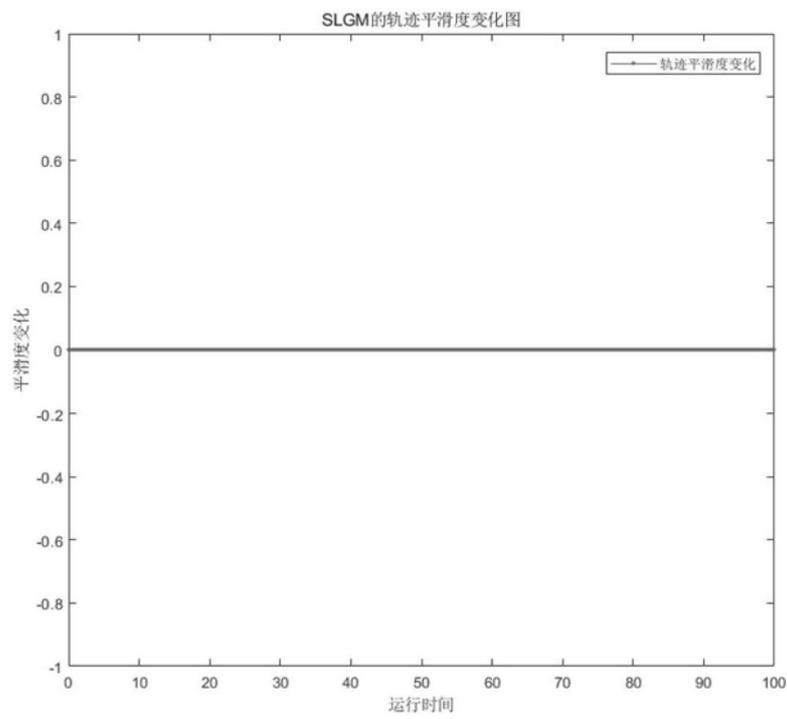


图4

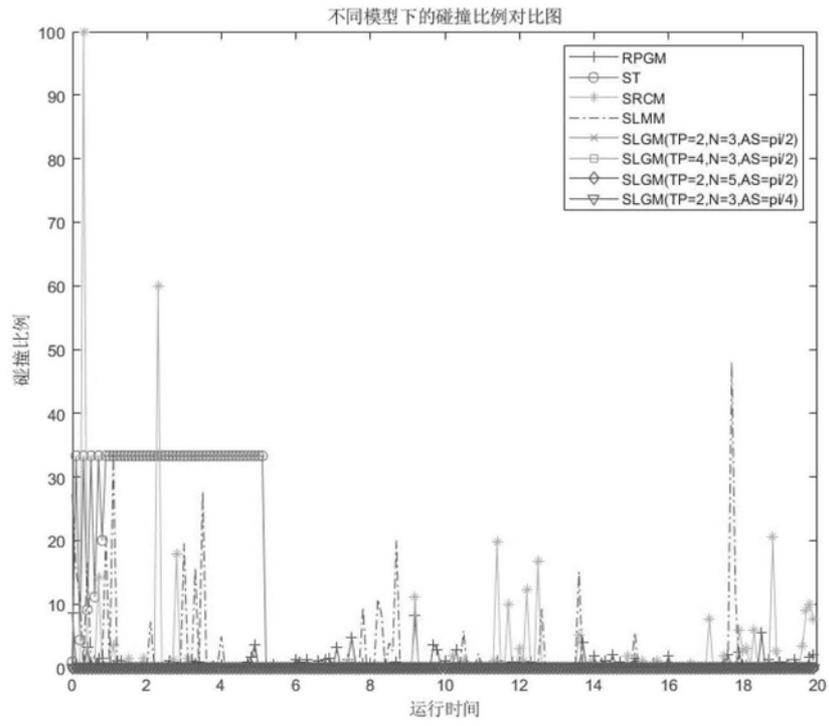


图5

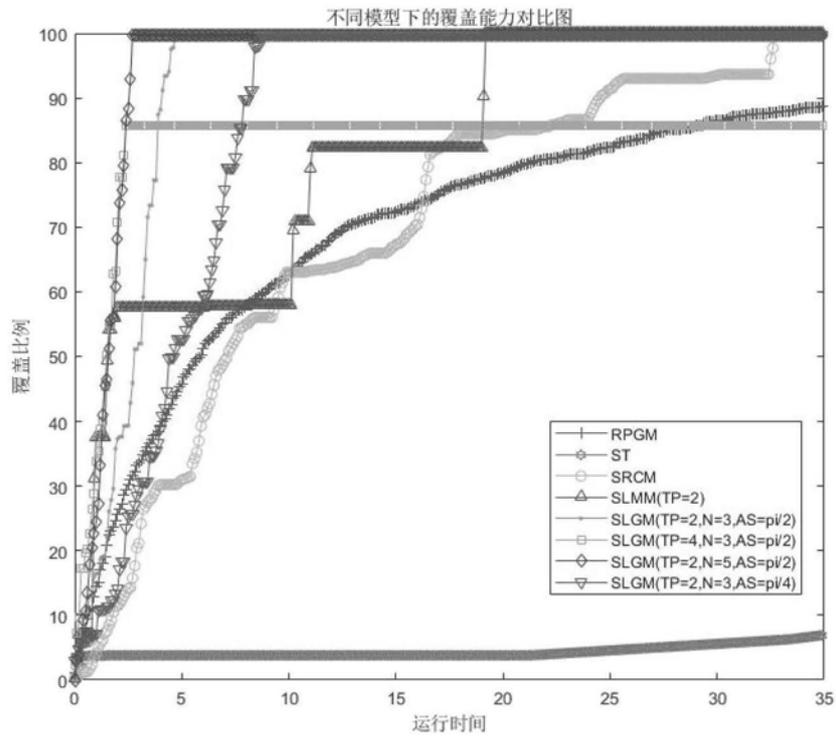


图6