



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104155650 B

(45)授权公告日 2016.11.23

(21)申请号 201410401795.7

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2014.08.14

G01S 13/66(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

审查员 陈溥

申请公布号 CN 104155650 A

(43)申请公布日 2014.11.19

(73)专利权人 电子科技大学

地址 611731 四川省成都市高新区(西区)
西源大道2006号

(72)发明人 孔令讲 李雯雯 吴健 刘羽锐

易伟 崔国龙 李溯琪 杨建宇
杨晓波

(74)专利代理机构 电子科技大学专利中心

51203

代理人 张杨

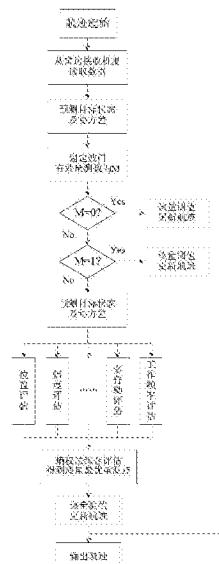
权利要求书3页 说明书8页 附图2页

(54)发明名称

一种基于熵权值法点迹质量评估的目标跟踪方法

(57)摘要

该发明涉及一种基于点迹质量评估的最近邻域目标跟踪方法，属于雷达目标跟踪技术领域，特别涉及一种基于熵权值的多评估指标信息融合的目标跟踪方法。本发明提出了依据点迹的多种特征综合评估改进最近邻域关联度方法。在数据关联时，对落入波门内的点迹综合考虑位置、幅度、多普勒、工作频率四种量测指标，参考预测值或先验信息得到各指标下的评估值，运用熵权值法确定权值，得到综合评估值，利用质量评估中最优量测代替传统方法中离预测点距离最小的量测作为航迹更新。从而提高传感器信息利用率，提高在复杂环境下微弱目标跟踪性能。



1. 一种基于熵权值法点迹质量评估的目标跟踪方法,该方法包括:

步骤1、初始化目标状态X(k)及目标协方差矩阵P(k),k=0;

目标的状态转移方程为:

$$X(k+1)=FX(k)+\omega(k)$$

其中,F为状态转移矩阵, $\omega(k)$ 为零均值的高斯过程噪声,其协方差矩阵为Q,量测模型为:

$$Z(k)=HX(k)+v(k)$$

Z(k)是目标量测,H为观测矩阵,v(k)为零均值的高斯观测噪声,其协方差矩阵为R;

步骤2、根据k-1时刻目标t的状态X(k-1)及其协方差矩阵P(k-1),得到k时刻目标t的状态预测值:

$$X(k|k-1)=FX(k-1)$$

量测预测值:

$$Z(k|k-1)=HX(k|k-1)$$

协方差一步预测值P(k|k-1):

$$P(k|k-1)=FP(k-1)F^T+Q;$$

步骤3、从雷达接收机中读取第k帧位置量测集合 $Z(k)=\{z_i(k)\}_{i=1}^n$, $z_i(k)$ 为k时刻的第i个量测,同时,并获取第k帧量测幅度集合 $A(k)=\{a_i(k)\}_{i=1}^n$ 、多普勒集合 $D(k)=\{d_i(k)\}_{i=1}^n$ 、工作频率集合 $F(k)=\{f_i(k)\}_{i=1}^n$,且每个位置量测值对应三个知识辅助量测指标a(k)、d(k)、f(k),

计算量测值z(k)是否满足下式,若满足则作为候选回波,并统计满足要求的回波个数,

$$[z(k)-Z(k|k-1)]^T S^{-1}(k) \times [z(k)-Z(k|k-1)] \leq \gamma$$

其中S(k)为k时刻的新息协方差 $S(k)=HP(k|k-1)H^T+R$, γ 为预先设定的波门大小;

步骤4、根据步骤3统计得到落入波门内的候选目标个数,来更新目标航迹,

若候选回波个数为零,即没有量测落入相关波门内,用步骤2的预测值更新航迹,转入步骤8.1;

若落入相关波门内的量测值只有一个,则该量测值可直接用于航迹更新,转入步骤8.2;

若有一个以上的回波落入被跟踪目标的相关波门内,则对波门内点迹进行质量评估,选取最优点,转入步骤5;

步骤5、计算各候选回波的空间位置评估值、幅度评估值、多普勒评估值、工作频率评估值,得到各评估指标下的评估向量,再将评估向量组合为一个评估矩阵A;

步骤6、计算出各项评估指标的熵权法权值,组成权值向量;

步骤6.1设 x_{ij} 为点迹质量矩阵A中的元素, $i=1, 2, 3, \dots, m_k$, m_k 为落入波门内的有效量测总个数, $j=1, 2, 3, 4$ 分别代表四项量测指标,然后进行数据平移,即用 $x_{ij}+1$ 作为平移后的 x_{ij} ,因利用熵值求权数时要用对数进行计算,进行数据平移可避免取对数时无意义;

$$\text{步骤6.2计算第 } j \text{ 项指标下第 } i \text{ 个因子的值在此项指标中所占的比重 } p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^{m_k} x_{ij}};$$

步骤6.3计算第j项指标的熵值 $e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^{m_k} p_{ij} \ln p_{ij}$;

步骤6.4计算第j项指标的差异系数: $g_j = \frac{1-e_j}{\sum_{j=1}^n (1-e_j)}$;

步骤6.5计算权值 $w_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^n g_j}$, 得到四项评估指标权值向量;

步骤7、将步骤5得到的评估矩阵与步骤6得到的权值向量相乘,得到最终质量评估值V=Aw,找到评估值V中最大值对应的位置*i_{op}*,得到波门内最优量测z_{op}(k);

步骤8、计算目标t的滤波增益矩阵K(k)=P(k|k-1)H(k)S(k)⁻¹,得到状态更新表达式x(k|k),进行航迹更新;

步骤8.1若候选回波个数为零,即没有量测落入相关波门内,利用预测点更新航迹;

$$x(k|k) = x(k|k-1)$$

$$P(k|k) = P(k|k-1)$$

步骤8.2若落入相关波门内的量测值只有一个,则该量测值可直接用于航迹更新;

$$x(k|k) = x(k|k-1) + K(k)[z(k) - H(k|x(k-1))]$$

$$P(k|k) = P(k|k-1) - K(k)H(k)P(k|k-1)$$

步骤8.3若波门内有多个点,则选取经过点迹质量评估后用最优点更新航迹

$$x(k|k) = x(k|k-1) + K(k)[z_{op}(k) - Z(k|k-1)]$$

$$P(k|k) = P(k|k-1) - K(k)H(k)P(k|k-1)$$

2. 如权利要求1所述的一种基于熵权法点迹质量评估的目标跟踪方法,其特征在于步骤5的具体步骤为:

步骤5.1计算空间位置评估值:

在k时刻,波门内m_k个有效状态量测为z_i(k),i=1,2,3,...,m_k,第i个状态量测的滤波残差向量为v_i(k)=z_i(k)-Z(k|k-1),其与预测位置的统计距离为D_i²(k)=v_i^T(k)S_i⁻¹(k)v_i(k),第i个有效量测的空间位置评估值为:

$$m_s(i) = \begin{cases} \frac{\min(D_1, D_2, \dots, D_{m_k})}{D_i}, & D_i \neq 0 \\ 1, & D_i = 0 \end{cases}, \quad i=1,2,3,\dots,m_k;$$

步骤5.2计算幅度评估值:

在k时刻,波门内m_k个有效观测幅度信息为a_i(k),i=1,2,3,...,m_k,定义幅度评估值m_a:

$$m_a(a_i(k)) = \frac{p_1^T(a_i(k))}{p_1^T(a_i(k)) + p_0^T(a_i(k))}$$

其中, $p_0^T(a) = \frac{1}{P_{fa}} p_0(a)$, $p_1^T(a) = \frac{1}{P_d} p_1(a)$; p₀(a)回波信号仅来自于噪声或杂波时幅度

的概率密度函数,p₁(a)为回波信号包含目标信号时的概率密度函数,T为检测门限,p_{fa}、p_d分别为虚警概率、检测概率;

步骤5.3计算多普勒评估值：

在k时刻,波门内 m_k 个有效观测的多普勒信息为 $d_i(k)$, $i=1,2,3,\dots,m_k$,设第k-1次采样时该跟踪波门所对应目标的多普勒频率观测值为 $d(k-1)$,记观测多普勒差 $\Delta d_i(k)=|d_i(k)-d(k-1)|$,多普勒频率的评估值记为 m_d :

$$m_d(i) = \begin{cases} \frac{\min(\Delta d_1, \Delta d_2, \dots, \Delta d_{m_k})}{\Delta d_i}, & \Delta d_i \neq 0 \\ 1, & \Delta d_i = 0 \end{cases};$$

步骤5.4工作频率的评估值：

在k时刻,波门内 m_k 个有效观测工作频率信息为 $f_i(k)$, $i=1,2,3,\dots,m_k$,设第k-1次采样时该跟踪波门所对应目标的工作频率观测值为 $f(k-1)$,记 $\Delta f_i(k)=|f_i(k)-f(k-1)|$,为观测频差,工作频率的评估值记为 m_f ,仅考虑固定频率FIX类型的目标,第i个有效观测的 m_f 为:

$$m_f(i) = \begin{cases} 1, & \Delta f_i \leq \varepsilon f \\ \frac{(\Delta f_i - 2\varepsilon f)^2}{\varepsilon f^2}, & \varepsilon f \leq \Delta f_i \leq 2\varepsilon f \\ 0, & \Delta f_i \geq 2\varepsilon f \end{cases}$$

其中 εf 是由系统噪声与量测噪声所确定的测频容差;

步骤5.5将步骤5.1、5.2、5.3、5.4得到的各评估指标组成点迹质量评估矩阵A,即 $A=[m_s; m_a; m_d; m_f]^T$ 。

一种基于熵权值法点迹质量评估的目标跟踪方法

技术领域

[0001] 本发明属于雷达目标跟踪技术领域,特别涉及一种基于熵权值的多评估指标信息融合的目标跟踪方法。

技术背景

[0002] 目前,由于雷达监视场景中的山地、城市、海洋等形成的强杂波、强噪声背景的干扰,目标本身的机动、隐身的影响,雷达目标跟踪技术面临着巨大的挑战。在复杂背景下,有些杂波无论在时域还是频域上都与目标相似,恒虚警检测技术难以有效区分杂波与目标,大量的虚假点迹给后端目标跟踪、数据关联带来巨大挑战。

[0003] 目标跟踪问题的核心部分是数据关联。常见的数据关联方法主要有最近邻方法(NN)和概率数据关联方法(PDA)等,它们均是利用传感器获取与目标状态向量计算直接相关的信息,如文献“Tracking in clutter with nearest neighbor filters:Analysis and performance.IEEE Trans.Aerospace Electron.Syst.32:995–1010”提出了一种最近邻的数据关联算法,用离预测值统计距离最近的点更新航迹,该算法具有计算量小和对杂波分布变化鲁棒性好的特点,但在杂波密度较高的环境中,仅考虑位置信息作硬判决,很可能造成误跟或丢失目标的情况。事实上,传感器并不只是获取点迹的位置信息,还可以获得更多的有关目标的其它特征数据。在无源多目标跟踪过程中,通常可以直接用于计算目标状态的量测数据包括信号到达方向(DOA)、信号到达时间(TOA)以及多普勒频率、幅度等。无源定位系统可获得的辐射源特征数据包括:极化相位、工作频率、脉宽、脉幅、脉冲重复周期等。文献“王杰贵,罗景青.基于多目标多特征信息融合数据关联的无源跟踪方法[J].电子学报,2004,32(6):1013–1016.2004(06)”中,在跟踪时利用了目标的频率、脉宽、脉冲重复周期三种知识辅助特征,并分别看作不同的证据源,利用Dempster-Shafer证据理论进行多特征信息融合,得到各个有效观测与真实目标的关联度,但该方法并未充分考虑特征之间的相互关系,在信息合成权值分配时“视具体情况而定”,即采用经验权值,这样导致在实际应用中带有一定主观性,即使是同一操作者,在不同的时间和环境对同一对象也往往会有不一致的主观判断。这必然使信息合成过程带有很大程度的主观臆断性,从而使信息合成结果的可信度下降,难以保证跟踪性能,缺乏通用性。

发明内容

[0004] 本发明的目的是针对背景技术的不足之处改进设计一种基于熵权值法点迹质量评估的目标跟踪方法,该方法在最近邻域基础上,首先建立评估模型,利用运筹学中的熵权值法对波门内点的多种指标进行综合评估,用质量评估最优点来更新航迹,从而提高传感器信息利用率,提高在复杂环境下微弱目标跟踪性能。

[0005] 本发明一种基于熵权值法点迹质量评估的目标跟踪方法,该方法包括:

[0006] 步骤1、初始化目标状态 $X(k)$ 及目标协方差矩阵 $P(k), k=0$;

[0007] 目标的状态转移方程为:

- [0008] $X(k+1) = FX(k) + \omega(k)$
- [0009] 其中, F 为状态转移矩阵, $\omega(k)$ 为零均值的高斯过程噪声, 其协方差矩阵为 Q , 量测模型为:
- [0010] $Z(k) = HX(k) + v(k)$
- [0011] $Z(k)$ 是目标量测, H 为观测矩阵, $v(k)$ 为零均值的高斯观测噪声, 其协方差矩阵为 R ;
- [0012] 步骤2、根据 $k-1$ 时刻目标 t 的状态 $X(k-1)$ 及其协方差矩阵 $P(k-1)$, 得到 k 时刻目标 t 的状态预测值:
- [0013] $X(k|k-1) = FX(k-1)$
- [0014] 量测预测值:
- [0015] $Z(k|k-1) = HX(k|k-1)$
- [0016] 协方差一步预测值 $P(k|k-1)$:
- [0017] $P(k|k-1) = FP(k-1)F^T + Q;$
- [0018] 步骤3、从雷达接收机中读取第 k 帧位置量测集合 $Z(k) = \{z_i(k)\}_{i=1}^n$, $z_i(k)$ 为 k 时刻的第 i 个量测, 同时, 并获取第 k 帧量测幅度集合 $A(k) = \{a_i(k)\}_{i=1}^n$ 、多普勒集合 $D(k) = \{d_i(k)\}_{i=1}^n$ 、工作频率集合 $F(k) = \{f_i(k)\}_{i=1}^n$, 且每个位置量测值对应三个知识辅助量测指标 $a(k)$ 、 $d(k)$ 、 $f(k)$,
- [0019] 计算量测值 $z(k)$ 是否满足下式, 若满足则作为候选回波, 并统计满足要求的回波个数,
- [0020] $[z(k) - Z(k|k-1)]^T S^{-1}(k) \times [z(k) - Z(k|k-1)] \leq \gamma$
- [0021] 其中 $S(k)$ 为 k 时刻的新息协方差 $S(k) = HP(k|k-1)H^T + R$, γ 为预先设定的波门大小;
- [0022] 步骤4、根据步骤3统计得到落入波门内的候选目标个数, 来更新目标航迹,
- [0023] 若候选回波个数为零, 即没有量测落入相关波门内, 用步骤2的预测值更新航迹, 转入步骤8.1;
- [0024] 若落入相关波门内的量测值只有一个, 则该量测值可直接用于航迹更新, 转入步骤8.2;
- [0025] 若有一个以上的回波落入被跟踪目标的相关波门内, 则对波门内点迹进行质量评估, 选取最优点, 转入步骤5;
- [0026] 步骤5、计算各候选回波的空间位置评估值、幅度评估值、多普勒评估值、工作频率评估值, 得到各评估指标下的评估向量, 再将评估向量组合为一个评估矩阵 A ;
- [0027] 步骤6、计算出各项评估指标的熵权法权值, 组成权值向量;
- [0028] 步骤6.1 设 x_{ij} 为点迹质量矩阵 A 中的元素, $i = 1, 2, 3, \dots, m_k$, m_k 为落入波门内的有效量测总个数, $j = 1, 2, 3, 4$ 分别代表四项量测指标, 然后进行数据平移, 即用 x_{ij+1} 作为平移后的 x_{ij} , 因利用熵值求权数时要用对数进行计算, 进行数据平移可避免取对数时无意义;
- [0029] 步骤6.2 计算第 j 项指标下第 i 个因子的值在此项指标中所占的比重 $p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^{m_k} x_{ij}}$;

[0030] 步骤6.3计算第j项指标的熵值 $e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^{m_k} p_{ij} \ln p_{ij}$;

[0031] 步骤6.4计算第j项指标的差异系数: $g_j = \frac{1-e_j}{\sum_{j=1}^n (1-e_j)}$;

[0032] 步骤6.5计算权值 $w_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^n g_j}$, 得到四项评估指标权值向量;

[0033] 步骤7、将步骤5得到的评估矩阵与步骤6得到的权值向量相乘,得到最终质量评估值V=Aw,找到评估值V中最大值对应的位置i_{op},得到波门内最优量测z_{op}(k);

[0034] 步骤8、计算目标t的滤波增益矩阵K(k)=P(k|k-1)H(k)S(k)⁻¹,得到状态更新表达式x(k|k),进行航迹更新;

[0035] 步骤8.1若候选回波个数为零,即没有量测落入相关波门内,利用预测点更新航迹;

[0036] $x(k|k) = x(k|k-1)$

[0037] $P(k|k) = P(k|k-1)$

[0038] 步骤8.2若落入相关波门内的量测值只有一个,则该量测值可直接用于航迹更新;

[0039] $x(k|k) = x(k|k-1) + K(k)[z(k) - Hx(k|k-1)]$

[0040] $P(k|k) = P(k|k-1) - K(k)H P(k|k-1)$

[0041] 步骤8.3若波门内有多个点,则选取经过点迹质量评估后用最优点更新航迹

[0042] $x(k|k) = x(k|k-1) + K(k)[z_{op}(k) - Z(k|k-1)]$

[0043] $P(k|k) = P(k|k-1) - K(k)H P(k|k-1)$ 。

[0044] 所述步骤5的具体步骤为:

[0045] 步骤5.1计算空间位置评估值:

[0046] 在k时刻,波门内m_k个有效状态量测为z_i(k), $i=1,2,3,\dots,m_k$,第i个状态量测的滤波残差向量为v_i(k)=z_i(k)-Z(k|k-1),其与预测位置的统计距离为 $D_i^2(k) = v_i^T(k)S_i^{-1}(k)v_i(k)$,第i个有效量测的空间位置评估值为:

[0047] $m_s(i) = \begin{cases} \frac{\min(D_1, D_2, \dots, D_{m_k})}{D_i}, & D_i \neq 0, \\ 1, & D_i = 0 \end{cases}, \quad i=1,2,3,\dots,m_k;$

[0048] 步骤5.2计算幅度评估值:

[0049] 在k时刻,波门内m_k个有效观测幅度信息为a_i(k), $i=1,2,3,\dots,m_k$,定义幅度评估值m_a:

[0050] $m_a(a_i(k)) = \frac{p_1^T(a_i(k))}{p_1^T(a_i(k)) + p_0^T(a_i(k))}$

[0051] 其中, $p_0^T(a) = \frac{1}{P_{fa}} p_0(a)$, $p_1^T(a) = \frac{1}{P_d} p_1(a)$;p₀(a)回波信号仅来自于噪声或杂波时

幅度的概率密度函数,p₁(a)为回波信号包含目标信号时的概率密度函数,T为检测门限,

p_{fa} 、 p_d 分别为虚警概率、检测概率；

[0052] 步骤5.3计算多普勒评估值：

[0053] 在k时刻，波门内 m_k 个有效观测的多普勒信息为 $d_i(k)$, $i=1, 2, 3, \dots, m_k$, 设第k-1次采样时该跟踪波门所对应目标的多普勒频率观测值为 $d(k-1)$, 记观测多普勒差 $\Delta d_i(k) = |d_i(k)-d(k-1)|$, 多普勒频率的评估值记为 m_d :

$$[0054] m_d(i) = \begin{cases} \frac{\min(\Delta d_1, \Delta d_2, \dots, \Delta d_{m_k})}{\Delta d_i}, & \Delta d_i \neq 0 \\ 1, & \Delta d_i = 0 \end{cases};$$

[0055] 步骤5.4工作频率的评估值：

[0056] 在k时刻，波门内 m_k 个有效观测工作频率信息为 $f_i(k)$, $i=1, 2, 3, \dots, m_k$, 设第k-1次采样时该跟踪波门所对应目标的工作频率观测值为 $f(k-1)$, 记 $\Delta f_i(k) = |f_i(k)-f(k-1)|$, 为观测频差，工作频率的评估值记为 m_f , 仅考虑固定频率FIX类型的目标，第i个有效观测的 m_f 为：

$$[0057] m_f(i) = \begin{cases} 1, & \Delta f_i \leq \varepsilon f \\ \frac{(\Delta f_i - 2\varepsilon f)^2}{\varepsilon f^2}, & \varepsilon f \leq \Delta f_i \leq 2\varepsilon f \\ 0, & \Delta f_i \geq 2\varepsilon f \end{cases}$$

[0058] 其中 εf 是由系统噪声与量测噪声所确定的测频容差；

[0059] 步骤5.5将步骤5.1、5.2、5.3、5.4得到的各评估指标组成点迹质量评估矩阵A, 即 $A = [m_s; m_a; m_d; m_f]^T$ 。

[0060] 本发明一种基于熵权值法点迹质量评估的目标跟踪方法, 利用预测信息从每一种特征角度分析该点迹源自目标的可能性, 并运用运筹学中的综合评估方法——熵权法确定多指标评估的权值, 进而对点迹质量有客观全面的评估、排序, 利用点迹质量评估中最优量测取代最近邻域法中离预测点最近量测来更新航迹, 从而具有建立的质量评估模型适用于多种不同的知识辅助信息融合, 求解过程简单, 提高了传感器信息利用率, 提高弱目标的跟踪性能的效果。

附图说明

[0061] 图1为本发明的流程图；

[0062] 图2为本发明与传统最近邻域跟踪算法在数据关联时的示意图；

[0063] 图3为在 $P_{fa}=0.01$ 时改进后最近邻域跟踪与传统最近邻域跟踪蒙特卡洛200次均方误差曲线对比曲线图。

具体实施方式

[0064] 本发明主要采用计算机仿真的方法进行验证, 所有步骤、结论都在MATLAB-R2010b上验证正确。具体实施步骤如下：

[0065] 步骤1、输入航迹, 并计算k时刻的预测值；

[0066] 考虑直角坐标系中的一个匀速直线运动目标, 设目标的初始状态为 $X(0)=[80m,$

6m/s, 100m, 0m/s], 航迹前两帧已起始。具体参数设置如表1、表2。在k时刻, 得到目标的状态预测值 $X(k|k-1)$: $X(k|k-1)=FX(k-1)$, 及协方差一步预测值 $P(k|k-1)$: $P(k|k-1)=FP(k-1)F^T+Q$ 。

$$[0067] \quad \text{其中 } F = \begin{bmatrix} 1 & T & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

[0068] 步骤2、计算落入波门内的候选回波, 并统计其个数:

[0069] 从雷达接收机中读取第k帧量测位置集合 $Z(k)=\{z_i(k)\}_{i=1}^n$, $z_i(k)$ 为k时刻的第i个量测, 同时, 还获取了第k帧量测幅度集合 $A(k)=\{a_i(k)\}_{i=1}^n$ 、多普勒集合 $D(k)=\{d_i(k)\}_{i=1}^n$ 、工作频率集合 $F(k)=\{f_i(k)\}_{i=1}^n$ 。

[0070] 当目标量测值 $z(k)$ 满足式 $[z(k)-Z(k|k-1)]^T S^{-1}(k) \times [z(k)-Z(k|k-1)] \leq \gamma$ 时, 则作为候选回波, 统计候选回波的个数;

[0071] 2.1若候选回波个数为零, 即没有量测落入相关波门内, 用预测点更新航迹, 转入步骤6.1;

[0072] 2.2若落入相关波门内的量测值只有一个, 则该量测值可直接用于航迹更新, 转入步骤6.2;

[0073] 2.3若有一个以上的回波落入被跟踪目标的相关波门内, 则对波门内点迹进行质量评估, 选取最优点, 转入步骤3

[0074] 步骤3、评估模型的建立, 特征的评估:

[0075] 3.1空间位置的评估值

[0076] 在k时刻, 波门内有效观测状态量测为 $z_i(k)$, $i=1, 2, 3, \dots, m_k$, 第i个观测的状态量测的滤波残差向量为 $v_i(k)=z_i(k)-x_i(k|k-1)$, 其与预测位置的统计距离 $D_i^2(k)=v_i^T(k)S_i^{-1}(k)v_i(k)$ 。定义第i个有效观测的状态量测评估值为:

$$[0077] \quad m_s(i) = \begin{cases} \frac{\min(D_1, D_2, \dots, D_{m_k})}{D_i}, & D_i \neq 0 \\ 1, & D_i = 0 \end{cases}, \quad i=1, 2, 3, \dots, m_k.$$

[0078] 3.2幅度的评估值

[0079] 在k时刻, 波门内 m_k 个有效观测幅度信息为 $a_i(k)$, $i=1, 2, 3, \dots, m_k$ 。定义幅度指标

下的评估值 m_a , $m_a(a_i(k))=\frac{p_1^T(a_i(k))}{p_1^T(a_i(k))+p_0^T(a_i(k))}$ 。其中, $p_0^T(a)=\frac{1}{P_{fa}}p_0(a)$, $p_1^T(a)=\frac{1}{P_d}p_1(a)$;

其中 $p_0(a)=\frac{a}{\sigma^2}\exp(-\frac{a^2}{2\sigma^2})$, $p_1(a)=\frac{a}{\sigma^2+\sigma_s^2}\exp(-\frac{a^2}{2(\sigma^2+\sigma_s^2)})$, 其中 σ^2 复高斯噪声的功率谱

密度, σ_s^2 为复高斯信号的功率谱密度, 且信噪比 $\text{SNR}=10\lg(\sigma_s^2/\sigma^2)$ 。

[0080] 3.3多普勒的评估值

[0081] 在k时刻, 波门内有效观测的多普勒信息为 $d_i(k)$, $i=1, 2, 3, \dots, m_k$, 设第k-1次采样时该跟踪门所对应目标的多普勒频率观测值为 $d(k-1)$, 记观测多普勒差 $\Delta d_i(k)=|d_i(k)-d(k-1)|$

(k)-d(k-1)|, 定义多普勒频率的评估值记为 m_d :

$$[0082] \quad m_d(i) = \begin{cases} \frac{\min(\Delta d_1, \Delta d_2, \dots, \Delta d_{m_k})}{\Delta d_i}, & \Delta d_i \neq 0 \\ 1, & \Delta d_i = 0 \end{cases}$$

[0083] 3.4 工作频率的评估值

[0084] 在k时刻, 波门内有效观测工作频率信息为 $f_i(k)$, $i=1, 2, 3, \dots, m_k$ 。设第k-1次采样时该跟踪门所对应目标的工作频率观测值为 $f(k-1)$, 记 $\Delta f_i(k) = |f_i(k) - f(k-1)|$, 为观测频差。定义工作频率的评估值记为 m_f , 仅考虑固定频率(FIX)类型的目标, 第i个有效观测的 m_f 定义为:

$$[0085] \quad m_f(i) = \begin{cases} 1, & \Delta f_i \leq \epsilon f \\ \frac{(\Delta f_i - 2\epsilon f)^2}{\epsilon f^2}, & \epsilon f \leq \Delta f_i \leq 2\epsilon f \\ 0, & \Delta f_i \geq 2\epsilon f \end{cases}$$

[0086] 其中 ϵf 是由系统噪声与量测噪声所确定的测频容差。

[0087] 3.5 将步骤3.1、3.2、3.3、3.4得到的各评估指标组成点迹质量评估矩阵A, 即 $A = [m_s; m_a; m_d; m_f]^T$ 。

[0088] 步骤4、熵权法权值的计算:

[0089] 4.1 设 x_{ij} 为点迹质量矩阵A中元素, $i=1, 2, 3, \dots, m_k$, $j=1, 2, 3, 4$, 因利用熵值求权数时要用对数进行计算, 进行数据平移 $x_{ij} = x_{ij} + 1$, 可避免取对数时无意义;

[0090] 4.2 计算第j项指标下第i个因子的值在此指标中所占的比重 $p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}$;

[0091] 4.3 计算第j项指标的熵值 $e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}$;

[0092] 4.4 计算第j项指标的差异系数。对于第j项指标, 指标值 x_{ij} 的差异越大, 熵值就越

小。差异值系数的定义: $g_j = \frac{1-e_j}{\sum_{j=1}^n (1-e_j)}$;

[0093] 4.5 求权值 $w_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^n g_j}$, ($1 \leq j \leq n$), 得到权值向量。

[0094] 步骤5、综合质量评估

[0095] 将评估值矩阵与权值向量相乘, 得到最终质量评估值 $V = Aw$ 。找到评估值V中最大元素对应的位置 i_{op} , 得到波门内最优量测 $z_{op}(k)$ 。

[0096] 步骤6、航迹更新

[0097] 计算目标t的滤波增益矩阵 $K(k)$, $K(k) = P(k|k-1)H(k)S(k)^{-1}$, 得到状态更新表达式 $x(k|k)$:

[0098] 6.1 若候选回波个数为零, 即没有量测落入相关波门内, 利用预测点更新航迹

- [0099] $x(k|k) = x(k|k-1)$
- [0100] $P(k|k) = P(k|k-1)$
- [0101] 6.2若落入相关波门内的量测值只有一个,则该量测值可直接用于航迹更新
- [0102] $x(k|k) = x(k|k-1) + K(z)[z(k) - Hx(k|k-1)]$
- [0103] $P(k|k) = P(k|k-1) - K(k)HP(k|k-1)$
- [0104] 6.3若波门内有多个点,则选取经过点迹质量评估后用最优点更新航迹
- [0105] $x(k|k) = x(k|k-1) + K(z)[z_{op}(k) - Hx(k|k-1)]$
- [0106] $P(k|k) = P(k|k-1) - K(k)HP(k|k-1)$
- [0107] 6.4重复返回步骤1,直到跟踪结束。
- [0108] 表1基本参数表

参数	符号	数值
扫描间隔	T	1s
总帧数	N	25
数据平面	D_P	300×200
虚警概率	P_{fa}	0.001
检测概率	P_d	0.7
过程噪声谱密度	q	0.01
测量噪声协方差	R	$diag(2,2)$
第一门限	c_1	3
第二门限	c_2	8
航迹丢失判别	m	6
信杂比	SCR	10dB
蒙特卡洛次数	M_T	200

- [0110] 表2知识辅助参数表

	幅度		多普勒		工作频率	
	分布	参数	分布	数值	分布	数值 (MHZ)
[0111]	目标	瑞利分布	10	无	径向速度	无 5000
	背景杂波	瑞利分布	1	均匀分布	[-2,2]	均匀分布 [4000,6000]

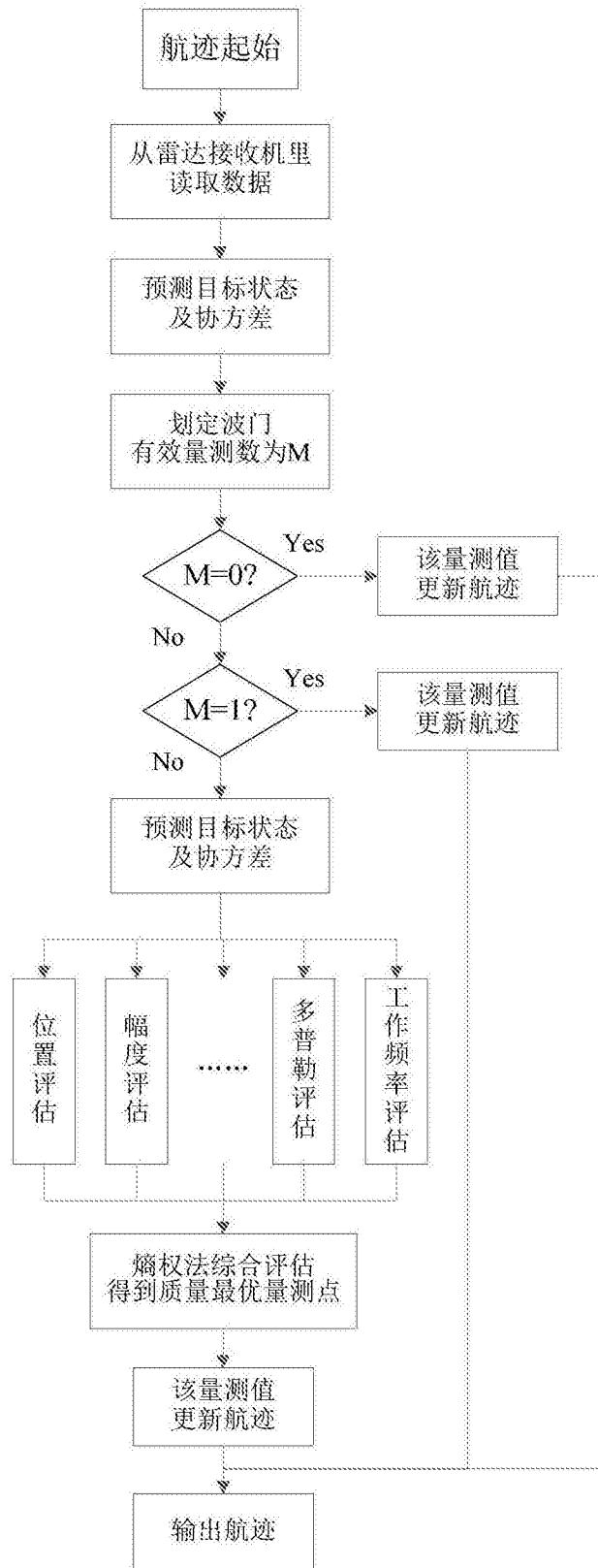


图1

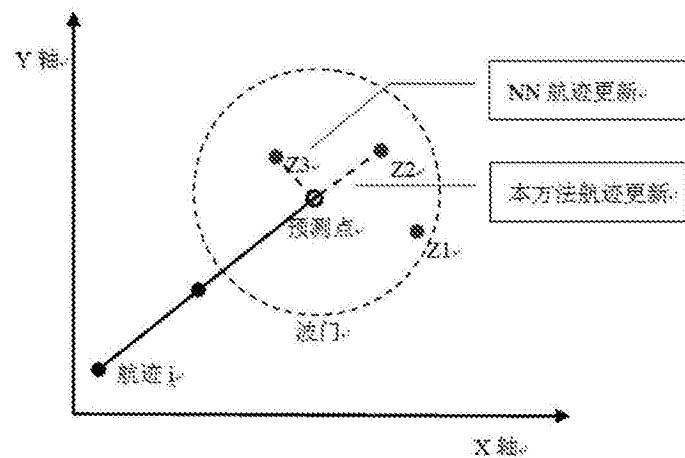


图2

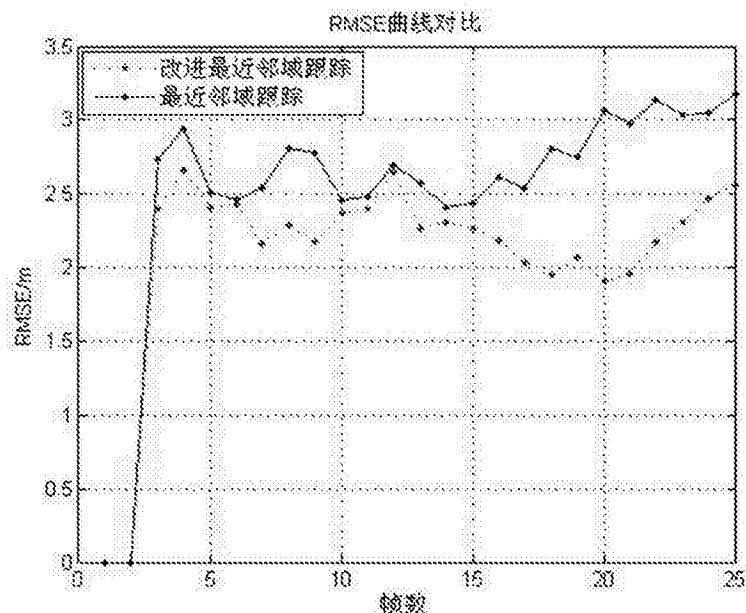


图3