



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103226357 A

(43) 申请公布日 2013. 07. 31

(21) 申请号 201310095793. 5

(22) 申请日 2013. 03. 22

(71) 申请人 海南大学

地址 570228 海南省海口市海甸岛人民大道  
58 号

(72) 发明人 任佳 崔亚妮 杜文才

(74) 专利代理机构 海口翔翔专利事务有限公司  
46001

代理人 刘清莲

(51) Int. Cl.

G05D 1/12(2006. 01)

G01S 13/66(2006. 01)

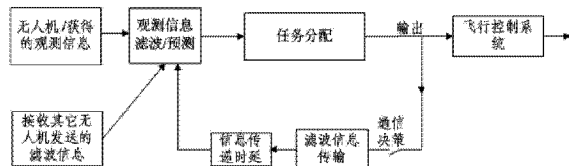
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

一种基于目标跟踪的多无人机通信决策方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于目标跟踪的多无人机通信决策方法,能够在任务分配的过程中自主完成通信决策;在目标跟踪过程中,每架无人机利用滤波算法对噪声数据进行滤波,并在该滤波数据下进行任务分配,仅当该任务分配结果与正在执行的任务产生冲突时进行通信,从而实现局部信息共享;无人机在获得共享信息和局部观测信息时,对目标状态进行估计,在此基础上更新与目标的距离代价,并在全局信息下再次进行任务分配,若该任务分配结果与局部信息下的任务分配结果一致,则进行通信,无人机将执行新的跟踪任务,否则维持原有的跟踪任务。本发明能够确保多架无人机任务分配的一致性,并大幅度降低无人机间的通信次数。



1. 一种基于目标跟踪的多无人机通信决策方法,其特征在于包括以下步骤:

步骤一:每架无人机利用滤波算法获得较为准确的目标状态;

步骤二:在获得目标状态的基础上计算无人机与目标的距离代价,在最小代价下产生任务排序,判断该任务分配结果与当前执行任务是否产生冲突,若冲突则进行通信,否则不通信;

步骤三:接收信息的无人机利用共享信息和其观测信息的滤波值对目标状态进行估计;

步骤四:在目标状态估计的基础上无人机更新与目标的距离代价,在此基础上产生新的任务分配结果,若此时任务分配结果与发送信息的无人机任务分配结果一致,无人机将执行新的跟踪任务,否则继续执行上一时刻的跟踪任务。

2. 如权利要求 1 所述的基于目标跟踪的多无人机通信决策方法,其特征在于,步骤二的具体实施过程为:

1) 利用目标位置的滤波数据,计算每架无人机到每个目标的距离代价  $d_{ij}(k)$

$$d_{ij}(k) = \sqrt{(x_i(k) - x_{ij}(k))^2 + (y_i(k) - y_{ij}(k))^2}$$

其中,  $(x_i(k), y_i(k))$  为无人机  $i$  的位置,  $(x_{ij}(k), y_{ij}(k))$  为无人机  $i$  对目标  $j$  滤波后的位置;

2) 归一化距离代价  $J_{ij}(k)$

$$J_{ij}(k) = \frac{d_{ij}(k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 d_{ij}^2(k)}}$$

3) 根据归一化的距离代价  $J_{ij}(k)$ , 每架无人机都能获得最小代价下的任务排序结果  $L_i(k)$ ;

4) 与上一时刻  $(k-1)$  任务排序结果进行比较,判断当前时刻每架无人机任务排序是否发生改变;若改变就进行通信,通信内容为这架无人机对所有目标观测信息的滤波值。

$$\begin{cases} L_i(k) = L_i(k-1), & \text{不通信} \\ L_i(k) \neq L_i(k-1), & \text{通信} \end{cases}$$

3. 如权利要求 1 所述的基于目标跟踪的多无人机通信决策方法,其特征在于,步骤三的具体实现方法为:

若在  $k$  时刻无人机  $i \in \{1, 2, \dots, n\}$  进行通信,由于信息传递延迟,编队内其它  $n-1$  架无人机将在  $k+1$  时刻收到无人机  $i$  发送的滤波信息,此时接收信息的  $n-1$  架无人机需要对所有目标位置进行重新估计;

$$\hat{S}_p(k+1|k) = \alpha \cdot \hat{S}_p^o(k+1|k+1) + \frac{(1-\alpha)}{r} \sum_{i=1}^r \hat{S}_i(k+1|k)$$

其中  $\hat{\mathbf{S}}_p(k+1|k)$  为第  $p$  ( $p \in \{1, 2, \dots, n-1\}$ ) 架无人机对所有目标状态的估计矩阵,  $\hat{\mathbf{S}}_p(k+1|k+1)$  为第  $p$  架无人机当前时刻获得所有目标状态的滤波值,  $\hat{\mathbf{S}}_i(k+1|k)$  为第  $i$  架无人机在  $k$  时刻传递滤波信息下的目标状态预测,  $r$  为传递信息的无人机集合,  $\alpha \in (0, 1)$  表示加权系数, 取值为 0.85。

4. 如权利要求 1 所述的基于目标跟踪的多无人机通信决策方法, 其特征在于, 步骤四的具体实施过程为:

- 1) 接收信息的无人机利用目标状态的估计值, 计算距离代价  $d_{ij}^g(k+1)$ ;

$$d_{ij}^g(k+1) = \sqrt{\left(x_i(k+1) - x_j^g(k+1)\right)^2 + \left(y_i(k+1) - y_j^g(k+1)\right)^2}$$

其中  $x_j^g, y_j^g$  为目标状态预测后的位置坐标;

- 2) 归一化距离代价  $J_{ij}^g(k)$ ;

$$J_{ij}^g(k+1) = \frac{d_{ij}^g(k+1)}{\sqrt{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 d_{ij}^{g2}(k+1)}}$$

- 3) 接收信息的无人机根据归一化的距离代价  $J_{ij}^g(k+1)$  产生任务排序  $L_i^g(k+1)$ ;

4) 判断  $L_i^g(k+1)$  与  $L_i(k)$  是否一致, 若一致就进行通信, 并在新的任务分配结果下执行跟踪任务, 否则继续执行上一时刻的跟踪任务。

$$\begin{cases} L_i^g(k+1) = L_i(k), \text{通信, 更改任务分配策略} \\ L_i^g(k+1) \neq L_i(k), \text{不通信} \end{cases}。$$

## 一种基于目标跟踪的多无人机通信决策方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于多架无人机跟踪多个移动目标时的通信决策方法,涉及目标状态估计和任务协同分配方法。

### 背景技术

[0002] 无人机跟踪运动目标具有广阔的应用前景,如:海上船只安全监管,城市道路车辆跟踪,体育实况转播等。目前,多架无人机协同完成多目标跟踪问题尚未解决。尽管一些简化的协同跟踪算法已经被提出,但这些算法共同的简化假设条件是各成员都能获得完全一致的目标观测信息。然而,在实际的运动目标跟踪过程中,各架无人机局部所得到的目标信息一般都不相同,这种差异来源于每架无人机的测量噪声。这就使得每架无人机需要将获得的噪声信息进行滤波处理,并决定是否将处理后的数据传递给其它的无人机以达成信息共享。

[0003] Tal Shima, Steven J. Rasmussen, Phillip Chandler 提出了当某架无人机获得的跟踪目标信息与收到其它共无人机的目标信息之间差异超过给定的阈值时进行通信的决策方法; Mehdi Alighanbari, Jonathan P. How 提出了当某架无人机获得的目标信息对其闭环控制系统的性能产生影响时进行通信的决策方法,但该方法面临的最大问题是如何选取一个能够有效表征控制系统性能的评价参数; Dany Dionnel, Camille A. Rabbath 提出了分布式任务一致性(Decentralized Task Consensus, DTC)通信决策方法,该方法通过已知的目标位置信息计算无人机与目标间的距离代价,在此基础上判断某架无人机观测信息下最优任务分配结果与它收到其它无人机观测信息下最优任务分配结果的差异,当且仅当二者任务分配结果不一致的情况下进行通信,但该方法需要在无人机执行跟踪前先验的知道目标的运动状态,这一点在实际应用中不具有可行性,其次这种算法未考虑各架无人机观测数据噪声对任务分配的影响。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是提出一种多目标跟踪下多无人机通信决策方法,能够使无人机在进行任务分配的过程中自主决策是否与其它无人机进行通信,避免了实时通信导致的通信资源浪费。

[0005] 为了实现上述目的,本发明的技术方案为:提供一种基于目标跟踪的多无人机通信决策方法,将滤波/预测算法与任务分配算法相结合,构建出无人机通信决策方法,从而在多目标跟踪过程中获得无人机间的信息沟通规则,本发明所采用的方法包括:运动目标观测信息滤波和任务分配下的通信决策两大部分,第一部分主要通过对目标状态信息进行滤波处理,减小各架无人机目标观测信息的噪声干扰,获得较为准确的目标状态,第二部分为任务分配下的通信决策,包括:(1)计算每架无人机与目标的距离代价,产生局部任务分配的最优排序,若局部任务分配结果与当前跟踪任务产生冲突,则发起通信,使局部观测信息得到共享,通信内容为这架无人机对所有目标观测信息的滤波值,(2)若进行通信,接收

信息的无人机将利用共享信息和其观测信息的滤波值对目标状态进行估计,(3)在目标状态估计的基础上无人机更新与目标的距离代价,在此基础上产生新的任务分配结果,若此时任务分配结果与发送信息的无人机任务分配结果一致,无人机将执行新的跟踪任务,否则继续执行上一时刻的跟踪任务。

[0006] 现对本发明的实现步骤说明如下:

$V=\{1, 2, 3, \dots, n\}$  是无人机个数,  $T=\{1, 2, 3, \dots, n\}$  是跟踪的目标个数,假设: ① 每架无人机都知道自身及其它无人机的位置, ② 每架无人机信息传递时延相同(通信时延定义为:无人机  $i \in V$  在  $k$  时刻发送信息,其它无人机在  $k+1$  时刻接收到信息), ③ 编队内每架无人机观测噪声不同, ④ 无人机  $i$  每次通信仅传递它对所有目标观测信息的滤波值。

[0007] 步骤一:每架无人机利用滤波算法获得较为准确的目标状态;

该步骤的一种实现方法为:构建跟踪目标的状态方程,利用卡尔曼滤波器对噪声数据进行滤波处理;

步骤二:在获得目标状态的基础上计算无人机与目标的距离代价,在最小代价下产生任务排序,判断该任务分配结果与当前执行任务是否产生冲突,若冲突则进行通信,否则不通信;

该步骤的一种实现方法为:

(1) 利用步骤一产生的滤波数据,计算每架无人机到每个目标的距离代价  $d_{ij}(k)$ ,  $i \in V, j \in T$ ,并将其归一化;

(2) 根据归一化的距离代价,每架无人机都能获得最小代价下的任务排序结果  $L_i(k)$ ;

(3) 每架无人判断任务排序是否发生改变。若改变就进行通信,通信内容为无人机对所有目标观测信息的滤波值,并执行步骤三。若不改变则不进行通信,返回步骤一,等待下一时刻观测数据到来;

步骤三:接收信息的无人机利用共享信息和其观测信息的滤波值对目标状态进行估计;

目标状态估计的一种实现方法为:假设  $k$  时刻无人机  $i \in \{1, 2, \dots, n\}$  发起通信,由于信息传递延迟,其它  $n-1$  架无人机将在  $k+1$  时刻收到无人机  $i$  发送的滤波信息,此时  $n-1$  架无人机将利用共享信息对所有目标状态进行预测,并通过与该无人机当前时刻观测信息的滤波值进行加权平均估计目标状态;

步骤四:每架无人机更新目标的距离代价,产生新的任务分配结果,若此时任务分配结果与发送信息的无人机任务分配结果一致,无人机将执行新的跟踪任务,否则继续执行上一时刻的跟踪任务;

该步骤的一种实现方法为:

(1) 接收信息的无人机利用目标状态的估计值, 计算距离代价  $d_i^E(k+1)$ , 并将其归一化;

(2) 根据归一化的距离代价产生任务排序  $L_i^E(k+1)$ ;

(3) 判断  $L_i^E(k+1)$  与  $L_i(k)$  排序是否一致, 若一致就进行通信, 并在新的任务分配结果下执行跟踪任务, 否则继续执行上一时刻的跟踪任务。

[0008]

## 附图说明

[0009] 图 1、基于目标跟踪的多无人机通信决策方法原理框图;

图 2、基于目标跟踪的多无人机通信决策方法算法流程图;

图 3、无人机 1 观测的三个目标的位置信息及其对其滤波的结果;

图 4、采样时间 1-402s 的时间内各架无人机的通信情况;

## 具体实施方式

[0010] 如图 1、2 所示, 基于目标跟踪的多无人机通信决策方法, 采用卡尔曼滤波器对目标观测信息进行滤波处理, 实时的更新每架无人机到目标的距离代价, 进而得到每架无人机最小代价下的任务排序, 判断该分配结果与上一时刻任务分配的一致性, 如果二者产生冲突则进行通信, 否则不通信; 如果进行通信, 则接收信息的无人机将对所有目标的状态进行重新估计, 并更新与目标的距离代价和任务排序, 如果每架无人机更新后的任务排序结果一致则执行新的跟踪任务, 否则继续执行上一时刻的跟踪任务。

[0011] 为了实现上述过程, 我们以三架无人机追踪三个目标为例, 但本发明决不限于此实例。三架无人机匀速飞行, 飞行速度分别为 110m/s、115m/s 和 120m/s, 初始位置坐标均为 (500, 500), 初始不分配追踪目标, 三架无人机自主选择追踪目标, 三个目标的初始位置分别为 (4985, 5200)、(2500, 10000) 和 (5500, 8200), 具体的实施方式如下:

步骤一: 对三架无人机观测的三个目标的位置信息使用卡尔曼滤波进行滤波处理

假定目标在两个方向上存在加速度, 对目标进行建模, 其状态方程和观测方程为:

$$S(k) = AS(k-1) + Bu(k) \quad (1)$$

$$X(k) = H(k)S(k) + w(k) \quad (2)$$

其中  $S(k)$  表示  $k$  时刻目标的状态,  $X(k)$  表示  $k$  时刻目标的观测,  $A$  为状态转移矩阵,  $B$  为单位矩阵,  $u(k)$  为  $k$  时刻的激励噪声,  $H(k)$  表示观测矩阵,  $w(k)$  为观测噪声。式 (1) 说明跟踪目标状态的改变是由前一时刻状态和当前激励噪声所决定, 式 (2) 说明观测的数据是由当前状态和观测噪声所决定。

[0012] 滤波过程为:

(1) 利用目标的  $k-1$  时刻位置信息预测  $k$  时刻目标的位置;

$$\hat{S}(k|k-1) = A \hat{S}(k-1|k-1) \tag{3}$$

其中, 为  $k-1$  时刻预测的目标  $k$  时刻位置,  $A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta & 0 & \Delta^2/2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta & 0 & \Delta^2/2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \Delta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \Delta \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ 。

[0013] (2) 计算最小均方误差  $M$ ;

$$M(k|k-1) = A M(k-1|k-1) A^T + B Q B^T \tag{4}$$

其中, 为激励噪声  $u(k)$  的协方差矩阵,  $u(k)$  为高斯白噪声,

$$Q = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.01 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.01 \end{bmatrix}$$
。

[0014] (3) 计算卡尔曼增益矩阵;

$$K(k) = M(k|k-1) H^T (c(k) + H(k) M(k|k-1) H^T(n))^{-1} \tag{5}$$

其中,  $\mathcal{S}(k)$  为观测噪声  $w(k)$  的协方差矩阵, 为高斯白噪声,

$$H(k) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$
。

[0015] (4) 修正;

$$\hat{S}(k|k) = \hat{S}(k|k-1) + K(k) (X(k) - H(k) \hat{S}(k|k-1)) \tag{6}$$

(5) 最小 MSE;

$$M(k|k) = (I - K(k) H(k)) M(k|k-1) \tag{7}$$

(6) 重复以上步骤实现对观测数据的滤波。

[0016] 我们以对无人机 1 观测的三个目标的位置信息进行滤波处理为例, 三个目标

的初始信息均为(4000, 10000, 110, 90, 30, 40), 则无人机 1 观测的三个目标的位置信息及其对其滤波的结果如图 3 所示。

[0017] 步骤二: 在获得目标状态的基础上计算无人机与目标的距离代价, 在最小代价下产生任务排序, 判断该任务分配结果与当前执行任务是否产生冲突, 若冲突则进行通信, 否则不通信;

(1) 利用目标位置的滤波数据, 计算每架无人机到每个目标的距离代价  $d_{ij}(k)$ ;

$$d_{ij}(k) = \sqrt{(x_i(k) - x_{ij}(k))^2 + (y_i(k) - y_{ij}(k))^2} \quad (8)$$

其中,  $(x_i(k), y_i(k))$  为无人机  $i$  的位置,  $(x_{ij}(k), y_{ij}(k))$  为无人机  $i$  对目标  $j$  滤波后的位置坐标。

[0018] (2) 归一化距离代价  $J_{ij}(k)$ ;

$$J_{ij}(k) = \frac{d_{ij}(k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 d_{ij}^2(k)}} \quad (9)$$

(3) 根据归一化的距离代价  $J_{ij}(k)$ , 每架无人机都能获得最小代价下的任务排序结果  $L_i(k)$ ;

(4) 与上一时刻任务排序结果进行比较, 判断当前时刻每架无人机任务排序是否发生改变。若改变就进行通信, 通信内容为这架无人机对所有目标观测信息的滤波值, 并执行步骤三。若不改变则不进行通信, 返回执行步骤一。

$$[0019] \quad \begin{cases} L_i(k) = L_i(k-1), & \text{不通信} \\ L_i(k) \neq L_i(k-1), & \text{通信} \end{cases} \quad (10)$$

我们以无人机 1 为例, 在  $k=3$ 、 $k=4$  时刻无人机 1 计算出的三架无人机到三个目标的距离代价函数 (单位为  $m$ ) 分别如表 1、表 2 所示。对比表 1、表 2 可以看出最优的任务排序发生了改变, 所以在  $k=4$  时刻无人机 1 要进行通信, 将它对三个目标的滤波值发送给无人机 2 和无人机 3。

[0020] 表 1



$d_v(3)$	$T_1$	$T_2$	$T_3$
$V_1$	918.15	975.30	981.90
$V_2$	917.59	974.73	981.34
$V_3$	917.07	947.21	980.82

表 2

$d_{ii}(4)$	$T_1$	$T_2$	$T_3$
$V_1$	872.25	1006.6	1025.7
$V_2$	871.24	1005.5	1024.6
$V_3$	870.22	1004.5	1023.6

步骤三：接收信息的无人机利用共享信息和其观测信息的滤波值对目标状态进行估计；

(1) 无人机根据共享信息，预测当前时刻的目标的状态  $\hat{S}_i(k+1)$ 。

$$[0021] \quad \hat{S}_i(k+1) = A \hat{S}_i^0(k) \quad (11)$$

(2) 若在  $k$  时刻无人机  $i$  进行通信，由于信息传递延迟，编队内其它  $n-1$  架无人机将在  $k+1$  时刻收到无人机  $i$  发送的滤波信息，此时接收信息的  $n-1$  架无人机需要对所有目标位置进行重新估计；

$$\hat{S}_p(k+1|k) = \alpha \cdot \hat{S}_p^0(k+1|k+1) + \frac{(1-\alpha)}{r} \sum_{i=1}^r \hat{S}_i(k+1|k) \quad (12)$$

其中  $\hat{S}_p(k+1|k)$  为第  $p$  ( $p \in V$ ) 架无人机对所有目标状态的估计矩阵， $\hat{S}_p^0(k+1|k+1)$  为第  $p$  架无人机当前时刻获得所有目标状态的滤波值， $\hat{S}_i(k+1|k)$  为第  $i$  架无人机在  $k$  时刻传递滤波信息下的目标状态预测， $r$  ( $r \in V$ ) 为传递信息的无人机集合， $\alpha \in (0, 1)$  表示加权系数，取值为 0.85。

[0022] 步骤四：在目标状态估计的基础上无人机更新与目标的距离代价，在此基础上产生新的任务分配结果，若此时任务分配结果与发送信息的无人机任务分配结果一致，无人机将执行新的跟踪任务，否则继续执行上一时刻的跟踪任务；

(1) 接收信息的无人机利用目标状态的估计值，计算距离代价  $d_v^g(k+1)$ ；

$$d_v^g(k+1) = \sqrt{\left(x_i(k+1) - x_v^g(k+1)\right)^2 + \left(y_i(k+1) - y_v^g(k+1)\right)^2} \quad (13)$$

其中  $(x_v^g, y_v^g)$  为目标状态预测后的位置坐标。

[0023] (2) 归一化距离代价  $J_v^E(k)$ ;

$$J_v^E(k+1) = \frac{d_v^E(k+1)}{\sqrt{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 d_v^{E2}(k+1)}} \quad (14)$$

(3) 接收信息的无人机根据归一化的距离代价  $J_v^E(k+1)$  产生任务排序  $L_i^E(k+1)$ ;

(4) 判断  $L_i^E(k+1)$  与  $L_i(k)$  是否一致, 若一致就进行通信, 并在新的任务分配结果下执行跟踪任务, 否则继续执行上一时刻的跟踪任务。

$$[0024] \quad \begin{cases} L_i^E(k+1) = L_i(k), \text{通信, 更改任务分配策略} \\ L_i^E(k+1) \neq L_i(k), \text{不通信} \end{cases} \quad (15)$$

本实施例中, 我们采用的采样时间间隔为 1s, 在采样时间 1-402s 的时间内各架无人机的通信情况如图 4 所示。从图 4 可以看出, 各架无人机不是在每个采样时刻都进行通信 (取值为 1 表示通信, 取值为 0 表示不通信), 只在最优的任务排序发生改变时才进行通信, 避免了实时通信造成的通信资源的浪费。

[0025] 以上所揭露的仅为本发明的较佳实施例而已, 当然不能以此来限定本发明之权利范围, 因此依本发明权利要求所作的等同变化, 仍属于本发明所涵盖的范围。

[0026]

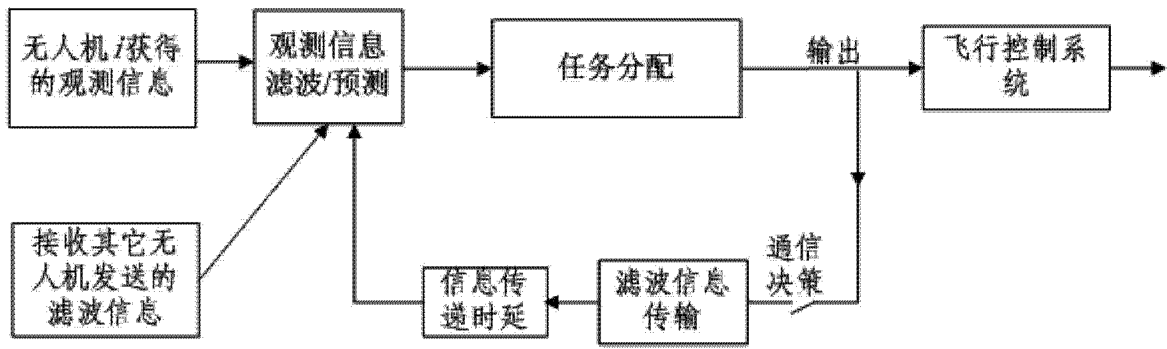


图 1

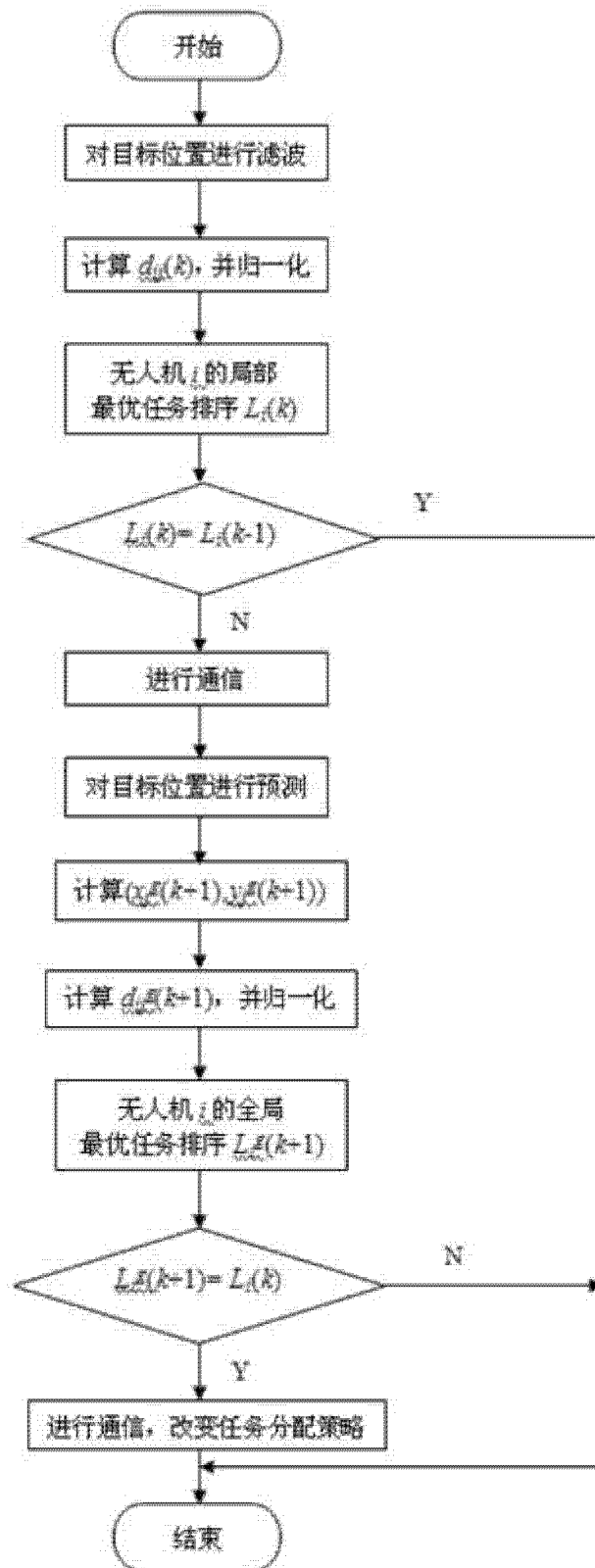


图 2

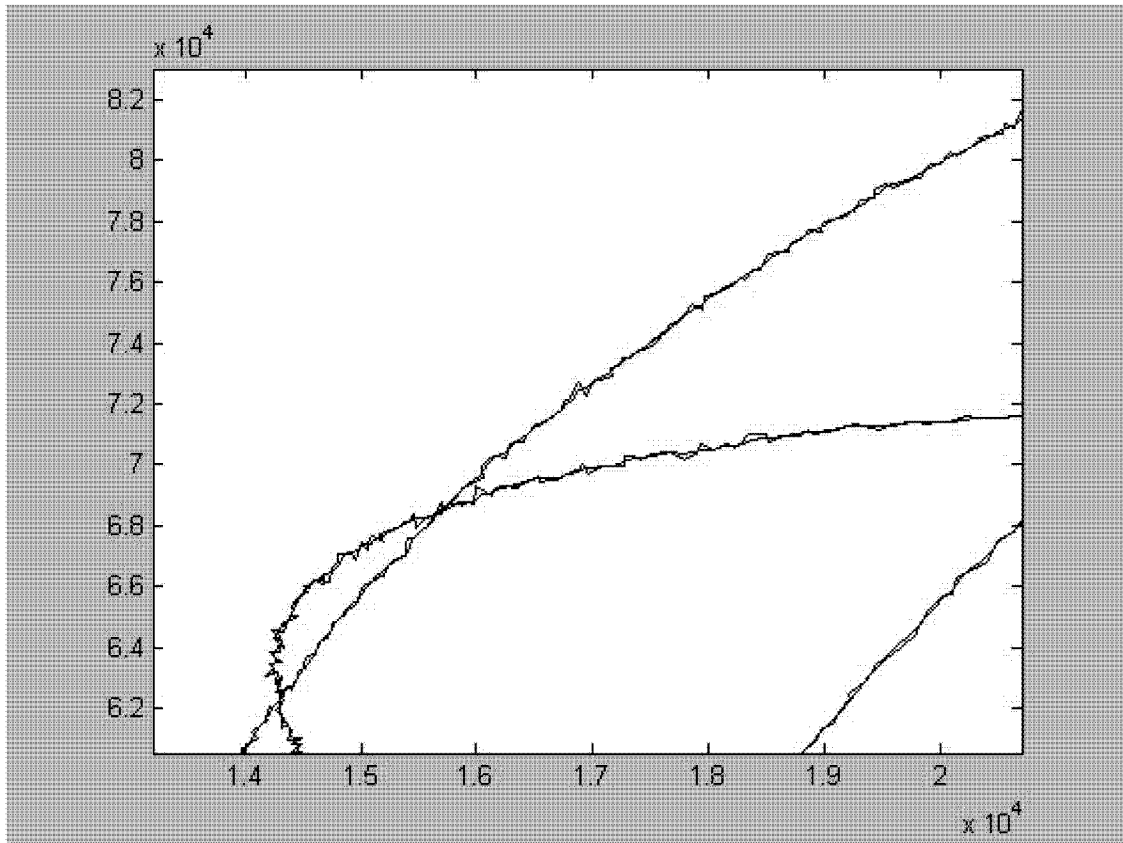


图 3

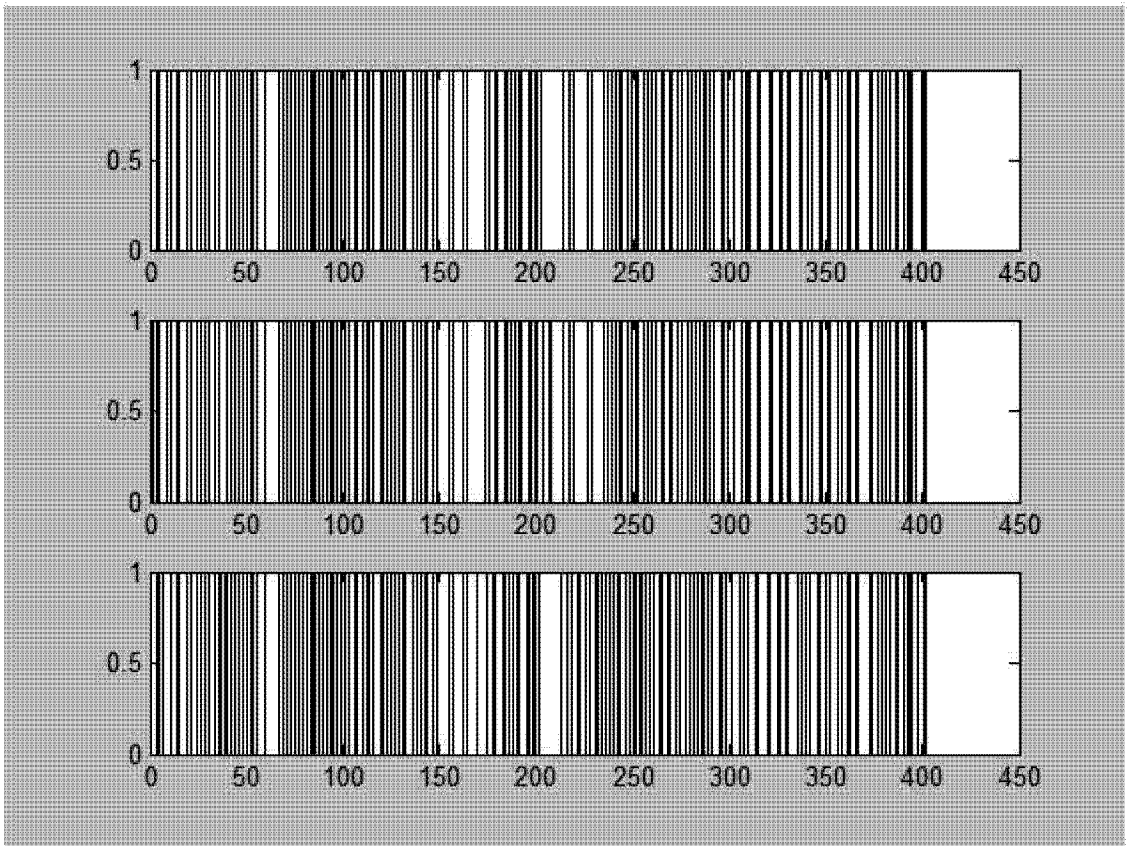


图 4