



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103246289 A

(43) 申请公布日 2013. 08. 14

(21) 申请号 201310165113. 2

(22) 申请日 2013. 05. 07

(71) 申请人 西北工业大学

地址 710072 陕西省西安市友谊西路 127 号

(72) 发明人 符小卫 李建 高晓光 刘学全

(74) 专利代理机构 西北工业大学专利中心

61204

代理人 顾潮琪

(51) Int. Cl.

G05D 1/12 (2006. 01)

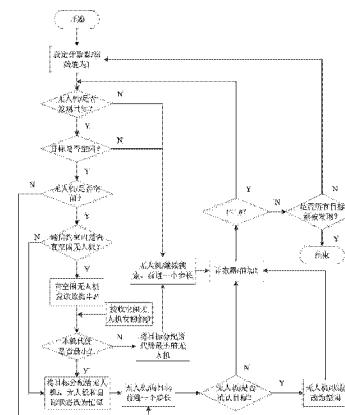
权利要求书2页 说明书7页 附图5页

(54) 发明名称

带通信约束的多无人机协同搜索中的目标分配方法

(57) 摘要

本发明提供了一种带通信约束的多无人机协同搜索中的目标分配方法，控制多无人机对一片未知区域的目标进行搜索，在考虑通信约束条件影响的情况下，对搜索到的目标进行目标分配，并由分配目标的无人机飞至目标进行目标确认，使多无人机能够协同完成对多目标的搜索和确认任务。



1. 一种带通信约束的多无人机协同搜索中的目标分配方法, 其特征在于包括下述步骤:

步骤 1: 设置无人机的初始位置为 (x_i, y_i) , $i = 1, 2, \dots, n$, 其中 n 是无人机的数量; 设置目标的初始位置为 (x^j, y^j) , $j = 1, 2, \dots, m$, 其中 m 是目标的数量; 设置无人机的最大探测距离 r_s 、最大通信距离 r_c 和通信角度约束 θ_c ; 设置无人机的初始状态设置为空闲, 目标初始状态设置为空闲, 发现目标数量初始值为 0;

步骤 2: 设定计数器初始值为 1;

步骤 3: 判断无人机 i 是否发现目标 j , 即 $\sqrt{(x_i - x^j)^2 + (y_i - y^j)^2} \leq r_s$, 若是, 转到步骤 4; 若否, 转到步骤 6;

步骤 4: 判断目标 j 状态是否为空闲, 若是, 转到步骤 5; 若否, 转到步骤 6;

步骤 5: 判断无人机 i 状态是否为空闲, 若是, 转到步骤 7; 若否, 转到步骤 10;

步骤 6: 无人机 i 继续执行搜索任务, 前进一个算法的执行步长, 转到步骤 12;

所述的执行搜索任务是以随机搜索的方式对任务区域内的目标进行搜索, 无人机在任务区域内以航向角沿直线飞行, 直到到达搜索边界时, 无人机转弯, 再次进入搜索区域, 按照运动模型得到以一个新的航向角, 继续沿直线飞行;

所述的运动模型是在无人机的飞行速度和高度保持恒定的二维平面内:

$$\begin{cases} \dot{x} = v \cos \varphi \\ \dot{y} = v \sin \varphi \\ \dot{n}_x = g(n_y - \sin \varphi) \\ \dot{\varphi} = \frac{g}{v} (n_y - \cos \varphi) \\ n_0 = \sqrt{n_x^2 + n_y^2} \\ n_0 \leq n_{\max} \end{cases}$$

其中, v 是无人机的速度, φ 是无人机的航向角, $\varphi \in [0, 2\pi)$, g 是重力加速度, n_0 是无人机的过载, n_x, n_y 是 n_0 在 x 方向和 y 方向的分量, 无人机在飞行时所承受的过载不能超过额定最大值, 无人机在转弯时始终以最小转弯半径 R_{\min} 转弯;

步骤 7: 判断无人机 i 通信约束内是否有其他无人机, 若是, 向通信约束内的其他无人机发送数据串 P , 然后接收来自它们返回的数据串 Q , 转到步骤 8; 若否, 转到步骤 9;

所述的通信约束是限定无人机间通信必须限制在通信距离 r_c 和通信角度 θ_c 范围内;

所述的数据串 P 为 $P(i, t) = (A_i, T_k, J_k^i, t)$, 其中, A_i 表示发现目标的无人机序号, T_k 表示发现的目标序号, 包含目标的坐标信息, t 为发现时间, J_k^i 为无人机 i 飞到目标 k 的代价,

$$J_k^i = \begin{cases} \alpha \frac{r_{ik}}{d} + (1-\alpha) \frac{\theta_{ik}}{\pi}, & \text{当无人机未分配目标} \\ \infty, & \text{当无人机已分配目标} \end{cases}$$

其中, d 是搜索区域的宽度, α 是距离和角度的权重系数;

当无人机 j 接收到无人机 i 的信息后, 将返回数据串 $Q_j = (A_j, A_i, T_k, J_k^j)$;

步骤 8 :判断无人机 i 飞往发现目标 j 的代价是否最小,若是,转到步骤 9 ;若否,将目标分配给代价最小的无人机,转到步骤 6 ;

步骤 9 :将发现的目标 j 分配给无人机 i,无人机 i 和目标 j 的状态改为忙碌;

步骤 10 :无人机 i 向目标 j 前进一个步长;

步骤 11 :判断无人机 i 是否确认目标 j,即 $\sqrt{(x_i - x^j)^2 + (y_i - y^j)^2} \leq r_0$,若是,无人机 i 状态改为空闲,发现目标数量值加 1,转到步骤 12 ;若否,直接转到步骤 12 ;其中, r_0 是允许到达误差;

步骤 12 :计数器值加 1,判断计数器值是否不大于 n,若是,转到步骤 3 ;若否,转到步骤 13 ;

步骤 13 :判断是否所有目标都被发现,即发现目标数量值是否等于目标数量 m,若是,结束任务;若否,转到步骤 2。

带通信约束的多无人机协同搜索中的目标分配方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种利用多无人机对一片未知区域的目标进行搜索，并对搜索到的目标进行目标分配的方法，属于协同控制和通信技术领域。

背景技术

[0002] 多无人机协同目标分配问题是多无人机协同控制的重要内容之一，是任务分配的一种特殊情况，可以应用于灾害中的人员搜索、定位等方面，国内外的研究十分广泛。钱艳平等人在《基于合同网的无人机协同目标分配方法》中提出了一种使用基于合同网的目标分配方法。首先建立目标分配问题的数学模型，在初始分配的基础上，使用基于合同网的目标分配方法，引入负载系数参数，通过迭代执行买卖合同与交换合同实现任务的合理分配。

[0003] 该方法没有考虑通信约束对目标分配的影响，而保证通信是多无人机协同的基本要素。多无人机在目标分配过程中需要通信，一架无人机只能向在其通信距离范围内的无人机发送信息，同时需要满足通信角度限制等约束。

发明内容

[0004] 为了克服现有技术的不足，本发明提供一种带通信约束的多无人机协同搜索中的目标分配方法，控制多无人机对一片未知区域的目标进行搜索，在考虑通信约束条件影响的情况下，对搜索到的目标进行目标分配，并由分配目标的无人机飞至目标进行目标确认，使多无人机能够协同完成对多目标的搜索和确认任务。

[0005] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案包括以下步骤：

[0006] 步骤 1：设置无人机的初始位置为 (x_i, y_i) , $i = 1, 2, \dots, n$, 其中 n 是无人机的数量；设置目标的初始位置为 (x^j, y^j) , $j = 1, 2, \dots, m$, 其中 m 是目标的数量；设置无人机的最大探测距离 r_s 、最大通信距离 r_c 和通信角度约束 θ_c ；设置无人机的初始状态设置为空闲，目标初始状态设置为空闲，发现目标数量初始值为 0；

[0007] 步骤 2：设定计数器初始值为 1；

[0008] 步骤 3：判断无人机 i 是否发现目标 j ，即 $\sqrt{(x_i - x^j)^2 + (y_i - y^j)^2} \leq r_s$ ，若是，转到步骤 4；若否，转到步骤 6；

[0009] 步骤 4：判断目标 j 状态是否为空闲，若是，转到步骤 5；若否，转到步骤 6；

[0010] 步骤 5：判断无人机 i 状态是否为空闲，若是，转到步骤 7；若否，转到步骤 10；

[0011] 步骤 6：无人机 i 继续执行搜索任务，前进一个算法的执行步长，转到步骤 12；

[0012] 所述的执行搜索任务是以随机搜索的方式对任务区域内的目标进行搜索，无人机在任务区域内以航向角沿直线飞行，直到到达搜索边界时，无人机转弯，再次进入搜索区域，按照运动模型得到以一个新的航向角，继续沿直线飞行；

[0013] 所述的运动模型是在无人机的飞行速度和高度保持恒定的二维平面内：

[0014]

$$\begin{cases} \dot{x} = v \cos \varphi \\ \dot{y} = v \sin \varphi \\ \dot{\nu} = g(n_x - \sin \varphi) \\ \dot{\varphi} = \frac{g}{v} (n_y - \cos \varphi) \\ n_0 = \sqrt{n_x^2 + n_y^2} \\ n_0 \leq n_{\max} \end{cases}$$

[0015] 其中, v 是无人机的速度, φ 是无人机的航向角, $\varphi \in [0, 2\pi]$, g 是重力加速度, n_0 是无人机的过载, n_x, n_y 是 n_0 在 x 方向和 y 方向的分量, 无人机在飞行时所承受的过载不能超过额定最大值, 无人机在转弯时始终以最小转弯半径 R_{\min} 转弯;

[0016] 步骤 7: 判断无人机 i 通信约束内是否有其他无人机, 若是, 向通信约束内的其他无人机发送数据串 P , 然后接收来自它们返回的数据串 Q , 转到步骤 8; 若否, 转到步骤 9;

[0017] 所述的通信约束是限定无人机间通信必须限制在通信距离 r_c 和通信角度 θ_c 范围内;

[0018] 所述的数据串 P 为 $P(i, t) = (A_i, T_k, J_k^i, t)$, 其中, A_i 表示发现目标的无人机序号, T_k 表示发现的目标序号, 包含目标的坐标信息, t 为发现时间, J_k^i 为无人机 i 飞到目标 k 的代价,

[0019]

$$J_k^i = \begin{cases} \alpha \frac{r_{ik}}{d} + (1-\alpha) \frac{\theta_{ik}}{\pi}, & \text{当无人机未分配目标} \\ \infty, & \text{当无人机已分配目标} \end{cases}$$

[0020] 其中, d 是搜索区域的宽度, α 是距离和角度的权重系数;

[0021] 当无人机 j 接收到无人机 i 的信息后, 将返回数据串 $Q_j = (A_j, A_i, T_k, J_k^j)$;

[0022] 步骤 8: 判断无人机 i 飞往发现目标 j 的代价是否最小, 若是, 转到步骤 9; 若否, 将目标分配给代价最小的无人机, 转到步骤 6;

[0023] 步骤 9: 将发现的目标 j 分配给无人机 i , 无人机 i 和目标 j 的状态改为忙碌;

[0024] 步骤 10: 无人机 i 向目标 j 前进一个步长;

[0025] 步骤 11: 判断无人机 i 是否确认目标 j , 即 $\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \leq r_0$, 若是, 无人机 i 状态改为空闲, 发现目标数量值加 1, 转到步骤 12; 若否, 直接转到步骤 12; 其中, r_0 是允许到达误差;

[0026] 步骤 12: 计数器值加 1, 判断计数器值是否不大于 n , 若是, 转到步骤 3; 若否, 转到步骤 13;

[0027] 步骤 13: 判断是否所有目标都被发现, 即发现目标数量值是否等于目标数量 m , 若是, 结束任务; 若否, 转到步骤 2。

[0028] 本发明的有益效果是: 经过步骤 3 到步骤 5, 无人机可以发现目标, 并可以保证将

发现的空闲的目标分配给空闲的无人机；

[0029] 经过步骤 7，无人机可以在通信距离和通信角度约束下进行通信，交换目标和执行代价等信息；

[0030] 经过步骤 8，可以将发现的目标分配给执行代价最小的无人机；

[0031] 经过步骤 6 和步骤 10，可以保证无人机顺利飞行；

[0032] 经过步骤 13，可以保证所有目标都能被发现并被确认。

[0033] 经验证，本发明设计的方法能控制多无人机对一片未知区域的目标进行搜索，在考虑通信约束条件影响的情况下，对搜索到的目标进行目标分配，并由分配目标的无人机飞至目标进行目标确认，使多无人机能够协同完成对多目标的搜索和确认任务。

附图说明

[0034] 图 1 是多无人机目标分配流程图；

[0035] 图 2 是随机搜索示意图；

[0036] 图 3 是通信距离限制示意图；

[0037] 图 4 是通信角度限制示意图；

[0038] 图 5 是仿真初始场景示意图；

[0039] 图 6 是 $r_c=400, \theta_c = 120^\circ$ 时情景示意图；

[0040] 图 7 是 $r_c=100, \theta_c = 120^\circ$ 时情景示意图；

[0041] 图 8 是 $r_c=400, \theta_c = 60^\circ$ 时情景示意图；

[0042] 图 9 是 $r_c=300, \theta_c = 120^\circ$ 时仿真运行结果示意图；

[0043] 图 10 是 $r_c=400, \theta_c = 120^\circ$ 时仿真运行结果示意图；

[0044] 图 11 是 $r_c=500, \theta_c = 120^\circ$ 时仿真运行结果示意图。

具体实施方式

[0045] 下面结合附图和实施例对本发明进一步说明。

[0046] 本发明包括以下步骤：

[0047] 假设算法执行的步长为 t ，参与任务的多无人机类型相同，飞行的速度大小相同且保持恒定为 v ，最小转弯半径为 R_{min} 。算法执行的步骤如下(参见附图 1)：

[0048] 步骤 1：设置无人机和目标的数量及初始位置、无人机的最大探测距离、通信距离、通信角度和发现目标数量，设置无人机和目标初始状态均为空闲。

[0049] 无人机的初始位置为 (x_i, y_i) ($i = 1, 2, \dots, n$)，其中 n 是无人机的数量；

[0050] 目标的位罝为 (x^j, y^j) ($j = 1, 2, \dots, m$)，其中 m 是目标的数量；

[0051] 无人机的最大探测距离为 r_s ，最大通信距离为 r_c ，通信角度约束为 θ_c ；

[0052] 无人机的初始状态设置为空闲，目标初始状态设置为空闲；

[0053] 发现目标数量 $FoundTargetNumber$ 初始值为 0。

[0054] 步骤 2：设定计数器 i 初始值为 1。

[0055] 步骤 3：判断无人机 i 是否发现目标 j 。是，转到步骤 4；否，转到步骤 6。

[0056]

$$\begin{cases} \text{无人机 } i \text{ 发现目标 } j, & \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \leq r_s \\ \text{无人机 } i \text{ 未发现目标 } j, & \text{否则} \end{cases}$$

- [0057] 步骤 4 : 判断目标 j 状态是否为空闲。是, 转到步骤 5 ; 否, 转到步骤 6。
- [0058] 步骤 5 : 判断无人机 i 状态是否为空闲。是, 转到步骤 7 ; 否, 转到步骤 10。
- [0059] 步骤 6 : 无人机 i 继续执行搜索任务, 前进一个步长, 转到步骤 12。
- [0060] 无人机以一种随机搜索的方式, 对任务区域内的目标进行搜索, 如附图 2 所示。无人机在任务区域内以航向角沿直线飞行, 直到到达搜索边界时, 无人机转弯, 再次进入搜索区域, 按照运动模型得到以一个新的航向角, 继续沿直线飞行。
- [0061] 假设无人机的飞行速度和高度保持恒定, 在二维平面内, 无人机的数学模型为
- [0062]

$$\begin{cases} \dot{x} = v \cos \varphi \\ \dot{y} = v \sin \varphi \\ \dot{v} = g(n_x - \sin \varphi) \\ \dot{\varphi} = \frac{g}{v} (n_y - \cos \varphi) \\ n_0 = \sqrt{n_x^2 + n_y^2} \\ n_0 \leq n_{\max} \end{cases}$$

[0063] 其中, v 是无人机的速度, φ 是无人机的航向角, $\varphi \in [0, 2\pi)$, g 是重力加速度, n_0 是无人机的过载, n_x, n_y 是 n_0 在 x 方向和 y 方向的分量。无人机在飞行时所承受的过载不能超过额定最大值。

[0064] 无人机在直线飞行时所承受的过载较小, 而在转弯时所承受的过载较大。为了使无人机在转弯时不超过最大过载的限制, 本发明设置无人机在转弯时, 始终以最小转弯半径 R_{\min} 转弯。

[0065] 步骤 7 : 判断无人机 i 通信约束内是否有其他无人机。是, 向通信约束内的其他无人机发送数据串 P , 然后接收来自它们返回的数据串 Q , 转到步骤 8 ; 否, 转到步骤 9。

[0066] 本发明的通信约束条件包括通信距离限制和通信角度限制两种, 限定无人机间通信必须限制在通信距离 r_c 和通信角度 θ_c 范围内, 分别如附图 3 和附图 4 所示。无人机间只有满足通信约束条件, 才能进行通信。

[0067] 数据串 P 为

$$P(i, t) = (A_i, T_k, J_k^i, t)$$

[0069] 其中, A_i 表示发现目标的无人机序号, T_k 表示发现的目标序号, 包含目标的坐标信息, t 为发现时间。 J_k^i 为无人机 i 飞到目标 k 的代价, 当无人机未分配目标时, 它是无人机到目标的距离 r_{ik} 和转弯角度 θ_{ik} 的函数, 当无人机已分配目标时, 它是一个无穷大值。

[0070]

$$J_k^i = \begin{cases} \alpha \frac{r_{ik}}{d} + (1-\alpha) \frac{\theta_{ik}}{\pi}, & \text{当无人机未分配目标} \\ \infty, & \text{当无人机已分配目标} \end{cases}$$

- [0071] 其中, d 是搜索区域的宽度, α 是距离和角度的权重系数。
- [0072] 当无人机 j 接收到无人机 i 的信息后, 将返回数据串 Q_j
- [0073] $Q_j = (A_j, A_i, T_k, J_k^j)$
- [0074] 步骤 8 :判断无人机 i 飞往发现目标 j 的代价是否最小。是, 转到步骤 9 ;否, 将目标分配给代价最小的无人机, 转到步骤 6。
- [0075] 步骤 9 :将发现的目标 j 分配给无人机 i, 无人机 i 和目标 j 的状态改为忙碌。
- [0076] 步骤 10 :无人机 i 向目标 j 前进一个步长, 算法执行步长为 t。
- [0077] 步骤 11 :判断无人机 i 是否确认目标 j。是, 无人机 i 状态改为空闲, 发现目标数量值 FoundTargetNumber 加 1, 转到步骤 12 ;否, 直接转到步骤 12。
- [0078]

$$\begin{cases} \text{无人机 i 确认目标 j,} & \sqrt{(x_i - x^j)^2 + (y_i - y^j)^2} \leq r_0 \\ \text{无人机 i 未确认目标 j,} & \text{否则} \end{cases}$$

- [0079] 其中, r_0 是允许到达误差。
- [0080] 步骤 12 :计数器 i 值加 1, 判断 i 是否不大于 n。是, 转到步骤 3 ;否, 转到步骤 13。
- [0081] 步骤 13 :判断是否所有目标都被发现, 即发现目标数量值 FoundTargetNumber 是否等于目标数量 m。是, 结束任务 ;否, 转到步骤 2。
- [0082] 通过计算机仿真对本算法进行了虚拟实施。
- [0083] 仿真将任务区域设定为一块 1000m×1000m 的矩形区域, 区域内设定了 6 个目标, 使用 3 架相同类型的无人机执行搜索和打击任务, 利用 VC++6.0 进行编程仿真。无人机的速度 v = 15m/s, 最小转弯半径 $R_{min} = 50m$, 仿真步长设为 1s。
- [0084] M1) 设置无人机和目标的数量及初始位置、无人机的最大探测距离、通信距离、通信角度和发现目标数量, 设置无人机和目标初始状态均为空闲, 参见表 1、表 2 和表 3。
- [0085] 表 1 无人机初始位置
- [0086]

对象	x 坐标	y 坐标
无人机 1	280	500
无人机 2	480	500
无人机 3	680	500

- [0087] 表 2 目标位置

- [0088]

对象	x 坐标	y 坐标
目标 1	250	900
目标 2	350	750
目标 3	900	850
目标 4	350	150
目标 5	450	250
目标 6	750	200

[0089] 表 3 其他数据

[0090]

对象	数值
探测距离 r_d	200
通信距离 r_c	400
通信角度 θ_c	120°
FoundTargetNumber	0
无人机状态	空闲
目标状态	空闲

[0091] M2) 设定计数器 i 初始值为 1。

[0092] M3) 判断无人机 i 是否发现目标 j。是, 转到步骤 4; 否, 转到步骤 6。

[0093]

$$\begin{cases} \text{无人机 } i \text{ 发现目标 } j, & \sqrt{(x_i - x^j)^2 + (y_i - y^j)^2} \leq 200 \\ \text{无人机 } i \text{ 未发现目标 } j, & \text{否则} \end{cases}$$

[0094] M4) 判断目标 j 状态是否为空闲。是, 转到步骤 5; 否, 转到步骤 6。

[0095] M5) 判断无人机 i 状态是否为空闲。是, 转到步骤 7; 否, 转到步骤 10。

[0096] M6) 无人机 i 继续执行搜索任务, 前进一个步长, 转到步骤 12。

[0097] M7) 判断无人机 i 通信约束内是否有其他无人机。是, 向通信约束内的其他无人机发送数据串 P, 然后接收来自它们返回的数据串 Q, 转到步骤 8; 否, 转到步骤 9。

[0098] M8) 判断无人机 i 飞往发现目标 j 的代价是否最小。是, 转到步骤 9; 否, 将目标分配给代价最小的无人机, 转到步骤 6。

[0099]

$$J_k^j = \begin{cases} \alpha \frac{r_{ik}}{1000} + (1-\alpha) \frac{\theta_{ik}}{\pi}, & \text{当无人机未分配目标} \\ \infty, & \text{当无人机已分配目标} \end{cases}$$

[0100] 其中, $\alpha = 0.9$ 。

[0101] M9) 将发现的目标 j 分配给无人机 i, 无人机 i 和目标 j 的状态改为忙碌。

[0102] M10) 无人机 i 向目标 j 前进一个步长。

[0103] M11) 判断无人机 i 是否确认目标 j。是, 无人机 i 状态改为空闲, FoundTargetNumber++, 转到步骤 12; 否, 直接转到步骤 12。

[0104]

$$\begin{cases} \text{无人机 i 确认目标 j, } \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \leq 5 \\ \text{无人机 i 未确认目标 j, 否则} \end{cases}$$

[0105] M12) 计数器 i 值加 1, 判断 i 是否不大于 n。是, 转到步骤 3; 否, 转到步骤 13。

[0106] M13) 判断是否所有目标都被发现, 即发现目标数量值 FoundTargetNumber 是否等于目标数量 6。是, 结束任务; 否, 转到步骤 2。

[0107]

$$\begin{cases} \text{所有目标都被发现, } FoundTargetNumber = 6 \\ \text{所有目标未全被发现, 否则} \end{cases}$$

[0108] 在 Windows XP 环境下, 使用 Visual C++6.0 软件仿真的结果如图 5 到图 8 所示。其中, 图 5 是仿真初始场景; 图 6 ~ 8 是不同通信约束条件下的初始飞行情况, 可知通信距离和通信角度约束对目标分配产生了影响; 图 9 ~ 11 是通信距离分别为 300m、400m 和 500m 时的仿真结果, 可见无人机按照随机搜索方式搜索了整个区域, 在搜索过程中, 无人机在发现目标后能够进行目标分配, 并由分配目标的无人机飞至目标进行确认, 直到所有目标都被发现并确认, 任务结束。

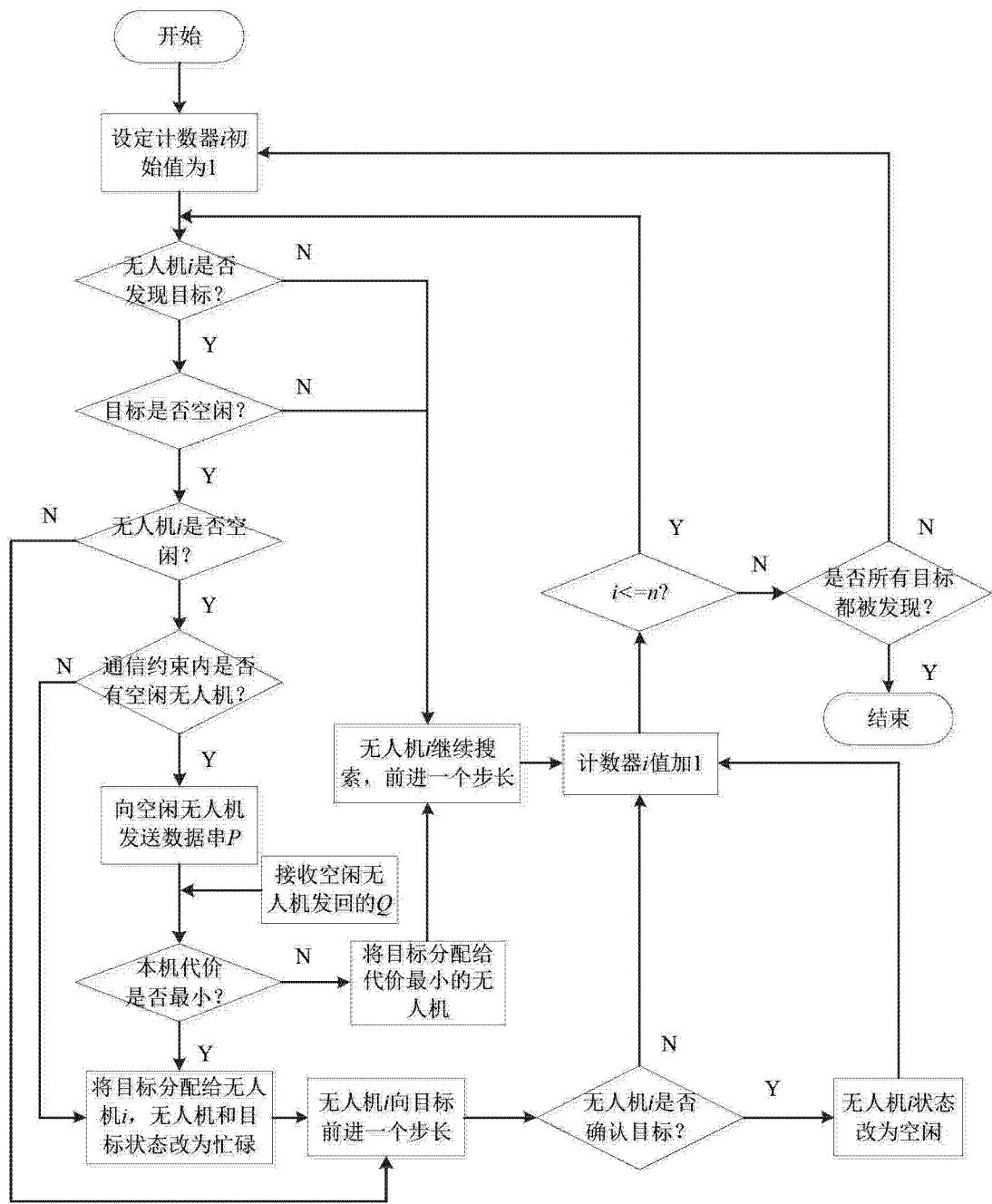


图 1

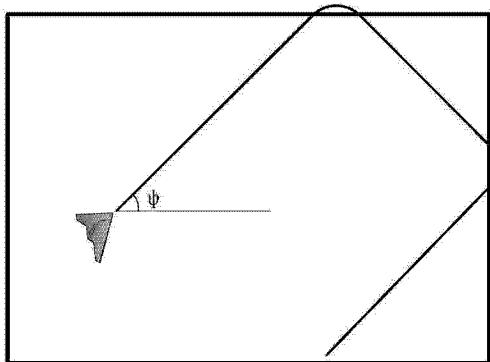


图 2

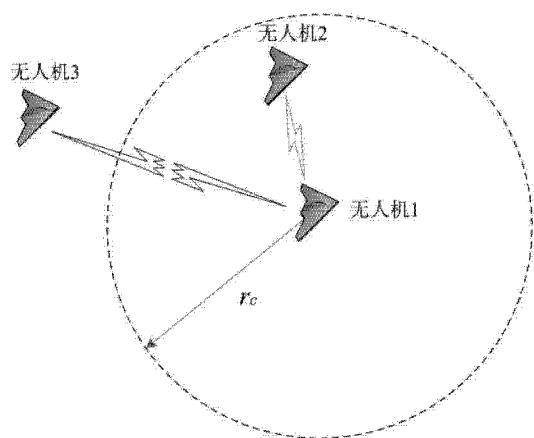


图 3

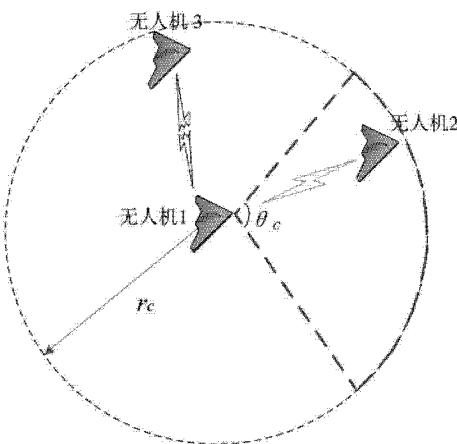


图 4

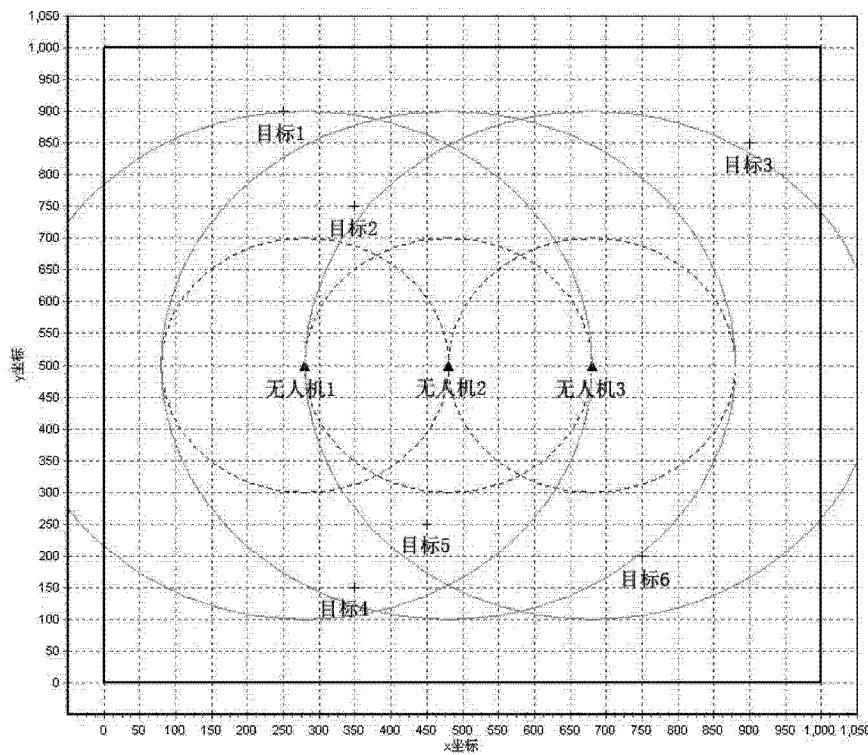


图 5

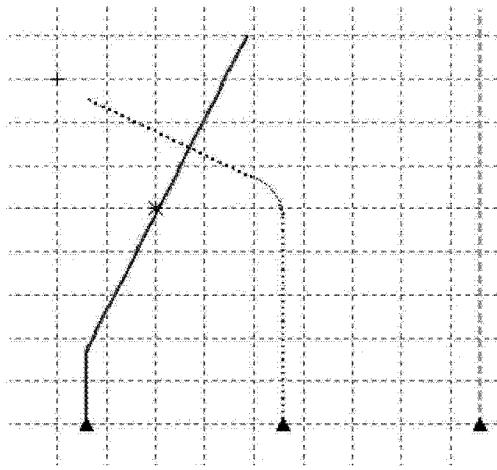


图 6

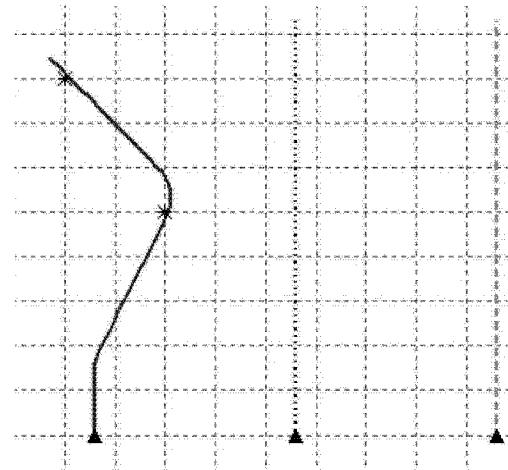


图 7

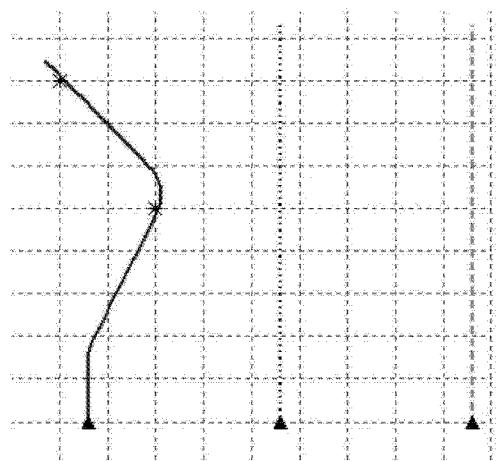


图 8

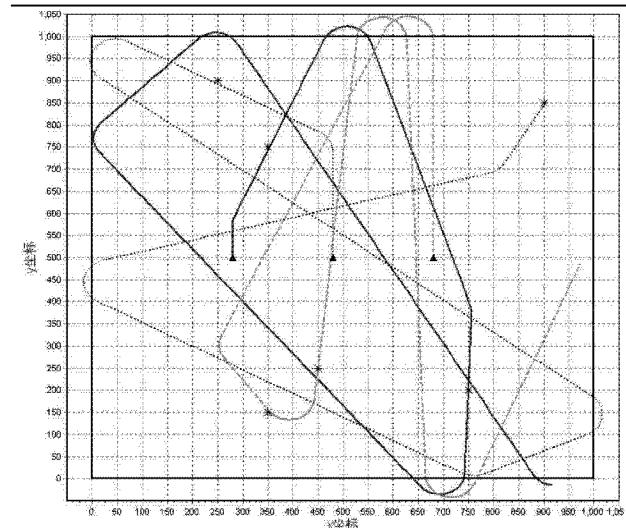


图 9

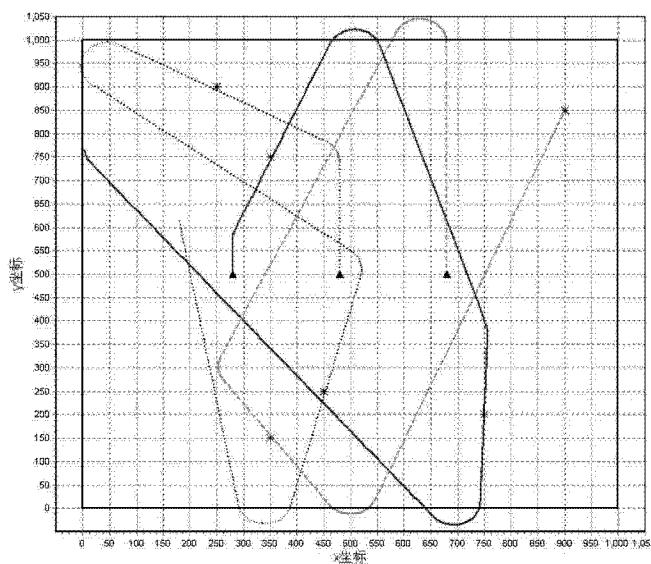


图 10

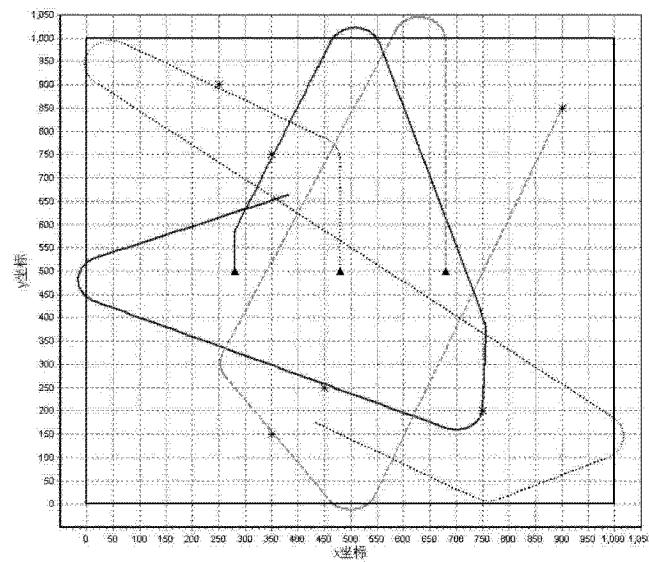


图 11