



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108490429 A

(43)申请公布日 2018.09.04

(21)申请号 201810120330.2

(22)申请日 2018.02.07

(71)申请人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西
大直街92号

(72)发明人 周共健 王倩倩 吴立刚

(74)专利代理机构 北京格允知识产权代理有限
公司 11609

代理人 周娇娇 李亚东

(51) Int. Cl.

G01S 13/72(2006.01)

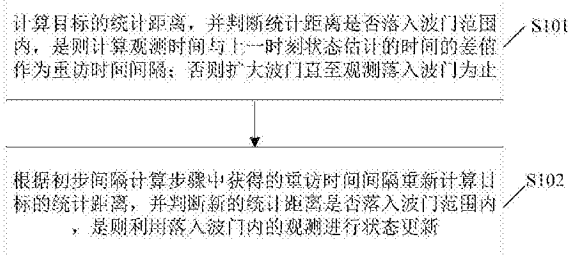
权利要求书4页 说明书12页 附图7页

(54)发明名称

TWS雷达多目标跟踪方法及系统

(57)摘要

本发明涉及一种TWS雷达多目标跟踪方法及系统,其中方法包括:初步间隔计算步骤、计算目标的统计距离,并判断统计距离是否落入波门范围内,是则计算观测时间与上一时刻状态估计的时间的差值作为重访时间间隔;否则扩大波门直至观测落入波门为止;状态更新步骤、根据初步间隔计算步骤中获得的重访时间间隔重新计算目标的统计距离,并判断新的统计距离是否落入波门范围内,是则利用落入波门内的观测进行状态更新。本发明利用落入波门内的观测进一步估计重访间隔,建立了一个新的边扫描边跟踪雷达中求解重访间隔的模型,解决了TWS雷达中重访时间间隔不确定的问题,提高了TWS雷达的跟踪性能,实现了精确跟踪。



1. 一种TWS雷达多目标跟踪方法,其特征在于,包括以下步骤:

初步间隔计算步骤、计算目标的统计距离,并判断统计距离是否落入波门范围内,是则计算观测时间与上一时刻状态估计的时间的差值作为重访时间间隔;否则扩大波门直至观测落入波门为止;

状态更新步骤、根据初步间隔计算步骤中获得的重访时间间隔重新计算目标的统计距离,并判断新的统计距离是否落入波门范围内,是则利用落入波门内的观测进行状态更新。

2. 根据权利要求1所述的TWS雷达多目标跟踪方法,其特征在于,所述初步间隔计算步骤包括以下步骤:

(1) 计算状态的一步预测 $\hat{X}(k+1|k)$ 和一步预测协方差 $P(k+1|k)$;

(2) 根据步骤(1)获得的状态的一步预测和一步预测协方差计算观测的一步预测 $\hat{Z}(k+1|k)$ 和新息协方差 $S(k+1)$;

(3) 根据步骤(2)获得的观测的一步预测 $\hat{Z}(k+1|k)$ 和新息协方差 $S(k+1)$ 计算统计距离 d ;判断统计距离 d 是否不大于预设的门限 γ ,是则计算重访时间间隔 $\hat{t}_i(k+1)=t_i(k+1)-\hat{t}(k)$;其中 $t_i(k+1)$ 为观测时间, $\hat{t}(k)$ 为 k 时刻状态估计的时间;否则扩大波门直至观测落入波门内。

3. 根据权利要求2所述的TWS雷达多目标跟踪方法,其特征在于,所述状态更新步骤包括以下步骤:

(1) 根据初步间隔计算步骤中获得的重访时间间隔重写状态转移矩阵 $F_i(k)$ 和过程噪声分布矩阵 $\Gamma_i(k)$;

(2) 根据步骤(1)中获得的新的状态转移矩阵 $F_i(k)$ 和过程噪声分布矩阵 $\Gamma_i(k)$ 计算状态的一步预测 $\hat{X}(k+1|k)$ 和一步预测协方差 $P(k+1|k)$;

(3) 根据步骤(2)获得的新的状态的一步预测和一步预测协方差计算新的一步预测 $\hat{Z}(k+1|k)$ 和新息协方差 $S(k+1)$;

(4) 根据步骤(3)获得的新的的一步预测 $\hat{Z}(k+1|k)$ 和新息协方差 $S(k+1)$ 计算新的统计距离 d ;判断新的统计距离 d 是否不大于预设的门限 γ ,是则判断观测落入波门内,转步骤(5),否则看成杂波或者虚警不予考虑;

(5) 利用落入波门内的观测进行状态更新。

4. 根据权利要求2所述的TWS雷达多目标跟踪方法,其特征在于,所述状态更新步骤中利用落入波门内的观测进行状态更新的步骤包括:

A、通过以下公式得到最终状态更新输出值:

$$\hat{X}(k+1|k+1) = \sum_{i=1}^{m_k} \hat{X}_i(k+1|k+1);$$

其中, $\hat{X}_i(k+1|k+1) = \hat{X}_i(k+1|k) + K_i(k+1) \sum_{j=1}^{m_k} \beta_j(k+1) v_j(k+1)$ 为第 i 次状态更新值, $K_i(k+1) = P_i(k+1|k) H(k+1)' \cdot S(k+1)^{-1}$ 为增益, $\beta_j(k+1)$ 为互联概率, $v_j(k+1)$ 为观测残差,具体表示为 $v_j = Z(k+1) - \hat{Z}_i(k+1|k)$, $Z(k+1)$ 为 $k+1$ 时刻的观测集, $\hat{Z}_i(k+1|k)$ 为观测的一

步预测, $H(k+1)'$ 为观测矩阵的转置;

B、通过以下公式得到最终状态协方差更新输出值:

$$P(k+1|k+1) = \sum_{i=1}^{m_k} P_i(k+1|k+1); \text{ 其中, } P_i(k+1|k+1) \text{ 为第 } i \text{ 次状态协方差更新值;}$$

c、通过以下公式得到 $k+1$ 时刻的重访时间更新输出值:

$$t(k+1) = \beta_0(k+1) \left(\hat{T}_i(k+1) + t(k) \right) + \sum_{i=1}^{m_i} \beta_i(k+1) t_i(k+1); \text{ 其中 } \hat{T}_i(k+1) \text{ 为初步间隔计算}$$

步骤中计算得到的重访时间间隔, $t_i(k+1)$ 为 $k+1$ 时刻落入波门内的各个观测的时间,

$$t_i(k+1) = \arctan \frac{y_{k+1}}{x_{k+1}} + (k+1) \cdot T, \text{ } x_{k+1}, y_{k+1} \text{ 分别为 } k+1 \text{ 时刻 } x, y \text{ 方向的位置, } T \text{ 为天线扫描周期;}$$

$\beta_i(k+1)$ 为互联概率。

5. 根据权利要求3所述的TWS雷达多目标跟踪方法, 其特征在于, 所述状态更新步骤中对于匀速直线运动通过以下公式重写状态转移矩阵 $F_i(k)$ 和过程噪声分布矩阵 $\Gamma_i(k)$:

$$F_i(k) = \begin{bmatrix} 1 & \hat{T}_i(k+1) & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \hat{T}_i(k+1)_k \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\Gamma_i(k) = \begin{bmatrix} 0.5\hat{T}_i(k+1)^2 & 0 \\ \hat{T}_i(k+1) & 0 \\ 0 & 0.5\hat{T}_i(k+1)^2 \\ 0 & \hat{T}_i(k+1) \end{bmatrix}$$

其中, $\hat{T}_i(k+1)$ 为初步间隔计算步骤中计算得到的重访时间间隔。

6. 一种TWS雷达多目标跟踪系统, 其特征在于, 包括:

初步间隔计算模块, 用于计算目标的统计距离, 并判断统计距离是否落入波门范围内, 是则计算观测时间与上一时刻状态估计的时间的差值作为重访时间间隔; 否则扩大波门直至观测落入波门为止;

状态更新模块, 用于根据初步间隔计算模块中获得的重访时间间隔重新计算目标的统计距离, 并判断新的统计距离是否落入波门范围内, 是则利用落入波门内的观测进行状态更新。

7. 根据权利要求6所述的TWS雷达多目标跟踪系统, 其特征在于, 所述初步间隔计算模块包括:

第一状态预测单元, 用于计算状态的一步预测 $\hat{X}(k+1|k)$ 和一步预测协方差 $P(k+1|k)$;

第一观测预测单元, 用于根据第一状态预测单元获得的状态的一步预测和一步预测协方差计算观测的一步预测 $\hat{Z}(k+1|k)$ 和新息协方差 $S(k+1)$;

第一波门预选单元, 根据第一观测预测单元获得的观测的一步预测 $\hat{Z}(k+1|k)$ 和新息协方差 $S(k+1)$ 计算统计距离 d ; 判断统计距离 d 是否不大于预设的门限 γ , 是则计算重访时间

间隔 $\hat{T}_i(k+1) = t_i(k+1) - \hat{t}(k)$; 其中 $t_i(k+1)$ 为观测时间, $\hat{t}(k)$ 为 k 时刻状态估计的时间; 否则扩大波门直至观测落入波门内。

8. 根据权利要求7所述的TWS雷达多目标跟踪系统, 其特征在于, 所述状态更新模块包括:

矩阵重写单元, 用于根据初步间隔计算模块获得的重访时间间隔重写状态转移矩阵 $F_i(k)$ 和过程噪声分布矩阵 $\Gamma_i(k)$;

第二状态预测单元, 用于根据矩阵重写单元获得的新的状态转移矩阵 $F_i(k)$ 和过程噪声分布矩阵 $\Gamma_i(k)$ 计算状态的一步预测 $\hat{X}(k+1|k)$ 和一步预测协方差 $P(k+1|k)$;

第二观测预测单元, 用于根据第二状态预测单元获得的新的状态的一步预测和一步预测协方差计算新的一步预测 $\hat{Z}(k+1|k)$ 和新息协方差 $S(k+1)$;

第二波门预选单元, 用于根据第二观测预测单元获得的新的一步预测 $\hat{Z}(k+1|k)$ 和新息协方差 $S(k+1)$ 计算新的统计距离 d ; 判断新的统计距离 d 是否不大于预设的门限 γ , 是则判断观测落入波门内, 并利用落入波门内的观测进行状态更新, 否则看成杂波或者虚警不予考虑。

9. 根据权利要求8所述的TWS雷达多目标跟踪系统, 其特征在于, 所述第二波门预选单元利用落入波门内的观测进行状态更新的步骤包括:

A、通过以下公式得到最终状态更新输出值:

$$\hat{X}(k+1|k+1) = \sum_{i=1}^{m_k} \hat{X}_i(k+1|k+1);$$

其中, $\hat{X}_i(k+1|k+1) = \hat{X}_i(k+1|k) + K_i(k+1) \sum_{j=1}^{m_i} \beta_j(k+1) v_j(k+1)$ 为第 i 次状态更新值, $K_i(k+1) = P_i(k+1|k) H(k+1)' \cdot S(k+1)^{-1}$ 为增益, $\beta_j(k+1)$ 为互联概率, $v_j(k+1)$ 为观测残差, 具体表示为 $v_j = Z(k+1) - \hat{Z}_i(k+1|k)$, $Z(k+1)$ 为 $k+1$ 时刻的观测集, $\hat{Z}_i(k+1|k)$ 为观测的一步预测, $H(k+1)'$ 为观测矩阵的转置;

B、通过以下公式得到最终状态协方差更新输出值:

$$P(k+1|k+1) = \sum_{i=1}^{m_k} P_i(k+1|k+1);$$
 其中, $P_i(k+1|k+1)$ 为第 i 次状态协方差更新值;

c、通过以下公式得到 $k+1$ 时刻的重访时间更新输出值:

$t(k+1) = \beta_0(k+1) (\hat{T}_i(k+1) + t(k)) + \sum_{i=1}^{m_k} \beta_i(k+1) t_i(k+1)$; 其中 $\hat{T}_i(k+1)$ 为初步间隔计算步骤中计算得到的重访时间间隔, $t_i(k+1)$ 为 $k+1$ 时刻落入波门内的各个观测的时间, $t_i(k+1) = \arctan \frac{y_{k+1}}{x_{k+1}} + (k+1) \cdot T$, x_{k+1}, y_{k+1} 分别为 x, y 方向的位置, T 为天线扫描周期; $\beta_i(k+1)$ 为互联概率。

10. 根据权利要求8所述的TWS雷达多目标跟踪系统, 其特征在于, 所述矩阵重写单元对于匀速直线运动通过以下公式重写状态转移矩阵 $F_i(k)$ 和过程噪声分布矩阵 $\Gamma_i(k)$:

$$F_i(k) = \begin{bmatrix} 1 & \hat{T}_i(k+1) & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \hat{T}_i(k+1)_k \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\Gamma_i(k) = \begin{bmatrix} 0.5\hat{T}_i(k+1)^2 & 0 \\ \hat{T}_i(k+1) & 0 \\ 0 & 0.5\hat{T}_i(k+1)^2 \\ 0 & \hat{T}_i(k+1) \end{bmatrix}$$

其中, $\hat{T}_i(k+1)$ 为初步间隔计算步骤中计算得到的重访时间间隔。

TWS雷达多目标跟踪方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及雷达目标跟踪技术领域,尤其涉及一种TWS雷达多目标跟踪方法及系统。

背景技术

[0002] 边跟踪边扫描(TWS)雷达因其独特的工作方式被广泛应用于很多场合,如机械扫描雷达和跟踪数据率与搜索数据率相同的相控阵扫描雷达。实际的TWS雷达每次获得观测的时间并非天线扫描周期的整数倍,根据目标的运动特性,当目标的运动方向与天线的扫描方向相同时,目标的重访问隔会大于天线扫描周期;当目标的运动方向与天线的扫描方向相反时,目标的重访问隔会小于天线扫描周期。在跟踪远距离的目标时,目标的重访时间间隔与天线扫描周期近似相等,跟踪误差可以忽略;而在跟踪近距离,尤其是高速运动的目标时,目标的重访时间间隔与天线扫描周期之间相差很大,除了影响跟踪精度外,严重时会导致点迹和航迹的错误关联,甚至跟丢目标。因为重访问隔的不准确,波门预选时会导致真实观测没有落入波门内,在复杂环境下更是会引入虚假观测,从而导致“点航”的错误关联。

[0003] 现有技术中提出了一种方法,通过对点迹和雷达扫描之间相对速度的计算,根据目标的运动特性(相对于雷达扫描方向是同向还是反向),动态地实时计算出航迹应该预测的时间,来估计航迹下次应该出现的位置。但是该方法的缺点是将目标的角度与角速度和时间之间的关系看成单纯的线性关系,与实际情况不符。现有技术中还提出了另一种方法,由机械扫描雷达在处理跟踪问题时,将整个扫描区域划分成扇区,用每个扇区的结束时间作为该扇区内所有观测的重访问隔。该方法在一定程度上减少了真实的重访问隔与所用重访问隔的差别,提高了跟踪精度,但是这样的处理方式对扇区内所有的观测“一概而论”,以偏概全,仍有不足之处。因此,仍然需要一个新的方法,有效地建立TWS雷达的重访时间间隔模型,并运用于后续的跟踪中,以实现精确跟踪。

发明内容

[0004] 本发明要解决的技术问题在于,针对现有的TWS雷达在进行边扫描边跟踪时存在的重访问隔不确定的问题,提出了一种新的TWS雷达多目标跟踪方法及系统,利用落入波门内的观测进一步估计重访问隔,提高了TWS雷达的跟踪性能。

[0005] 为了解决上述技术问题,本发明第一方面,提供了一种TWS雷达多目标跟踪方法,包括以下步骤:

[0006] 初步间隔计算步骤、计算目标的统计距离,并判断统计距离是否落入波门范围内,是则计算观测时间与上一时刻状态估计的时间的差值作为重访时间间隔;否则扩大波门直至观测落入波门为止;

[0007] 状态更新步骤、根据初步间隔计算步骤中获得的重访时间间隔重新计算目标的统计距离,并判断新的统计距离是否落入波门范围内,是则利用落入波门内的观测进行状态更新。

[0008] 在根据本发明所述的TWS雷达多目标跟踪方法中,优选地,所述初步间隔计算步骤包括以下步骤:

[0009] (1) 计算状态的一步预测 $\hat{X}(k+1|k)$ 和一步预测协方差 $P(k+1|k)$;

[0010] (2) 根据步骤(1)获得的状态的一步预测和一步预测协方差计算观测的一步预测 $\hat{Z}(k+1|k)$ 和新息协方差 $S(k+1)$;

[0011] (3) 根据步骤(2)获得的观测的一步预测 $\hat{Z}(k+1|k)$ 和新息协方差 $S(k+1)$ 计算统计距离 d ;判断统计距离 d 是否不大于预设的门限 γ ,是则计算重访时间间隔 $\hat{T}_i(k+1)=t_i(k+1)-\hat{t}(k)$;其中 $t_i(k+1)$ 为观测时间, $\hat{t}(k)$ 为 k 时刻状态估计的时间;否则扩大波门直至观测落入波门内。

[0012] 在根据本发明所述的TWS雷达多目标跟踪方法中,优选地,所述状态更新步骤包括以下步骤:

[0013] (1) 根据初步间隔计算步骤中获得的重访时间间隔重写状态转移矩阵 $F_i(k)$ 和过程噪声分布矩阵 $\Gamma_i(k)$;

[0014] (2) 根据步骤(1)中获得的新的状态转移矩阵 $F_i(k)$ 和过程噪声分布矩阵 $\Gamma_i(k)$ 计算状态的一步预测 $\hat{X}(k+1|k)$ 和一步预测协方差 $P(k+1|k)$;

[0015] (3) 根据步骤(2)获得的新的状态的一步预测和一步预测协方差计算新的一步预测 $\hat{Z}(k+1|k)$ 和新息协方差 $S(k+1)$;

[0016] (4) 根据步骤(3)获得的新的的一步预测 $\hat{Z}(k+1|k)$ 和新息协方差 $S(k+1)$ 计算新的统计距离 d ;判断新的统计距离 d 是否不大于预设的门限 γ ,是则判断观测落入波门内,转步骤(5),否则看成杂波或者虚警不予考虑;

[0017] (5) 利用落入波门内的观测进行状态更新。

[0018] 本发明第二方面,提供了一种TWS雷达多目标跟踪系统,包括:

[0019] 初步间隔计算模块,用于计算目标的统计距离,并判断统计距离是否落入波门范围内,是则计算观测时间与上一时刻状态估计的时间的差值作为重访时间间隔;否则扩大波门直至观测落入波门为止;

[0020] 状态更新模块,用于根据初步间隔计算模块中获得的重访时间间隔重新计算目标的统计距离,并判断新的统计距离是否落入波门范围内,是则利用落入波门内的观测进行状态更新。

[0021] 在根据本发明所述的TWS雷达多目标跟踪系统中,优选地,所述初步间隔计算模块包括:

[0022] 第一状态预测单元,用于计算状态的一步预测 $\hat{X}(k+1|k)$ 和一步预测协方差 $P(k+1|k)$;

[0023] 第一观测预测单元,用于根据第一状态预测单元获得的状态的一步预测和一步预测协方差计算观测的一步预测 $\hat{Z}(k+1|k)$ 和新息协方差 $S(k+1)$;

[0024] 第一波门预选单元,根据第一观测预测单元获得的观测的一步预测 $\hat{Z}(k+1|k)$ 和

新息协方差 $S(k+1)$ 计算统计距离 d ;判断统计距离 d 是否不大于预设的门限 γ ,是则计算重访时间间隔 $\hat{T}_i(k+1)=t_i(k+1)-\hat{t}(k)$;其中 $t_i(k+1)$ 为观测时间, $\hat{t}(k)$ 为 k 时刻状态估计的时间;否则扩大波门直至观测落入波门内。

[0025] 在根据本发明所述的TWS雷达多目标跟踪系统中,优选地,所述状态更新模块包括:

[0026] 矩阵重写单元,用于根据初步间隔计算模块获得的重访时间间隔重写状态转移矩阵 $F_i(k)$ 和过程噪声分布矩阵 $\Gamma_i(k)$;

[0027] 第二状态预测单元,用于根据矩阵重新单元获得的新的状态转移矩阵 $F_i(k)$ 和过程噪声分布矩阵 $\Gamma_i(k)$ 计算状态的一步预测 $\hat{X}(k+1|k)$ 和一步预测协方差 $P(k+1|k)$;

[0028] 第二观测预测单元,用于根据第二状态预测单元获得的新的状态的一步预测和一步预测协方差计算新的一步预测 $\hat{Z}(k+1|k)$ 和新息协方差 $S(k+1)$;

[0029] 第二波门预选单元,用于根据第二观测预测单元获得的新的的一步预测 $\hat{Z}(k+1|k)$ 和新息协方差 $S(k+1)$ 计算新的统计距离 d ;判断新的统计距离 d 是否不大于预设的门限 γ ,是则判断观测落入波门内,并利用落入波门内的观测进行状态更新,否则看成杂波或者虚警不予考虑。

[0030] 实施本发明的TWS雷达多目标跟踪方法及系统,具有以下有益效果:本发明提出了一种准确可靠的TWS雷达多目标跟踪方法,相比传统的TWS雷达跟踪方法,本发明提出了利用落入波门内的观测进一步估计重访问隔的方法,建立了一个新的边扫描边跟踪雷达中求解重访问隔的模型,解决了TWS雷达中重访时间间隔不确定的问题,提高了TWS雷达的跟踪性能,实现了精确跟踪。

附图说明

[0031] 图1为根据本发明第一实施例的TWS雷达多目标跟踪方法的流程图;

[0032] 图2为根据本发明第二实施例的TWS雷达多目标跟踪方法的流程图;

[0033] 图3为根据本发明优选实施例的TWS雷达多目标跟踪系统的模块框图;

[0034] 图4为单目标运动不同算法位置分量的均方根误差图;

[0035] 图5为单目标运动不同算法速度分量的均方根误差图;

[0036] 图6为单目标运动不同算法时间分量的均方根误差图;

[0037] 图7为多目标运动不同算法位置分量的均方根误差图;

[0038] 图8为多目标运动不同算法速度分量的均方根误差图;

[0039] 图9为多目标运动不同算法时间分量的均方根误差图;

[0040] 图10为真实目标的确认数目对比图;

[0041] 图11为虚假航迹的确认数目图。

具体实施方式

[0042] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动的前提下所获得的所有其他实施例,都属于本

发明保护的范围。

[0043] 本发明针对TWS雷达中重访时间间隔不准确的问题,本发明提出了一种新的重访时间间隔估计方法,精确估计重访时间间隔,提高TWS雷达的跟踪精度,继而提供了一种TWS雷达多目标跟踪方法及系统。本发明的主要思想是利用落入波门内的观测时间与上一个时刻更新的状态时间相减,令这个时间差值为该观测的重访时间间隔,重新进行跟踪滤波,最后将重新更新的状态向量加权融合,作为最终的状态更新输出。

[0044] 请参阅图1,为根据本发明第一实施例的TWS雷达多目标跟踪方法的流程图。如图1所示,该实施例提供的TWS雷达多目标跟踪方法包括以下步骤:

[0045] 首先,在步骤S101中,执行初步间隔计算步骤:计算目标的统计距离,并判断统计距离是否落入波门范围内,是则计算观测时间与上一时刻状态估计的时间的差值作为重访时间间隔;否则扩大波门直至观测落入波门为止;

[0046] 随后,在步骤S102中,执行状态更新步骤:根据初步间隔计算步骤中获得的重访时间间隔重新计算目标的统计距离,并判断新的统计距离是否落入波门范围内,是则利用落入波门内的观测进行状态更新。

[0047] 请参阅图2,为根据本发明第二实施例的TWS雷达多目标跟踪方法的流程图。如图2所示,该实施例提供的TWS雷达多目标跟踪方法包括以下步骤:

[0048] 首先,在步骤S201中,流程开始;

[0049] 随后,在步骤S202中,输入k时刻的状态和天线转动周期T;

[0050] 随后,在步骤S203~S208中执行初步间隔计算步骤:

[0051] 在步骤S203中,计算状态的一步预测 $\hat{X}(k+1|k)$ 和一步预测协方差 $P(k+1|k)$:

$$[0052] \quad \hat{X}(k+1|k) = F(k) \hat{X}(k|k);$$

$$[0053] \quad P(k+1|k) = F(k) P(k|k) F(k)' + \Gamma(k) q(k) \Gamma(k)';$$

[0054] 其中, $\hat{X}(k+1|k)$ 为k+1时刻状态的一步预测, $\hat{X}(k|k)$ 为k时刻状态的更新值, $F(k)$ 为k时刻的状态转移矩阵, $P(k+1|k)$ 为k+1时刻状态的一步预测协方差, $P(k|k)$ 为k时刻的更新协方差, $F(k)'$ 为 $F(k)$ 的转置, $\Gamma(k)$ 为k时刻的过程噪声分布矩阵, $\Gamma(k)'$ 为 $\Gamma(k)$ 的转置; $q(k)$ 为k时刻的过程噪声的标准差。

[0055] 在步骤S204中,根据步骤S203获得的状态的一步预测和一步预测协方差,计算观测的一步预测 $\hat{Z}(k+1|k)$ 和新息协方差:

$$[0056] \quad \hat{Z}(k+1|k) = H(k+1) \hat{X}(k+1|k),$$

$$[0057] \quad S(k+1) = H(k+1) P(k+1|k) H(k+1)' + R(k+1)$$

[0058] 其中, $\hat{Z}(k+1|k)$ 为k+1时刻的观测的一步预测, $H(k+1)$ 为k+1时刻的观测矩阵, $\hat{X}(k+1|k)$ 为k+1时刻状态的一步预测, $S(k+1)$ 为k+1时刻观测的新息协方差, $P(k+1|k)$ 为k+1时刻状态的一步预测协方差, $H(k+1)'$ 为观测矩阵的转置, $R(k+1)$ 为k+1时刻观测噪声的协方差阵。

[0059] 在步骤S205中,执行波门预选步骤:根据步骤S204获得的观测的一步预测 $\hat{Z}(k+1|k)$ 和新息协方差 $S(k+1)$ 计算统计距离d:

[0060] $d = (z - \hat{Z}(k+1|k))' S(k+1)^{-1} (z - \hat{Z}(k+1|k))$, 令门限为 γ 。

[0061] 其中, z 为 $k+1$ 时刻的观测集。

[0062] 在步骤S206中, 判断统计距离 d 与预设的门限 γ 的大小:

[0063] 1) 当 $d \leq \gamma$ 时, 观测落入波门内, 转步骤S208求解出观测时间:

$$[0064] \quad t_i(k+1) = \pm \frac{\arctan \frac{y_i}{x_i}}{\omega_{\text{radar}}} + (k+1) \cdot T, i=1, \dots, m_k;$$

[0065] 其中 m_k 为落入波门内的观测个数, T 和 ω_{radar} 分别为天线转动周期和天线转动的角速度; x_i, y_i 分别为第 i 个观测的位置;

[0066] 计算重访时间间隔, 即 $\hat{T}_i(k+1) = t_i(k+1) - \hat{t}(k)$; 其中 $\hat{t}(k)$ 为 k 时刻状态估计的时间。

[0067] 2) 当 $d > \gamma$ 时, 判断观测没有落入波门内, 转步骤S207继续扩大波门(可以扩大门限值 γ), 直至有观测落入波门为止。当有观测落入波门后, 处理方法与1) 相同。

[0068] 随后, 在步骤S209~S213中执行状态更新步骤:

[0069] 在步骤S209中, 根据初步间隔计算步骤中获得的重访时间间隔重写状态转移矩阵 $F_i(k)$ 和过程噪声分布矩阵 $\Gamma_i(k)$:

[0070] 对于匀速直线运动(CV)来说, 二者分别重写如下:

$$[0071] \quad F_i(k) = \begin{bmatrix} 1 & \hat{T}_i(k+1) & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \hat{T}_i(k+1)_k \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$[0072] \quad \Gamma_i(k) = \begin{bmatrix} 0.5\hat{T}_i(k+1)^2 & 0 \\ \hat{T}_i(k+1) & 0 \\ 0 & 0.5\hat{T}_i(k+1)^2 \\ 0 & \hat{T}_i(k+1) \end{bmatrix};$$

[0073] 式中 $\hat{T}_i(k+1)$ 为初步间隔计算步骤中计算得到的重访时间间隔。

[0074] 在步骤S210中, 根据步骤S209中获得的新的状态转移矩阵 $F_i(k)$ 和过程噪声分布矩阵 $\Gamma_i(k)$ 计算状态的一步预测 $\hat{X}(k+1|k)$ 和一步预测协方差 $P(k+1|k)$:

$$[0075] \quad \hat{X}_i(k+1|k) = F_i(k) \hat{X}(k|k);$$

$$[0076] \quad P_i(k+1|k) = F_i(k) P(k|k) F_i(k)' + \Gamma_i(k) q(k) \Gamma_i(k)';$$

[0077] 在步骤S211中, 根据步骤S210获得的新的状态的一步预测和一步预测协方差计算新的一步预测 $\hat{Z}(k+1|k)$ 和新息协方差 $S(k+1)$:

$$[0078] \quad \hat{Z}_i(k+1|k) = H(k+1) \hat{X}_i(k+1|k),$$

$$[0079] \quad S(k+1) = H(k+1) P_i(k+1|k) H(k+1)' + R(k+1);$$

[0080] 在步骤S212中,根据步骤S211获得的新的一步预测 $\hat{Z}(k+1|k)$ 和新息协方差 $S(k+1)$ 计算新的统计距离 d ;

$$[0081] \quad d = \left(z - \hat{Z}(k+1|k) \right)' S(k+1)^{-1} \left(z - \hat{Z}(k+1|k) \right);$$

[0082] 其中, z 为 $k+1$ 时刻的观测集。

[0083] 判断新的统计距离 d 是否不大于预设的门限 γ ,是则判断观测落入波门内,转步骤S213,否则看成杂波或者虚警不予考虑;

[0084] 在步骤S213中,利用落入波门内的观测进行状态更新,包括:

[0085] A、通过以下公式得到最终状态更新输出值:

$$[0086] \quad \hat{X}(k+1|k+1) = \sum_{i=1}^{m_k} \hat{X}_i(k+1|k+1);$$

[0087] 其中, $\hat{X}_i(k+1|k+1) = \hat{X}_i(k+1|k) + K_i(k+1) \sum_{j=1}^{m_k} \beta_j(k+1) v_j(k+1)$ 为第 i 次状态更新值, $K_i(k+1) = P_i(k+1|k) H(k+1)' \cdot S(k+1)^{-1}$ 为增益;

[0088] $\beta_j(k+1)$ 为互联概率,其表达式为:

$$[0089] \quad \beta_0(k+1) = \frac{b}{b + \sum_{l=1}^{m_{k+1}} e_l};$$

$$[0090] \quad \beta_j(k+1) = \frac{e_j}{b + \sum_{l=1}^{m_{k+1}} e_l}, j=1, 2, \dots, m_{k+1}; \text{其中:}$$

$$[0091] \quad b = \lambda \left[2\pi S(k+1) \right]^{\frac{1}{2}} (1 - P_D P_G) / P_D, \quad e_l = \exp \left\{ -\frac{1}{2} v_j(k+1)' S^{-1}(k+1) v_j(k+1) \right\}$$

[0092] P_D 为目标的检测概率, P_G 为门概率, $v_j(k+1)$ 为观测残差,具体表示为

$v_j = Z(k+1) - \hat{Z}_i(k+1|k)$, $Z(k+1)$ 为 $k+1$ 时刻的观测集, $\hat{Z}_i(k+1|k)$ 为观测的一步预测, $H(k+1)'$ 为观测矩阵的转置;

[0093] B、通过以下公式得到最终状态协方差更新输出值:

$$[0094] \quad P(k+1|k+1) = \sum_{i=1}^{m_k} P_i(k+1|k+1); \text{其中, } P_i(k+1|k+1) \text{为第 } i \text{次状态协方差更新值;}$$

值;

$$[0095] \quad P_i(k+1|k+1) = P_i(k+1|k) \beta_0(k+1) + [1 - \beta_0(k+1)] P_i^c(k+1|k+1) + \tilde{P}_i(k+1);$$

$$[0096] \quad P^c(k+1|k+1) = [I - K(k+1) H(k+1)] P(k+1|k);$$

$$[0097] \quad \tilde{P}(k+1) = K(k+1) \left[\sum_{i=1}^{m_{k+1}} \beta_i(k+1) v_i(k+1) v_i(k+1)' - v(k) v(k)' \right] K(k+1)';$$

[0098] 其中 $K(k+1)$ 为增益, $H(k+1)$ 为观测矩阵;

[0099] c、通过以下公式得到 $k+1$ 时刻的重访时间更新输出值:

[0100] $t(k+1) = \beta_0(k+1)(\hat{T}_i(k+1) + t(k)) + \sum_{i=1}^{m_k} \beta_i(k+1)t_i(k+1)$; 其中 $\hat{T}_i(k+1)$ 为初步间隔计算步骤中计算得到的重访时间间隔, $t_i(k+1)$ 为 $k+1$ 时刻落入波门内的观测时间, $t_i(k+1) = \arctan \frac{y_{k+1}}{x_{k+1}} + (k+1) \cdot T$, x_{k+1}, y_{k+1} 分别为 $k+1$ 时刻 x, y 方向的位置, T 为天线扫描周期; $\beta_i(k+1)$ 为互联概率。

[0101] 在步骤S214中, 流程结束。

[0102] 请参阅图3, 为根据本发明优选实施例的TWS雷达多目标跟踪系统的模块框图。如图3所示, 该实施例提供的系统300包括: 初步间隔计算模块301和状态更新模块302。

[0103] 其中, 初步间隔计算模块301用于计算目标的统计距离, 并判断统计距离是否落入波门范围内, 是则计算观测时间与上一时刻状态估计的时间的差值作为重访时间间隔; 否则扩大波门直至观测落入波门为止。

[0104] 状态更新模块302用于根据初步间隔计算模块301获得的重访时间间隔重新计算目标的统计距离, 并判断新的统计距离是否落入波门范围内, 是则利用落入波门内的观测进行状态更新。

[0105] 优选地, 初步间隔计算模块301包括: 第一状态预测单元、第一观测预测单元和第一波门预选单元。

[0106] 其中, 第一状态预测单元用于计算状态的一步预测 $\hat{X}(k+1|k)$ 和一步预测协方差 $P(k+1|k)$ 。该第一状态预测单元的计算过程与前述方法中步骤S203中一致, 在此不再进行赘述。

[0107] 第一观测预测单元用于根据第一状态预测单元获得的状态的一步预测和一步预测协方差计算观测的一步预测 $\hat{Z}(k+1|k)$ 和新息协方差 $S(k+1)$ 。该第一观测预测单元的计算过程与前述方法中步骤S204中一致, 在此不再进行赘述。

[0108] 第一波门预选单元用于根据第一观测预测单元获得的观测的一步预测 $\hat{Z}(k+1|k)$ 和新息协方差 $S(k+1)$ 计算统计距离 d ; 判断统计距离 d 是否不大于预设的门限 γ , 是则计算重访时间间隔 $\hat{T}_i(k+1) = t_i(k+1) - \hat{t}(k)$; 其中 $t_i(k+1)$ 为观测时间, $\hat{t}(k)$ 为 k 时刻状态估计的时间; 否则扩大波门直至观测落入波门内。该第一波门预选单元的计算过程与前述方法中步骤S205~S208中一致, 在此不再进行赘述。

[0109] 优选地, 状态更新模块302包括: 矩阵重写单元、第二状态预测单元、第二观测预测单元和第二波门预选单元。

[0110] 矩阵重写单元用于根据初步间隔计算模块获得的重访时间间隔重写状态转移矩阵 $F_i(k)$ 和过程噪声分布矩阵 $\Gamma_i(k)$ 。该矩阵重写单元的计算过程与前述方法中步骤S209中一致, 在此不再进行赘述。

[0111] 第二状态预测单元用于根据矩阵重新单元获得的新的状态转移矩阵 $F_i(k)$ 和过程噪声分布矩阵 $\Gamma_i(k)$ 计算状态的一步预测 $\hat{X}(k+1|k)$ 和一步预测协方差 $P(k+1|k)$ 。该第二状态预测单元的计算过程与前述方法中步骤S210中一致, 在此不再进行赘述。

[0112] 第二观测预测单元, 用于根据第二状态预测单元获得的新的状态的一步预测和一

步预测协方差计算新的一步预测 $\hat{Z}(k+1|k)$ 和新息协方差 $S(k+1)$ 。该第二观测预测单元的计算过程与前述方法中步骤S211中一致,在此不再进行赘述。

[0113] 第二波门预选单元,用于根据第二观测预测单元获得的新的一步预测 $\hat{Z}(k+1|k)$ 和新息协方差 $S(k+1)$ 计算新的统计距离 d ;判断新的统计距离 d 是否不大于预设的门限 γ ,是则判断观测落入波门内,并利用落入波门内的观测进行状态更新,否则看成杂波或者虚警不予考虑。该第二波门预选单元的计算过程与前述方法中步骤S212~S213中一致,在此不再进行赘述。

[0114] 下面对本发明的具体应用实例进行介绍。

[0115] 1. 有效性分析

[0116] 请参阅图4,为单目标运动不同算法位置分量的均方根误差(RMSE)图。该图为100次蒙特卡洛下对单目标分别进行观测重选算法和传统的跟踪算法求出的位置分量的RMSE对比图,从图中可以看出本发明的观测重选算法在10到40步的跟踪精度明显优于传统的跟踪算法,而后趋于平稳。

[0117] 请参阅图5,为单目标运动不同算法速度分量的均方根误差(RMSE)图。该图为100次蒙特卡洛下对单目标分别进行观测重选算法和传统的跟踪算法求出的速度分量的RMSE对比图,从图中可以看出本发明的观测重选算法的跟踪精度一直优于传统的跟踪算法。

[0118] 请参阅图6,为单目标运动不同算法时间分量的均方根误差(RMSE)图。该图为100次蒙特卡洛下对单目标分别进行观测重选算法和传统的跟踪算法求出的时间分量的RMSE对比图,从图中可以看出本发明的观测重选算法的时间估计精度与传统的跟踪算法的相比,有着显著提升。

[0119] 请参阅图7,为多目标运动不同算法位置分量的均方根误差(RMSE)图。该图为100次蒙特卡洛下对多目标分别进行观测重选算法和传统的跟踪算法求出的位置分量的RMSE对比图,二者在位置的跟踪精度区别不是很明显,但是本发明的观测重选算法的精度仍略优于传统的跟踪算法。

[0120] 请参阅图8,为多目标运动不同算法速度分量的均方根误差(RMSE)图。该图为100次蒙特卡洛下对多目标分别进行观测重选算法和传统的跟踪算法求出的速度分量的RMSE对比图,从图中可以看出本发明的观测重选算法的速度估计精度优于传统的跟踪算法。

[0121] 请参阅图9,为多目标运动不同算法时间分量的均方根误差(RMSE)图。该图为100次蒙特卡洛下对多目标分别进行观测重选算法和传统的跟踪算法求出的时间分量的RMSE对比图,从图中可以看出本发明的观测重选算法的时间精度相较于传统的跟踪算法的精度有大幅提升。

[0122] 请参阅图10,为真实目标的确认数目对比图。该图为100次蒙特卡洛下观测重选算法和传统的跟踪算法的真实目标的确认数目对比图,可以看出本发明的观测重选算法确认真实航迹的收敛速度明显快于传统的跟踪算法,且在前期确认真实航迹的能力优于传统的跟踪算法。

[0123] 请参阅图11,为虚假航迹的确认数目图。该图为100次蒙特卡洛下观测重选算法和传统的跟踪算法的虚假航迹的确认数目对比图,可以看出前期传统的跟踪算法所求得虚假航迹明显高于观测重选算法,与图10中所示内容相对应。

[0124] 2、具体模拟实例

[0125] 在进行仿真实验时,假设目标进行匀速直线运动,其状态转移方程和观测方程分别为:

$$[0126] \quad X(k+1) = F(k)X(k) + \Gamma(k) \cdot v(k);$$

$$[0127] \quad Z(k+1) = h(X(k+1)) + W(k+1);$$

[0128] 其中状态转移矩阵 $F(k)$ 可以表示为

$$[0129] \quad F(k) = \begin{bmatrix} 1 & T_k & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & T_k \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

[0130] 过程噪声为零均值的高斯白噪声,其分布矩阵 $\Gamma(k)$ 可表示为

$$[0131] \quad \Gamma(k) = \begin{bmatrix} 0.5T_k^2 & 0 \\ T_k & 0 \\ 0 & 0.5T_k^2 \\ 0 & T_k \end{bmatrix}。$$

[0132] 而观测方程中的 $h(X(k+1)) = \begin{bmatrix} r \\ \alpha \end{bmatrix}$, r 与 α 分别表示目标的径向距离和方位角。量测

噪声是零均值的高斯白噪声,协方差 $R = \begin{bmatrix} \sigma_r^2 & 0 \\ 0 & \sigma_\alpha^2 \end{bmatrix}$ 。

[0133] 仿真实验中的具体场景设置如下:

[0134] 1) 单目标:

[0135] 目标的初始位置为 $X_1 = [4000 \ -20 \ 4000 \ 20]$,目标观测的检测概率为0.9,过程噪声标准差为 $10^{-3} \text{ (m/s}^2\text{)}$,雷达的观测噪声的距离标准差为20m,角度标准差为0.001rad。天线转动周期 $T = 20\text{s}$,共60次扫描,进行100次的蒙特卡洛仿真。

[0136] 1) 多目标:

[0137] 假设有三条航迹,起始位置分别为:

$$[0138] \quad X_0 = [5000 \ 10 \ 4000 \ -20]$$

$$[0139] \quad X_1 = [4000 \ -20 \ 4000 \ 20]$$

$$[0140] \quad X_2 = [4000 \ 15 \ 3000 \ -15]$$

[0141] 目标观测的检测概率为0.9,过程噪声标准差为 $10^{-3} \text{ (m/s}^2\text{)}$,雷达的观测噪声的距离标准差为20m,角度标准差为0.001rad。天线扫描周期 $T = 20\text{s}$,共60次扫描。采用两点差分初始化方法初始化航迹,其中最大速度200m/s,航迹的初始存在概率为 $P_0 = 0.05$,航迹的确认门限为 $t_c = 0.95$,航迹的终结门限 $t_d = 0.03$ 。

[0142] 仿真实验的具体实现步骤如下:

[0143] 第一步:初始化

[0144] 初始化前两个坐标点,滤波从第三点开始。针对两坐标雷达的数据处理问题,系统的状态向量表示为 $X(k) = [x \ \dot{x} \ y \ \dot{y}]^T$,而直角坐标系下的量测值 $z(k)$ 为

$$[0145] \quad z(k) = \begin{bmatrix} z_1(k) \\ z_2(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x(k) \\ y(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r \cos \theta \\ r \sin \theta \end{bmatrix};$$

[0146] 其中, r 和 θ 分别为极坐标系下雷达的目标径向距离和方位角测量数据。那么系统的初始状态可利用前两个时刻的测量值 $z(0)$ 和 $z(1)$ 来确定, 即

$$[0147] \quad \hat{X}(1|1) = \begin{bmatrix} z_1(1) & \frac{z_1(1) - z_1(0)}{T} & z_2(1) & \frac{z_2(1) - z_2(0)}{T} \end{bmatrix}^T;$$

[0148] k 时刻量测噪声在直角坐标系下的协方差为:

$$[0149] \quad R(k) = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} \\ r_{12} & r_{22} \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} \sigma_r^2 & 0 \\ 0 & \sigma_\theta^2 \end{bmatrix} A^T;$$

[0150] 其中: σ_r^2 和 σ_θ^2 分别为径向距离和方位角测量误差的协方差, 而

$$[0151] \quad A = \begin{bmatrix} \cos \theta & -r \sin \theta \\ \sin \theta & r \cos \theta \end{bmatrix};$$

[0152] 由量测噪声协方差的各元素可得四维状态向量情况下的初始协方差阵为:

$$[0153] \quad P(1|1) = \begin{bmatrix} r_{11}(1) & r_{11}(1)/T & r_{12}(1) & r_{12}(1)/T \\ r_{11}(1)/T & 2r_{11}(1)/T^2 & r_{12}(1)/T & 2r_{12}(1)/T^2 \\ r_{12}(1) & r_{12}(1)/T & r_{22}(1) & r_{22}(1)/T \\ r_{12}(1)/T & 2r_{12}(1)/T^2 & r_{22}(1)/T & 2r_{22}(1)/T^2 \end{bmatrix};$$

[0154] 并且滤波器从第三个点开始滤波。

[0155] 第二步: 计算状态的一步预测 $\hat{X}(k+1|k)$ 和一步预测协方差 $P(k+1|k)$:

$$[0156] \quad \hat{X}(k+1|k) = F(k) \hat{X}(k|k),$$

$$[0157] \quad P(k+1|k) = F(k) P(k|k) F(k)' + \Gamma(k) q(k) \Gamma(k)'$$

[0158] 其中, $q(k)$ 为过程噪声的标准差。

[0159] 第三步: 计算观测的一步预测 $\hat{Z}(k+1|k)$ 和新息协方差 $S(k+1)$:

$$[0160] \quad \hat{Z}(k+1|k) = H(k+1) \hat{X}(k+1|k);$$

$$[0161] \quad S(k+1) = H(k+1) P(k+1|k) H(k+1)' + R(k+1);$$

[0162] 其中, $R(k+1)$ 为观测噪声的协方差阵。

[0163] 第四步: 波门预选:

[0164] 求解统计距离 $d = (z - \hat{Z}(k+1|k))' S(k+1)^{-1} (z - \hat{Z}(k+1|k))$, 令门限为 γ , 有两种情况:

[0165] 1) 当 $d \leq \gamma$ 时, 观测落入波门内, 求解出观测的时间

$$t_i(k+1) = \pm \frac{\arctan \frac{y_i}{x_i}}{\omega_{\text{radar}}} + (k+1) \cdot T, i=1, \dots, m_k, \text{ 其中 } m_k \text{ 为落入波门内的观测个数, } T \text{ 和 } \omega_{\text{radar}} \text{ 分}$$

别为天线转动周期和天线转动的角速度。重访问隔 $\hat{T}_i(k+1) = t_i(k+1) - \hat{t}(k)$, 其中 $\hat{t}(k)$ 为 k 时刻状态估计的时间。

[0166] 2) 当 $d > \gamma$ 时, 观测没有落入波门内, 继续扩大波门 (可以扩大门限值 γ), 直至有观测落入波门为止。当有观测落入波门后, 处理方法与 1) 相同。

[0167] 第五步: 重写状态转移矩阵 $F_i(k)$ 和过程噪声分布矩阵 $\Gamma_i(k)$

[0168] 对于匀速直线运动 (CV) 来说, 二者分别重写如下:

$$[0169] \quad F_i(k) = \begin{bmatrix} 1 & \hat{T}_i(k+1) & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \hat{T}_i(k+1)_k \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$[0170] \quad \Gamma_i(k) = \begin{bmatrix} 0.5\hat{T}_i(k+1)^2 & 0 \\ \hat{T}_i(k+1) & 0 \\ 0 & 0.5\hat{T}_i(k+1)^2 \\ 0 & \hat{T}_i(k+1) \end{bmatrix};$$

[0171] 第七步: 计算新的一步预测 $\hat{X}_i(k+1|k)$ 和一步预测协方差 $P_i(k+1|k)$:

$$[0172] \quad \hat{X}_i(k+1|k) = F_i(k) \hat{X}(k|k);$$

$$[0173] \quad P_i(k+1|k) = F_i(k) P(k|k) F_i(k)' + \Gamma_i(k) q(k) \Gamma_i(k)';$$

[0174] 第八步: 计算新的一步预测 $\hat{Z}(k+1|k)$ 和新息协方差 $S(k+1)$:

$$[0175] \quad \hat{Z}(k+1|k) = H(k+1) \hat{X}_i(k+1|k);$$

$$[0176] \quad S(k+1) = H(k+1) P_i(k+1|k) H(k+1)' + R(k+1);$$

[0177] 第九步: 波门预选

[0178] 按照第四步中的方法求解出统计距离, 再与门限比较。当统计距离小于门限时, 则观测落入波门内, 否则, 看成杂波或者虚警不予考虑。

[0179] 第十步: 利用落入波门内的观测进行状态更新:

[0180] 1) 状态更新:

[0181] 第 i 次状态更新值:

$$[0182] \quad \hat{X}_i(k+1|k+1) = \hat{X}_i(k+1|k) + K_i(k+1) \sum_{j=1}^{m_k} \beta_j(k+1) v_j(k+1)$$

[0183] 最终状态更新输出值:

$$[0184] \quad \hat{X}(k+1|k+1) = \sum_{i=1}^{m_k} \hat{X}_i(k+1|k+1)$$

[0185] 其中, $K_i(k+1) = P_i(k+1|k) H(k+1)' \cdot S(k+1)^{-1}$ 为增益, $\beta_j(k+1)$ 为互联概率, 其表达式

$$[0186] \quad \text{为 } \beta_0(k+1) = \frac{b}{b + \sum_{i=1}^{m_{k+1}} e_i}, \quad \beta_j(k+1) = \frac{e_j}{b + \sum_{i=1}^{m_{k+1}} e_i}, \quad j=1, 2, \dots, m_{k+1}; \text{ 同时有}$$

$$b = \lambda \left[2\pi S(k+1) \right]^{\frac{1}{2}} (1 - P_D P_G) / P_D, \quad e_i = \exp \left\{ -\frac{1}{2} v_j(k+1)' S^{-1}(k+1) v_j(k+1) \right\};$$

[0187] 2) 状态协方差更新:

[0188] 第*i*次状态协方差更新值:

$$[0189] \quad P_i(k+1|k+1) = P_i(k+1|k)\beta_0(k+1) + [1 - \beta_0(k+1)]P_i^c(k+1|k+1) + \tilde{P}_i(k+1)$$

[0190] 最终状态协方差更新输出值:

$$[0191] \quad P(k+1|k+1) = \sum_{i=1}^{m_k} P_i(k+1|k+1)$$

[0192] 其中, $P^c(k+1|k+1) = [I - K(k+1)H(k+1)]P(k+1|k)$,

$$[0193] \quad \tilde{P}(k+1) = K(k+1) \left[\sum_{i=1}^{m_{k+1}} \beta_i(k+1)v_i(k+1)v_i(k+1)' - v(k)v(k)' \right] K(k+1)'$$

[0194] 3) 时间更新:

[0195] $T(k+1) = \beta_0(k+1)\hat{T}_i(k+1) + \sum_{i=1}^{m_k} \beta_i(k+1)t_i(k+1)$, 其中 $\hat{T}_i(k+1)$ 为估计的重访时间间隔, $t_i(k+1)$ 为 $k+1$ 时刻落入波门内的观测的时间,

$$[0196] \quad \hat{T}_i(k+1) = \arctan \frac{y_{k+1}}{x_{k+1}} + (k+1) \cdot T。$$

[0197] 应该理解地是, 本发明中TWS雷达多目标跟踪方法及系统的原理相同, 因此对TWS雷达多目标跟踪方法的实施例的详细阐述也适用于TWS雷达多目标跟踪系统。

[0198] 最后应说明的是: 以上实施例仅用以说明本发明的技术方案, 而非对其限制; 尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明, 本领域的普通技术人员应当理解: 其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改, 或者对其中部分技术特征进行等同替换; 而这些修改或者替换, 并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

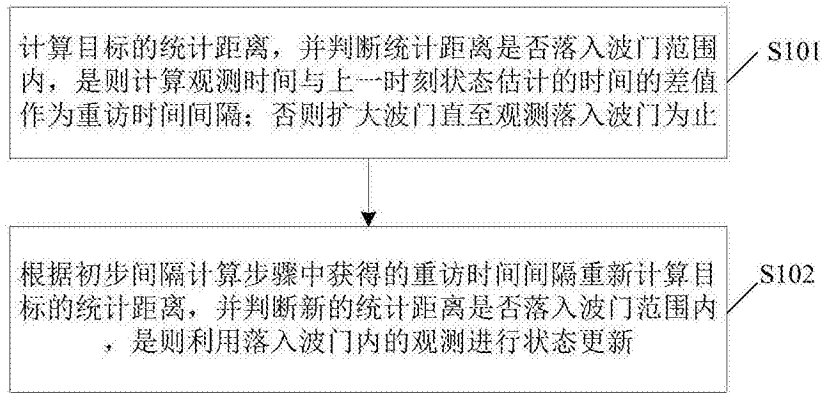


图1

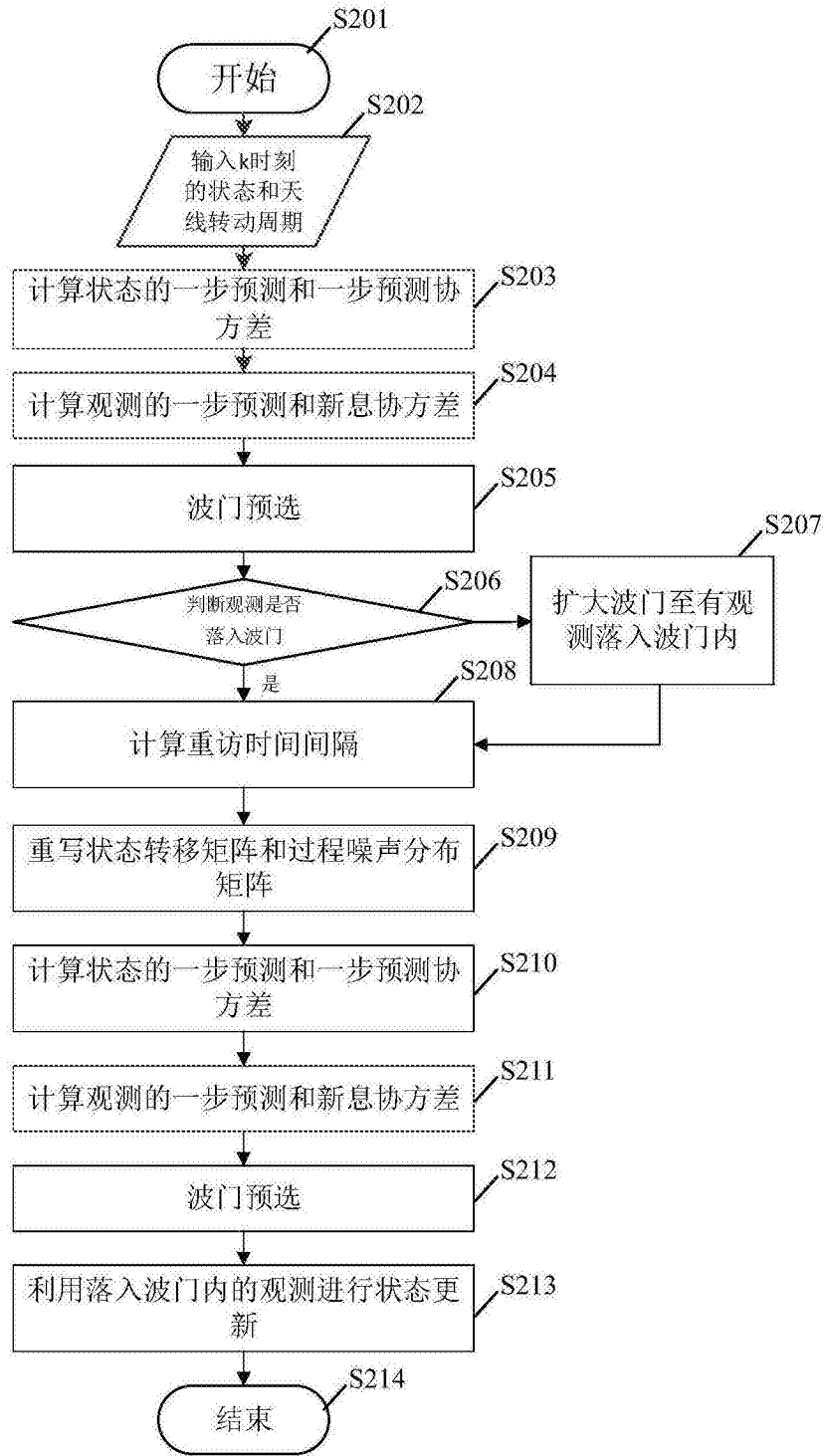


图2

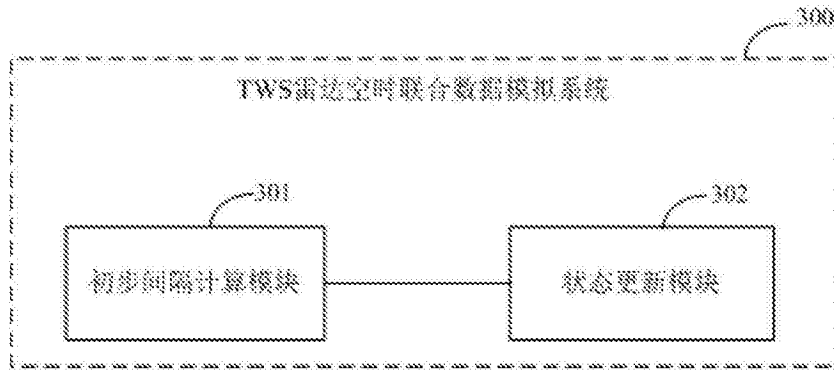


图3

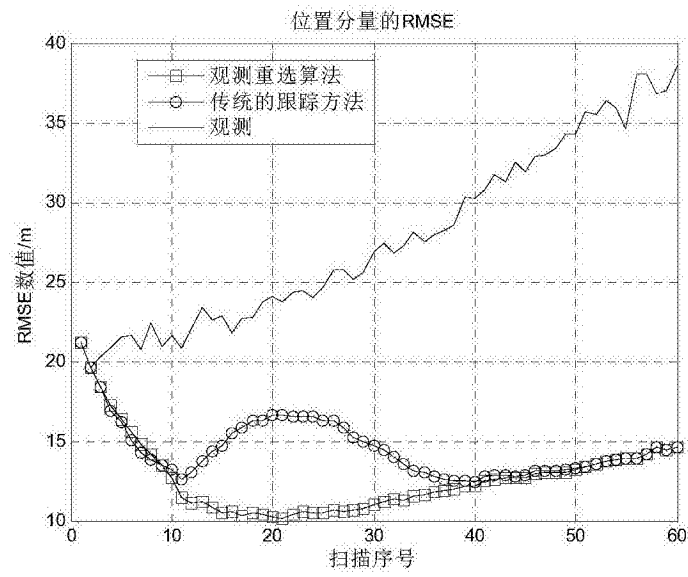


图4

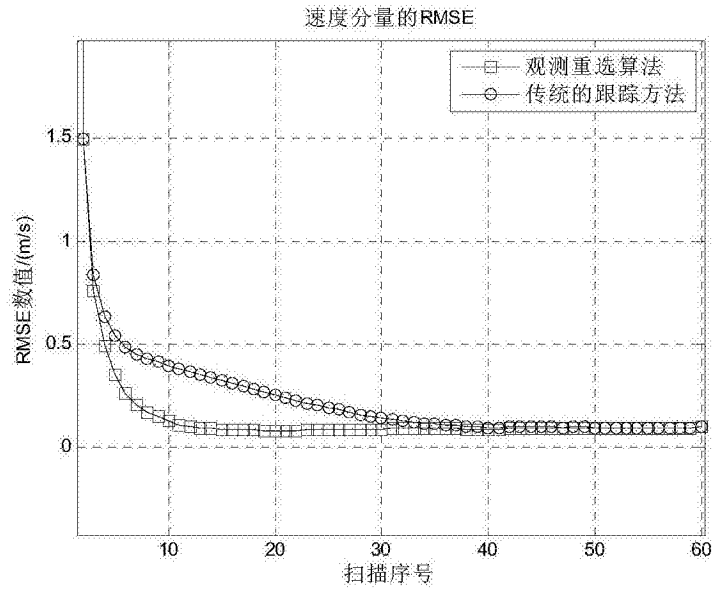


图5

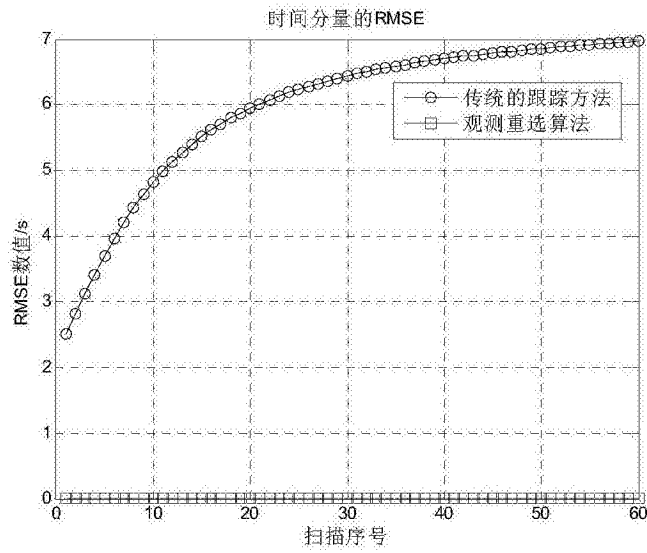


图6

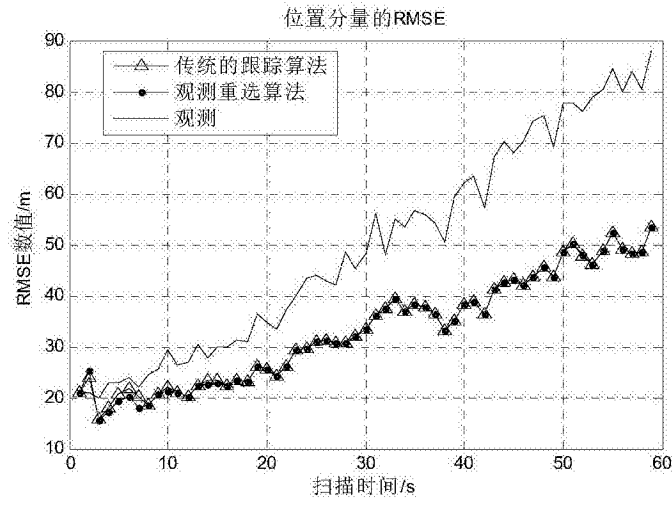


图7

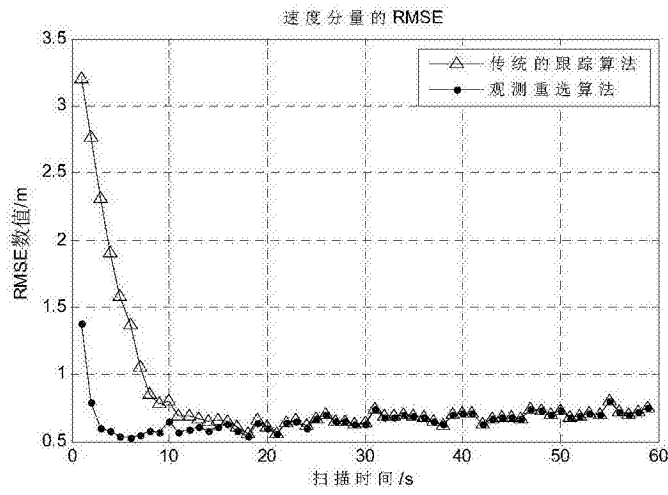


图8

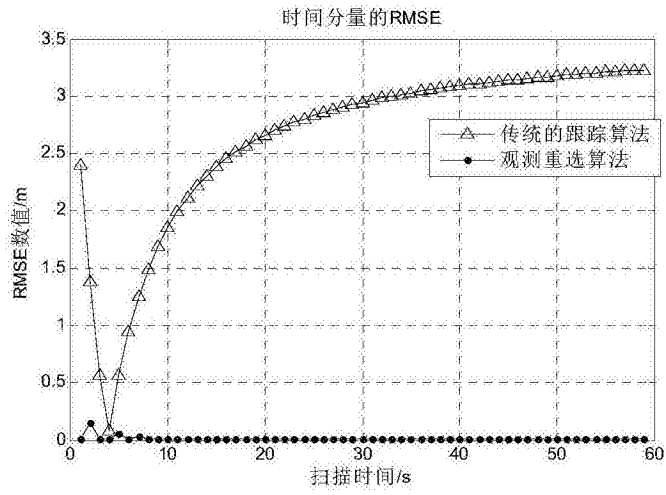


图9

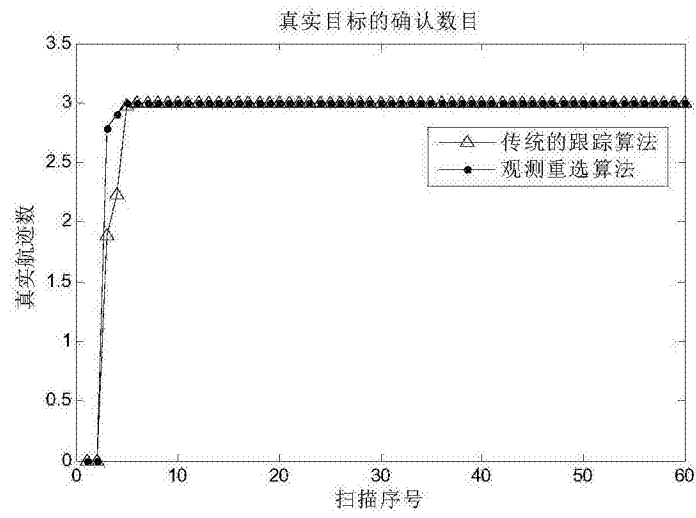


图10

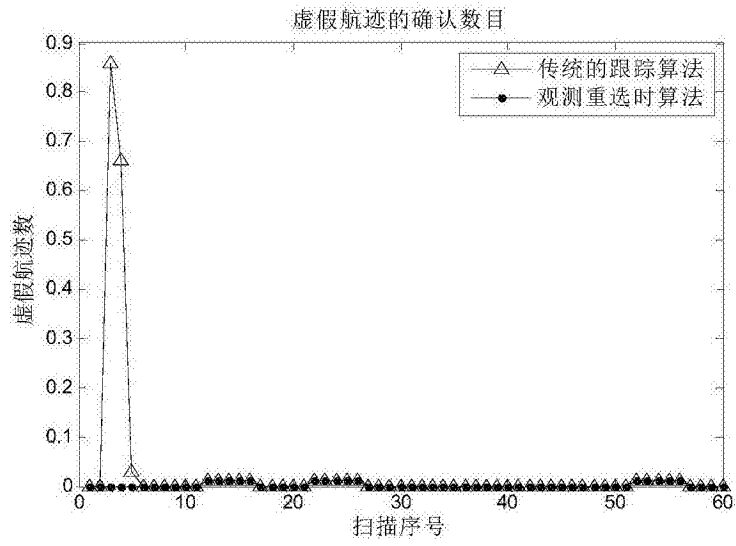


图11