

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2016 年 12 月 1 日 (01.12.2016)



(10) 国际公布号
WO 2016/187870 A1

(51) 国际专利分类号:
G06F 19/00 (2011.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2015/080051

(22) 国际申请日: 2015 年 5 月 28 日 (28.05.2015)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(71) 申请人: 深圳大学 (SHENZHEN UNIVERSITY)
[CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区南海大道 3688
号, Guangdong 518000 (CN)。

(72) 发明人: 刘宗香 (LIU, Zongxiang); 中国广东省深圳市南山区南海大道 3688 号, Guangdong 518000 (CN)。 李丽娟 (LI, Lijuan); 中国广东省深圳市南山区南海大道 3688 号, Guangdong 518000 (CN)。 谢维信 (XIE, Weixin); 中国广东省深圳市南山区南海大道 3688 号, Guangdong 518000 (CN)。 李良群 (LI, Liangqun); 中国广东省深圳市南山区南海大道 3688 号, Guangdong 518000 (CN)。

(74) 代理人: 深圳市恒申知识产权事务所 (普通合伙) (HENSEN INTELLECTUAL PROPERTY FIRM); 中国广东省深圳市福田区南园路 68 号上步大厦 10H, Guangdong 518000 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,

[见续页]

(54) Title: TARGET TRACKING METHOD AND TRACKING SYSTEM MEASURING AND DRIVING BY PROPAGATING MARGINAL DISTRIBUTION

(54) 发明名称: 一种传递边缘分布的测量驱动目标跟踪方法与跟踪系统

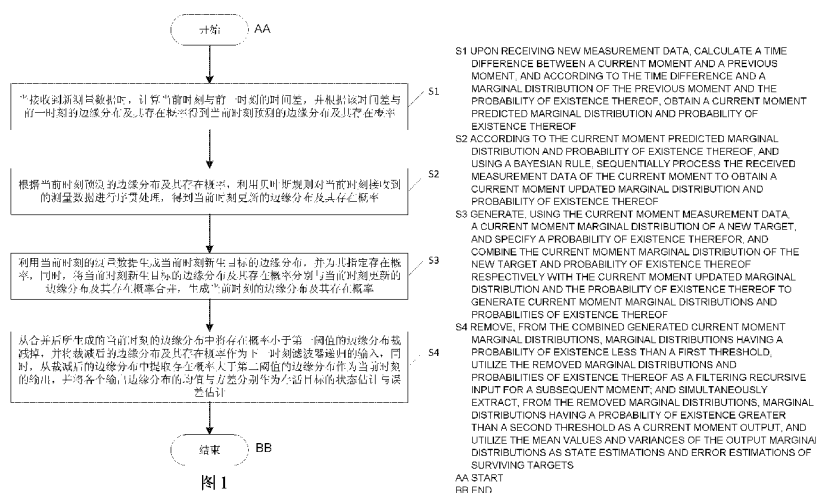


图 1

(57) Abstract: The present invention relates to the field of multi-sensor information integration, and provides a target tracking method and tracking system measuring and driving by propagating a marginal distribution, comprising: according to a previous moment marginal distribution and probability of existence thereof, obtaining a current moment predicted marginal distribution and probability of existence thereof; according to the predicted marginal distribution and probability of existence thereof, and using a Bayesian rule, sequentially processing measurement data of the current moment to obtain an updated marginal distribution and probability of existence thereof; generating, using the current moment measurement data, a current moment marginal distribution of a new target, and specifying a probability of existence thereof; combining the same respectively with the updated marginal distribution and the probability of existence thereof to generate current moment marginal distributions and probabilities of existence thereof; removing, from the marginal distributions of the current moment, marginal distributions having a probability of existence less than a first threshold, the removed marginal distributions and probabilities of existence thereof serving as a recursive input for a subsequent moment; and simultaneously extracting marginal distributions having a probability of existence greater than a second threshold as a current moment output.

(57) 摘要:

[见续页]



NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

- (84) **指定国** (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT,

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

本发明适用于多传感器信息融合领域, 提供了一种传递边缘分布的测量驱动目标跟踪方法, 包括: 根据前一时刻的边缘分布及其存在概率得到当前时刻预测的边缘分布及其存在概率; 根据预测的边缘分布及其存在概率, 利用贝叶斯规则对当前时刻的测量数据序贯处理得到更新的边缘分布及其存在概率; 利用当前时刻的测量数据生成当前时刻新生目标的边缘分布, 为其指定存在概率, 并将它们分别与更新的边缘分布及其存在概率合并, 生成当前时刻的边缘分布及其存在概率; 将生成的当前时刻的边缘分布中存在概率小于第一阈值的边缘分布裁减掉, 裁减后的边缘分布及其存在概率作为下一时刻递归的输入, 同时, 提取存在概率大于第二阈值的边缘分布作为当前时刻的输出。

一种传递边缘分布的测量驱动目标跟踪方法与跟踪系统

技术领域

本发明属于多传感器信息融合技术领域，尤其涉及一种传递边缘分布的测量驱动目标跟踪方法与跟踪系统。

背景技术

多目标贝叶斯滤波方法是解决目标检测和跟踪的有效方法。然而，在实际应用过程中，我们发现多目标贝叶斯滤波方法存在以下两个问题：一是对测量数据处理时需要等到一个周期的所有测量数据全部收到后才能开始处理，这样，如果传感器的测量周期过长，测量数据在一个周期内不同的时刻接收到，收到的测量数据在等待周期内得不到及时处理会造成严重的信息延迟。二是滤波器的递归需要知道目标的初始位置，当目标初始位置信息无法获取时，滤波器难以使用。信息处理的延迟问题、未知目标初始位置情况下的多目标跟踪问题是多目标贝叶斯滤波方法需要探索和解决的关键技术问题。

发明内容

本发明所要解决的技术问题在于提供一种传递边缘分布的测量驱动目标跟踪方法与跟踪系统，旨在解决新收到的测量数据不能被及时处理而产生的信息延迟问题以及未知目标初始位置情况下的多目标跟踪问题。本发明是这样实现的：

一种传递边缘分布的测量驱动目标跟踪方法，包括以下步骤：

步骤 1：当接收到新测量数据时，计算当前时刻与前一时刻的时间差，并根据该时间差与前一时刻的边缘分布及其存在概率得到当前时刻预测的边缘分布及其存在概率；

步骤 2：根据当前时刻预测的边缘分布及其存在概率，利用贝叶斯规则对当前时刻接收到的测量数据进行序贯处理，得到当前时刻更

新的边缘分布及其存在概率；

步骤 3：利用当前时刻的测量数据生成当前时刻新生目标的边缘分布，并为其指定存在概率，同时，将当前时刻新生目标的边缘分布及其存在概率分别与当前时刻更新的边缘分布及其存在概率合并，生成当前时刻的边缘分布及其存在概率；

步骤 4：从合并后所生成的当前时刻的边缘分布中将存在概率小于第一阈值的边缘分布裁减掉，并将裁减后的边缘分布及其存在概率作为下一时刻滤波器递归的输入，同时，从裁减后的边缘分布中提取存在概率大于第二阈值的边缘分布作为当前时刻的输出，并将各个输出边缘分布的均值与方差分别作为存活目标的状态估计与误差估计。

进一步地，所述步骤 1 中，以 $k-1$ 表示前一时刻， k 表示当前时刻， t_{k-1} 表示前一时刻的时间， t_k 表示当前时刻的时间；

已知前一时刻的边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k-1}; \mathbf{m}_{i,k-1}, \mathbf{P}_{i,k-1})$ ， $i=1,2,\dots,n_{k-1}$ ；前一时刻各边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k-1}$ ， $i=1,2,\dots,n_{k-1}$ ；其中， N 为高斯分布， $\mathbf{x}_{i,k-1}$ 为前一时刻第 i 个边缘分布的状态， $\mathbf{m}_{i,k-1}$ 为前一时刻第 i 个边缘分布的均值， $\mathbf{P}_{i,k-1}$ 为前一时刻第 i 个边缘分布的方差， n_{k-1} 为前一时刻目标的总数， i 为索引号；

由前一时刻的边缘分布，前一时刻各边缘分布的存在概率，以及当前时刻与前一时刻的时间差得到当前时刻各目标的预测边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k|k-1}, \mathbf{P}_{i,k|k-1})$ ， $i=1,2,\dots,n_{k-1}$ ；当前时刻各目标预测边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k|k-1} = p_{S,k}(t_k, t_{k-1}) \rho_{i,k-1}$ ， $i=1,2,\dots,n_{k-1}$ ；其中， $\mathbf{m}_{i,k|k-1} = \mathbf{F}_{k-1} \mathbf{m}_{i,k-1}$ ，为当前时刻第 i 个边缘分布的均值； $\mathbf{P}_{i,k|k-1} = \mathbf{Q}_{k-1} + \mathbf{F}_{k-1} \mathbf{P}_{i,k-1} \mathbf{F}_{k-1}^T$ ，为当前时刻第 i 个边缘分布的方差； $p_{S,k}(t_k, t_{k-1}) = \exp\left(-\frac{\Delta t}{\delta \cdot T}\right)$ ，为目标的幸存概率；

$\Delta t = t_k - t_{k-1}$ ，为当前时刻与前一时刻的时间差； δ 为已知常数； T 为采

样周期； $\mathbf{F}_{k-1} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t_k & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \Delta t_k \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ ，为前一时刻的状态转移矩阵； $\mathbf{Q}_{k-1}$ 为

前一时刻的过程噪声方差矩阵；上标 T 表示矩阵的转置。

进一步地，所述步骤 2 中，设当前时刻接收到的测量数据为 $\mathbf{y}_k = (\mathbf{y}_{1,k}, \dots, \mathbf{y}_{M,k})$ ，其中， M 为当前时刻接收到的测量数据总数；利用贝叶斯规则对当前时刻接收到的测量数据进行序贯处理的步骤包括：

步骤 A：取边缘分布 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^0, \mathbf{P}_{i,k}^0) = N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k|k-1}, \mathbf{P}_{i,k|k-1})$ ， $i = 1, 2, \dots, n_{k-1}$ ，和存在概率 $\rho_{i,k}^0 = \rho_{i,k|k-1}$ ， $i = 1, 2, \dots, n_{k-1}$ ；其中 $\mathbf{m}_{i,k}^0 = \mathbf{m}_{i,k|k-1}$ ， $\mathbf{P}_{i,k}^0 = \mathbf{P}_{i,k|k-1}$ ；

步骤 B：利用贝叶斯规则依次对第 1 至 M 个测量数据进行处理：设第 j 个测量数据在处理前的边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^{j-1}, \mathbf{P}_{i,k}^{j-1})$ ， $i = 1, 2, \dots, n_{k-1}$ ，第 j 个测量数据在处理前的各边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k}^{j-1}$ ， $i = 1, 2, \dots, n_{k-1}$ ，其中， $1 \leq j \leq M$ ；由 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^{j-1}, \mathbf{P}_{i,k}^{j-1})$ 和 $\rho_{i,k}^{j-1}$ 求得第 j 个测量数据更新的存在概率 $\rho_{i,k}^{a,j} = \frac{p_{D,k} \rho_{i,k}^{j-1} N(\mathbf{y}_{j,k}; \mathbf{H}_k \mathbf{m}_{i,k}^{j-1}, \mathbf{H}_k \mathbf{P}_{i,k}^{j-1} \mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k)}{\lambda_{c,k} + p_{D,k} \sum_{e=1}^{N_{k-1}} \rho_{e,k}^{j-1} N(\mathbf{y}_{j,k}; \mathbf{H}_k \mathbf{m}_{e,k}^{j-1}, \mathbf{H}_k \mathbf{P}_{e,k}^{j-1} \mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k)}$ ，

滤波器增益 $\mathbf{A}_i = \mathbf{P}_{i,k}^{j-1} \mathbf{H}_k^T (\mathbf{H}_k \mathbf{P}_{i,k}^{j-1} \mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k)^{-1}$ ，均值向量 $\mathbf{m}_{i,k}^{a,j} = \mathbf{m}_{i,k}^{j-1} + \mathbf{A}_i \cdot (\mathbf{y}_{j,k} - \mathbf{H}_k \mathbf{m}_{i,k}^{j-1})$ ，协方差矩阵 $\mathbf{P}_{i,k}^{a,j} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}_i \cdot \mathbf{H}_k) \mathbf{P}_{i,k}^{j-1}$ ；其中， $\mathbf{H}_k$ 为观测矩阵， $\mathbf{R}_k$ 为观测噪声的方差矩阵， $p_{D,k}$ 为目标的检测概率， $\lambda_{c,k}$ 为杂波密度， $\mathbf{y}_{j,k}$ 为当前时刻接收到的第 j 个测量数据， $\mathbf{I}$ 表示单位矩阵，上标 T 表示矩阵或向量的转置；

如果 $\rho_{i,k}^{a,j} > \rho_{i,k}^{j-1}$ ，则第 j 个测量数据处理后的第 i 个边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^j, \mathbf{P}_{i,k}^j) = N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^{a,j}, \mathbf{P}_{i,k}^{a,j})$ ，其存在概率为 $\rho_{i,k}^j = \rho_{i,k}^{a,j}$ ，其中 $\mathbf{m}_{i,k}^j = \mathbf{m}_{i,k}^{a,j}$ ， $\mathbf{P}_{i,k}^j = \mathbf{P}_{i,k}^{a,j}$ ；

如果 $\rho_{i,k}^{a,j} \leq \rho_{i,k}^{j-1}$ ，第 j 个测量数据处理后的第 i 个边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^j, \mathbf{P}_{i,k}^j) = N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^{j-1}, \mathbf{P}_{i,k}^{j-1})$ ，其存在概率为 $\rho_{i,k}^j = \rho_{i,k}^{j-1}$ ，其中 $\mathbf{m}_{i,k}^j = \mathbf{m}_{i,k}^{j-1}$ ， $\mathbf{P}_{i,k}^j = \mathbf{P}_{i,k}^{j-1}$ ；

步骤 C：第 M 个测量数据处理后的第 i 个边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^M, \mathbf{P}_{i,k}^M)$ ， $i = 1, 2, \dots, n_{k-1}$ ，其存在概率为 $\rho_{i,k}^M$ ， $i = 1, 2, \dots, n_{k-1}$ ；

得到的所述当前时刻更新的边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}, \mathbf{P}_{i,k}) = N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^M, \mathbf{P}_{i,k}^M)$ ， $i = 1, 2, \dots, n_{k-1}$ ，各更新的边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k} = \rho_{i,k}^M$ ， $i = 1, 2, \dots, n_{k-1}$ ；其中 $\mathbf{m}_{i,k} = \mathbf{m}_{i,k}^M$ ， $\mathbf{P}_{i,k} = \mathbf{P}_{i,k}^M$ 。

进一步地, 所述步骤 3 包括:

利用当前时刻的 M 个测量数据生成当前时刻新生目标的边缘分布 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{\gamma}^j, \mathbf{P}_{\gamma}^j)$, $j=1, 2, \dots, M$, 同时, 为各当前时刻新生目标的边缘分布指定存在概率 ρ_{γ}^j , $j=1, 2, \dots, M$;

将当前时刻更新的边缘分布与当前时刻新生目标的边缘分布合并, 生成当前时刻的边缘分布 $\{N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}, \mathbf{P}_{i,k})\}_{i=1}^{n_k} = \{N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}, \mathbf{P}_{i,k})\}_{i=1}^{n_{k-1}} \cup \{N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{\gamma}^j, \mathbf{P}_{\gamma}^j)\}_{j=1}^M$, 将当前时刻更新的边缘分布的存在概率与当前时刻新生目标的边缘分布的存在概率合并, 生成当前时刻边缘分布的存在概率 $\{\rho_{i,k}\}_{i=1}^{n_k} = \{\rho_{i,k}\}_{i=1}^{n_{k-1}} \cup \{\rho_{\gamma}^j\}_{j=1}^M$, 其中 $n_k = n_{k-1} + M$ 。

进一步地, 所述步骤 4 中, 当前时刻更新的边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}, \mathbf{P}_{i,k})$, $i=1, 2, \dots, n_k$, 各边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k}$, $i=1, 2, \dots, n_k$; 步骤 4 包括: 从合并后所生成的当前时刻的边缘分布中裁减掉存在概率小于第一阈值的边缘分布, 裁减后的边缘分布及其存在概率作为下一时刻滤波器递归的输入, 同时, 从裁减后的边缘分布中提取存在概率大于第二阈值的边缘分布作为当前时刻的输出。

一种传递边缘分布的测量驱动目标跟踪系统, 包括:

预测模块, 当接收到新测量数据时, 计算当前时刻与前一时刻的时间差, 并根据该时间差与前一时刻的边缘分布及其存在概率得到当前时刻预测的边缘分布及其存在概率;

更新模块, 根据当前时刻预测的边缘分布及其存在概率, 利用贝叶斯规则对当前时刻接收到的测量数据进行序贯处理, 得到当前时刻更新的边缘分布及其存在概率;

当前时刻边缘分布生成模块, 利用当前时刻的测量数据生成当前时刻新生目标的边缘分布, 并为其指定存在概率, 同时, 将当前时刻新生目标的边缘分布及其存在概率分别与当前时刻更新的边缘分布及其存在概率合并, 生成当前时刻的边缘分布及其存在概率;

边缘分布提取模块, 从合并后所生成的当前时刻的边缘分布中将存在概率小于第一阈值的边缘分布裁减掉, 并将裁减后的边缘分布及

其存在概率作为下一时刻滤波器递归的输入,同时,从裁减后的边缘分布中提取存在概率大于第二阈值的边缘分布作为当前时刻的输出,并将各个输出边缘分布的均值与方差分别作为存活目标的状态估计与误差估计。

进一步地,在所述预测模块中,以 $k-1$ 表示前一时刻, k 表示当前时刻, t_{k-1} 表示前一时刻的时间, t_k 表示当前时刻的时间;

已知前一时刻的边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k-1}; \mathbf{m}_{i,k-1}, \mathbf{P}_{i,k-1})$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$; 前一时刻各边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k-1}$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$; 其中, N 为高斯分布, $\mathbf{x}_{i,k-1}$ 为前一时刻第 i 个边缘分布的状态, $\mathbf{m}_{i,k-1}$ 为前一时刻第 i 个边缘分布的均值, $\mathbf{P}_{i,k-1}$ 为前一时刻第 i 个边缘分布的方差, n_{k-1} 为前一时刻目标的总数, i 为索引号;

由前一时刻的边缘分布,前一时刻各边缘分布的存在概率,以及当前时刻与前一时刻的时间差得到当前时刻各目标的预测边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k|k-1}, \mathbf{P}_{i,k|k-1})$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$; 当前时刻各目标预测边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k|k-1} = p_{S,k}(t_k, t_{k-1})\rho_{i,k-1}$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$; 其中, $\mathbf{m}_{i,k|k-1} = \mathbf{F}_{k-1}\mathbf{m}_{i,k-1}$, 为当前时刻第 i 个边缘分布的均值; $\mathbf{P}_{i,k|k-1} = \mathbf{Q}_{k-1} + \mathbf{F}_{k-1}\mathbf{P}_{i,k-1}\mathbf{F}_{k-1}^T$, 为当前时刻第 i 个边缘分布的方差; $p_{S,k}(t_k, t_{k-1}) = \exp\left(-\frac{\Delta t}{\delta \cdot T}\right)$, 为目标的幸存概率; $\Delta t = t_k - t_{k-1}$, 为当前时刻与前一时刻的时间差; δ 为已知常数; T 为采

样周期; $\mathbf{F}_{k-1} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t_k & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \Delta t_k \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$, 为前一时刻的状态转移矩阵; $\mathbf{Q}_{k-1}$ 为

前一时刻的过程噪声方差矩阵; 上标 T 表示矩阵的转置。

进一步地,所述更新模块中,设当前时刻接收到的测量数据为 $\mathbf{y}_k = (\mathbf{y}_{1,k}, \dots, \mathbf{y}_{M,k})$, 其中, M 为当前时刻接收到的测量数据总数; 所述更新模块具体用于:

取边缘分布 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^0, \mathbf{P}_{i,k}^0) = N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k|k-1}, \mathbf{P}_{i,k|k-1})$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$, 和存在概率 $\rho_{i,k}^0 = \rho_{i,k|k-1}$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$; 其中 $\mathbf{m}_{i,k}^0 = \mathbf{m}_{i,k|k-1}$, $\mathbf{P}_{i,k}^0 = \mathbf{P}_{i,k|k-1}$; 以及

利用贝叶斯规则依次对第 1 至 M 个测量数据进行处理：设第 j 个测量数据在处理前的边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^{j-1}, \mathbf{P}_{i,k}^{j-1})$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$, 第 j 个测量数据在处理前的各边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k}^{j-1}$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$, 其中, $1 \leq j \leq M$; 由 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^{j-1}, \mathbf{P}_{i,k}^{j-1})$ 和 $\rho_{i,k}^{j-1}$ 求得第 j 个测量数据更新的存在概率 $\rho_{i,k}^{a,j} = \frac{p_{D,k} \rho_{i,k}^{j-1} N(\mathbf{y}_{j,k} | \mathbf{H}_k \mathbf{m}_{i,k}^{j-1}, \mathbf{H}_k \mathbf{P}_{i,k}^{j-1} \mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k)}{\lambda_{c,k} + p_{D,k} \sum_{e=1}^{N_{k-1}} \rho_{e,k}^{j-1} N(\mathbf{y}_{j,k} | \mathbf{H}_k \mathbf{m}_{e,k}^{j-1}, \mathbf{H}_k \mathbf{P}_{e,k}^{j-1} \mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k)}$, 滤波器增益

$\mathbf{A}_i = \mathbf{P}_{i,k}^{j-1} \mathbf{H}_k^T (\mathbf{H}_k \mathbf{P}_{i,k}^{j-1} \mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k)^{-1}$, 均值向量 $\mathbf{m}_{i,k}^{a,j} = \mathbf{m}_{i,k}^{j-1} + \mathbf{A}_i \cdot (\mathbf{y}_{j,k} - \mathbf{H}_k \mathbf{m}_{i,k}^{j-1})$, 协方差矩阵 $\mathbf{P}_{i,k}^{a,j} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}_i \cdot \mathbf{H}_k) \mathbf{P}_{i,k}^{j-1}$; 其中, $\mathbf{H}_k$ 为观测矩阵, $\mathbf{R}_k$ 为观测噪声的方差矩阵, $p_{D,k}$ 为目标的检测概率, $\lambda_{c,k}$ 为杂波密度, $\mathbf{y}_{j,k}$ 为当前时刻接收到的第 j 个测量数据, $\mathbf{I}$ 表示单位矩阵, 上标 T 表示矩阵或向量的转置;

如果 $\rho_{i,k}^{a,j} > \rho_{i,k}^{j-1}$, 则第 j 个测量数据处理后的第 i 个边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^j, \mathbf{P}_{i,k}^j) = N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^{a,j}, \mathbf{P}_{i,k}^{a,j})$, 其存在概率为 $\rho_{i,k}^j = \rho_{i,k}^{a,j}$, 其中 $\mathbf{m}_{i,k}^j = \mathbf{m}_{i,k}^{a,j}$, $\mathbf{P}_{i,k}^j = \mathbf{P}_{i,k}^{a,j}$;

如果 $\rho_{i,k}^{a,j} \leq \rho_{i,k}^{j-1}$, 第 j 个测量数据处理后的第 i 个边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^j, \mathbf{P}_{i,k}^j) = N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^{j-1}, \mathbf{P}_{i,k}^{j-1})$, 其存在概率为 $\rho_{i,k}^j = \rho_{i,k}^{j-1}$, 其中 $\mathbf{m}_{i,k}^j = \mathbf{m}_{i,k}^{j-1}$, $\mathbf{P}_{i,k}^j = \mathbf{P}_{i,k}^{j-1}$;

第 M 个测量数据处理后的第 i 个边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^M, \mathbf{P}_{i,k}^M)$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$, 其存在概率为 $\rho_{i,k}^M$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$;

得到的所述当前时刻更新的边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}, \mathbf{P}_{i,k}) = N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^M, \mathbf{P}_{i,k}^M)$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$, 各更新的边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k} = \rho_{i,k}^M$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$; 其中 $\mathbf{m}_{i,k} = \mathbf{m}_{i,k}^M$, $\mathbf{P}_{i,k} = \mathbf{P}_{i,k}^M$ 。

进一步地, 所述当前时刻边缘分布生成模块具体用于:

利用当前时刻的 M 个测量数据生成当前时刻新生目标的边缘分布 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^j, \mathbf{P}_{i,k}^j)$, $j=1,2,\dots,M$, 同时, 为各当前时刻新生目标的边缘分布指定存在概率 $\rho_{i,k}^j$, $j=1,2,\dots,M$; 以及

将当前时刻更新的边缘分布与当前时刻新生目标的边缘分布合并, 生成当前时刻的边缘分布

$\{N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}, \mathbf{P}_{i,k})\}_{i=1}^{n_k} = \{N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}, \mathbf{P}_{i,k})\}_{i=1}^{n_{k-1}} \cup \{N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^j, \mathbf{P}_{i,k}^j)\}_{j=1}^M$ ，将当前时刻更新的边缘分布的存在概率与当前时刻新生目标的边缘分布的存在概率合并，生成当前时刻边缘分布的存在概率 $\{\rho_{i,k}\}_{i=1}^{n_k} = \{\rho_{i,k}\}_{i=1}^{n_{k-1}} \cup \{\rho_{i,k}^j\}_{j=1}^M$ ，其中 $n_k = n_{k-1} + M$ 。

进一步地，当前时刻更新的边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}, \mathbf{P}_{i,k})$ ， $i=1,2,\dots,n_k$ ，各边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k}$ ， $i=1,2,\dots,n_k$ ；所述边缘分布提取模块具体用于：从合并后所生成的当前时刻的边缘分布中裁减掉存在概率小于第一阈值的边缘分布，裁减后的边缘分布及其存在概率作为下一时刻滤波器递归的输入，同时，从裁减后的边缘分布中提取存在概率大于第二阈值的边缘分布作为当前时刻的输出。

本发明与现有技术相比，有益效果在于：序贯处理当前时刻的测量数据，使得收到的数据能得到及时处理，从而避免了信息处理的延迟，提高了目标跟踪的实时性；利用当前时刻的测量数据生成当前时刻新生目标的边缘分布，无需掌握目标初始位置信息，扩大了本发明的适用性。

附图说明

图 1 是本发明实施例提供的传递边缘分布的测量驱动目标跟踪方法的流程图；

图 2 是本发明实施例提供的传递边缘分布的测量驱动目标跟踪系统的连接框图；

图 3 是本发明实施例提供的传感器 50 个扫描周期的测量数据；

图 4 是按照本发明提供的目标跟踪方法处理得到的结果。

图 5 是按照本发明与现有 GM-PHD 与 GM-CPHD 滤波方法的平均 OSPA 距离。

具体实施方式

为了使本发明的目的、技术方案及优点更加明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的

具体实施例仅仅用以本发明，并不用于限定本发明。

本发明利用前一时刻测量数据处理后得到的边缘分布及其存在概率得到当前时刻预测的边缘分布及其存在概率，根据预测的边缘分布及其存在概率利用贝叶斯规则序贯处理当前时刻接收到的测量数据得到当前时刻更新的边缘分布及其存在概率，并利用当前时刻的测量数据生成当前时刻新生目标的边缘分布，这样使得本发明在未掌握目标初始位置的情况下能对当前时刻接收到的测量数据进行及时处理。

如图 1 所示，一种传递边缘分布的测量驱动目标跟踪方法，包括以下步骤：

步骤 1：当接收到新测量数据时，计算当前时刻与前一时刻的时间差，并根据该时间差与前一时刻的边缘分布及其存在概率预测当前时刻的边缘分布及其存在概率。

步骤 1 中，以 $k-1$ 表示前一时刻， k 表示当前时刻， t_{k-1} 表示前一时刻的时间， t_k 表示当前时刻的时间；

已知前一时刻的边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k-1}; \mathbf{m}_{i,k-1}, \mathbf{P}_{i,k-1})$ ， $i=1,2,\dots,n_{k-1}$ ；前一时刻各边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k-1}$ ， $i=1,2,\dots,n_{k-1}$ ；其中， N 为高斯分布， $\mathbf{x}_{i,k-1}$ 为前一时刻第 i 个边缘分布的状态， $\mathbf{m}_{i,k-1}$ 为前一时刻第 i 个边缘分布的均值， $\mathbf{P}_{i,k-1}$ 为前一时刻第 i 个边缘分布的方差， n_{k-1} 为前一时刻目标的总数， i 为索引号；

由前一时刻的边缘分布，前一时刻各边缘分布的存在概率，以及当前时刻与前一时刻的时间差得到当前时刻各目标的预测边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k|k-1}, \mathbf{P}_{i,k|k-1})$ ，；当前时刻各边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k|k-1} = p_{S,k}(t_k, t_{k-1}) \rho_{i,k-1}$ ， $i=1,2,\dots,n_{k-1}$ ；其中， $\mathbf{m}_{i,k|k-1} = \mathbf{F}_{k-1} \mathbf{m}_{i,k-1}$ ，为当前时刻第 i 个边缘分布的均值； $\mathbf{P}_{i,k|k-1} = \mathbf{Q}_{k-1} + \mathbf{F}_{k-1} \mathbf{P}_{i,k-1} \mathbf{F}_{k-1}^T$ ，为当前时刻第 i 个边缘分布的方差； $p_{S,k}(t_k, t_{k-1}) = \exp\left(-\frac{\Delta t}{\delta \cdot T}\right)$ ，为目标的幸存概率； $\Delta t = t_k - t_{k-1}$ ，为当前时刻与前一时刻的时间差； δ 为已知常数； T 为采

样周期； $\mathbf{F}_{k-1} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t_k & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \Delta t_k \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ 为前一时刻的状态转移矩阵； $\mathbf{Q}_{k-1}$ 为

前一时刻的过程噪声方差矩阵；上标 T 表示状态转移矩阵的转置。

步骤 2：根据预测的当前时刻的边缘分布及其存在概率，利用贝叶斯规则对当前时刻接收到的测量数据进行序贯处理，得到当前时刻更新的边缘分布及其存在概率。

步骤 2 中，设当前时刻接收到的测量数据为 $\mathbf{y}_k = (\mathbf{y}_{1,k}, \dots, \mathbf{y}_{M,k})$ ，其中， M 为当前时刻接收到的测量数据总数；利用贝叶斯规则对当前时刻接收到的测量数据进行序贯处理的步骤包括：

步骤 A：在测量数据处理前，取边缘分布 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^0, \mathbf{P}_{i,k}^0) = N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k|k-1}, \mathbf{P}_{i,k|k-1})$ ， $i=1, 2, \dots, n_{k-1}$ ，和存在概率 $\rho_{i,k}^0 = \rho_{i,k|k-1}$ ， $i=1, 2, \dots, n_{k-1}$ ；其中 $\mathbf{m}_{i,k}^0 = \mathbf{m}_{i,k|k-1}$ ， $\mathbf{P}_{i,k}^0 = \mathbf{P}_{i,k|k-1}$ ；

步骤 B：利用贝叶斯规则依次对第 1 至 M 个测量数据进行处理：设第 j 个测量数据在处理前（或第 $j-1$ 个测量数据处理后）的边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^{j-1}, \mathbf{P}_{i,k}^{j-1})$ ， $i=1, 2, \dots, n_{k-1}$ ，第 j 个测量数据在处理前的各边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k}^{j-1}$ ， $i=1, 2, \dots, n_{k-1}$ ，其中， $1 \leq j \leq M$ ；由 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^{j-1}, \mathbf{P}_{i,k}^{j-1})$ 和 $\rho_{i,k}^{j-1}$ 求得第 j 个测量数据更新的存在概率

$$\rho_{i,k}^{a,j} = \frac{p_{D,k} \rho_{i,k}^{j-1} N(\mathbf{y}_{j,k}; \mathbf{H}_k \mathbf{m}_{i,k}^{j-1}, \mathbf{H}_k \mathbf{P}_{i,k}^{j-1} \mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k)}{\lambda_{c,k} + p_{D,k} \sum_{e=1}^{N_{k-1}} \rho_{e,k}^{j-1} N(\mathbf{y}_{j,k}; \mathbf{H}_k \mathbf{m}_{e,k}^{j-1}, \mathbf{H}_k \mathbf{P}_{e,k}^{j-1} \mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k)}$$
，滤波器增益

$\mathbf{A}_i = \mathbf{P}_{i,k}^{j-1} \mathbf{H}_k^T (\mathbf{H}_k \mathbf{P}_{i,k}^{j-1} \mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k)^{-1}$ ，均值向量 $\mathbf{m}_{i,k}^{a,j} = \mathbf{m}_{i,k}^{j-1} + \mathbf{A}_i \cdot (\mathbf{y}_{j,k} - \mathbf{H}_k \mathbf{m}_{i,k}^{j-1})$ ，协方差矩阵 $\mathbf{P}_{i,k}^{a,j} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}_i \cdot \mathbf{H}_k) \mathbf{P}_{i,k}^{j-1}$ ；其中， $\mathbf{H}_k$ 为观测矩阵， $\mathbf{R}_k$ 为观测噪声的方差矩阵， $p_{D,k}$ 为目标的检测概率， $\lambda_{c,k}$ 为杂波密度， $\mathbf{y}_{j,k}$ 为当前时刻接收到的第 j 个测量数据， $\mathbf{I}$ 表示单位矩阵，上标 T 表示矩阵或向量的转置；

如果 $\rho_{i,k}^{a,j} > \rho_{i,k}^{j-1}$ ，则第 j 个测量数据处理后的第 i 个边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^j, \mathbf{P}_{i,k}^j) = N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^{a,j}, \mathbf{P}_{i,k}^{a,j})$ ，其存在概率为 $\rho_{i,k}^j = \rho_{i,k}^{a,j}$ ，其中 $\mathbf{m}_{i,k}^j = \mathbf{m}_{i,k}^{a,j}$ ， $\mathbf{P}_{i,k}^j = \mathbf{P}_{i,k}^{a,j}$ ；

如果 $\rho_{i,k}^{a,j} \leq \rho_{i,k}^{j-1}$ ，第 j 个测量数据处理后的第 i 个边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^j, \mathbf{P}_{i,k}^j) = N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^{j-1}, \mathbf{P}_{i,k}^{j-1})$ ，其存在概率为 $\rho_{i,k}^j = \rho_{i,k}^{j-1}$ ，其中 $\mathbf{m}_{i,k}^j = \mathbf{m}_{i,k}^{j-1}$ ， $\mathbf{P}_{i,k}^j = \mathbf{P}_{i,k}^{j-1}$ ；

第 M 个测量数据处理后的第 i 个边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^M, \mathbf{P}_{i,k}^M)$ ， $i=1,2,\dots,n_{k-1}$ ，其存在概率为 $\rho_{i,k}^M$ ， $i=1,2,\dots,n_{k-1}$ ；

得到的当前时刻更新的边缘分布为第 M 个测量数据处理后的边缘分布，即 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}, \mathbf{P}_{i,k}) = N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^M, \mathbf{P}_{i,k}^M)$ ， $i=1,2,\dots,n_{k-1}$ ，各更新的边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k} = \rho_{i,k}^M$ ， $i=1,2,\dots,n_{k-1}$ ；其中 $\mathbf{m}_{i,k} = \mathbf{m}_{i,k}^M$ ， $\mathbf{P}_{i,k} = \mathbf{P}_{i,k}^M$ 。

步骤 3：利用当前时刻的测量数据生成当前时刻新生目标的边缘分布，并为其指定存在概率，同时，将当前时刻新生目标的边缘分布及其存在概率分别与当前时刻更新的边缘分布及其存在概率合并，生成当前时刻的边缘分布及其存在概率。

步骤 3 具体包括：

利用当前时刻的 M 个测量数据生成当前时刻新生目标的边缘分布 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^j, \mathbf{P}_{i,k}^j)$ ， $j=1,2,\dots,M$ ，同时，为各当前时刻新生目标的边缘分布指定存在概率 $\rho_{i,k}^j$ ， $j=1,2,\dots,M$ ；将当前时刻更新的边缘分布与当前时刻新生目标的边缘分布合并，生成当前时刻的边缘分布 $\{N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}, \mathbf{P}_{i,k})\}_{i=1}^{n_k} = \{N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}, \mathbf{P}_{i,k})\}_{i=1}^{n_{k-1}} \cup \{N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^j, \mathbf{P}_{i,k}^j)\}_{j=1}^M$ ，将当前时刻更新的边缘分布的存在概率与当前时刻新生目标的边缘分布的存在概率合并，生成当前时刻边缘分布的存在概率 $\{\rho_{i,k}\}_{i=1}^{n_k} = \{\rho_{i,k}\}_{i=1}^{n_{k-1}} \cup \{\rho_{i,k}^j\}_{j=1}^M$ ，其中 $n_k = n_{k-1} + M$ 。

步骤 4：从合并后所生成的当前时刻的边缘分布中将存在概率小于第一阈值的边缘分布裁减掉，并将裁减后的边缘分布及其存在概率作为下一时刻滤波器递归的输入，同时，从裁减后的边缘分布中提取存在概率大于第二阈值的边缘分布作为当前时刻的输出，并将各个输出边缘分布的均值与方差分别作为存活目标的状态估计与误差估计。步骤 4 中，当前时刻更新的边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}, \mathbf{P}_{i,k})$ ， $i=1,2,\dots,n_k$ ，各边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k}$ ， $i=1,2,\dots,n_k$ ；步骤 4 包括：从合并后所

生成的当前时刻的边缘分布中裁减掉存在概率小于第一阈值的边缘分布, 裁减后的边缘分布及其存在概率作为下一时刻滤波器递归的输入, 同时, 从裁减后的边缘分布中提取存在概率大于第二阈值的边缘分布作为当前时刻的输出。

如图 2 所示, 本发明还提供一种传递边缘分布的测量驱动目标跟踪系统, 包括: 预测模块 201, 当接收到新测量数据时, 计算当前时刻与前一时刻的时间差, 并根据该时间差与前一时刻的边缘分布及其存在概率预测当前时刻的边缘分布及其存在概率; 更新模块 202, 根据预测的当前时刻的边缘分布及其存在概率, 利用贝叶斯规则对当前时刻接收到的测量数据进行序贯处理, 得到当前时刻更新的边缘分布及其存在概率; 当前时刻边缘分布生成模块 203, 利用当前时刻的测量数据生成当前时刻新生目标的边缘分布, 并为其指定存在概率, 同时, 将当前时刻新生目标的边缘分布及其存在概率分别与当前时刻更新的边缘分布及其存在概率合并, 生成当前时刻的边缘分布及其存在概率; 边缘分布提取模块 204, 从合并后所生成的当前时刻的边缘分布中将存在概率小于第一阈值的边缘分布裁减掉, 并将裁减后的边缘分布及其存在概率作为下一时刻滤波器递归的输入, 同时, 从裁减后的边缘分布中提取存在概率大于第二阈值的边缘分布作为当前时刻的输出, 并将各个输出边缘分布的均值与方差分别作为存活目标的状态估计与误差估计。

在预测模块 201 中, 以 $k-1$ 表示前一时刻, k 表示当前时刻, t_{k-1} 表示前一时刻的时间, t_k 表示当前时刻的时间;

已知前一时刻的边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k-1}; \mathbf{m}_{i,k-1}, \mathbf{P}_{i,k-1})$, $i=1, 2, \dots, n_{k-1}$; 前一时刻各边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k-1}$, $i=1, 2, \dots, n_{k-1}$; 其中, N 为高斯分布, $\mathbf{x}_{i,k-1}$ 为前一时刻第 i 个边缘分布的状态, $\mathbf{m}_{i,k-1}$ 为前一时刻第 i 个边缘分布的均值, $\mathbf{P}_{i,k-1}$ 为前一时刻第 i 个边缘分布的方差, n_{k-1} 为前一时刻目标的总数, i 为索引号;

由前一时刻的边缘分布, 前一时刻各边缘分布的存在概率, 以及当前时刻与前一时刻的时间差得到当前时刻各目标的预测边缘分布

为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k|k-1}, \mathbf{P}_{i,k|k-1})$, ; 当前时刻各边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k|k-1} = p_{S,k}(t_k, t_{k-1}) \rho_{i,k-1}$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$; 其中, $\mathbf{m}_{i,k|k-1} = \mathbf{F}_{k-1} \mathbf{m}_{i,k-1}$, 为当前时刻第 i 个边缘分布的均值; $\mathbf{P}_{i,k|k-1} = \mathbf{Q}_{k-1} + \mathbf{F}_{k-1} \mathbf{P}_{i,k-1} \mathbf{F}_{k-1}^T$, 为当前时刻第 i 个边缘分布的方差; $p_{S,k}(t_k, t_{k-1}) = \exp\left(-\frac{\Delta t}{\delta \cdot T}\right)$, 为目标的幸存概率; $\Delta t = t_k - t_{k-1}$, 为当前时刻与前一时刻的时间差; δ 为已知常数; T 为采样周期; $\mathbf{F}_{k-1} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t_k & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \Delta t_k \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$, 为前一时刻的状态转移矩阵; $\mathbf{Q}_{k-1}$ 为前一时刻的过程噪声方差矩阵; 上标 T 表示状态转移矩阵的转置。

在更新模块 202 中, k 时刻的预测边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k|k-1}, \mathbf{P}_{i,k|k-1})$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$, 各预测边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k|k-1}$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$; 设当前时刻接收到的测量数据为 $\mathbf{y}_k = (\mathbf{y}_{1,k}, \dots, \mathbf{y}_{M,k})$, 其中, M 为当前时刻接收到的测量数据总数; 更新模块 202 利用贝叶斯规则序贯地处理当前时刻接收到的各个测量数据, 处理方法如下:

(1) 在测量数据处理前, 取边缘分布 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^0, \mathbf{P}_{i,k}^0) = N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k|k-1}, \mathbf{P}_{i,k|k-1})$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$, 和存在概率 $\rho_{i,k}^0 = \rho_{i,k|k-1}$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$; 其中 $\mathbf{m}_{i,k}^0 = \mathbf{m}_{i,k|k-1}$, $\mathbf{P}_{i,k}^0 = \mathbf{P}_{i,k|k-1}$;

(2) 利用贝叶斯规则依次对第 1 至 M 个测量数据进行处理: 设第 j 个测量数据在处理前 (或第 $j-1$ 个测量数据处理后) 的边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^{j-1}, \mathbf{P}_{i,k}^{j-1})$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$, 第 j 个测量数据在处理前的各边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k}^{j-1}$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$, 其中, $1 \leq j \leq M$; 由 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^{j-1}, \mathbf{P}_{i,k}^{j-1})$ 和 $\rho_{i,k}^{j-1}$ 求得第 j 个测量数据更新的存在概率

$$\rho_{i,k}^{a,j} = \frac{p_{D,k} \rho_{i,k}^{j-1} N(\mathbf{y}_{j,k}; \mathbf{H}_k \mathbf{m}_{i,k}^{j-1}, \mathbf{H}_k \mathbf{P}_{i,k}^{j-1} \mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k)}{\lambda_{c,k} + p_{D,k} \sum_{e=1}^{N_{k-1}} \rho_{e,k}^{j-1} N(\mathbf{y}_{j,k}; \mathbf{H}_k \mathbf{m}_{e,k}^{j-1}, \mathbf{H}_k \mathbf{P}_{e,k}^{j-1} \mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k)}, \quad \text{滤波器增益}$$

$\mathbf{A}_i = \mathbf{P}_{i,k}^{j-1} \mathbf{H}_k^T (\mathbf{H}_k \mathbf{P}_{i,k}^{j-1} \mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k)^{-1}$, 均值向量 $\mathbf{m}_{i,k}^{a,j} = \mathbf{m}_{i,k}^{j-1} + \mathbf{A}_i \cdot (\mathbf{y}_{j,k} - \mathbf{H}_k \mathbf{m}_{i,k}^{j-1})$, 协方差矩阵 $\mathbf{P}_{i,k}^{a,j} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}_i \cdot \mathbf{H}_k) \mathbf{P}_{i,k}^{j-1}$; 其中, $\mathbf{H}_k$ 为观测矩阵, $\mathbf{R}_k$ 为观测噪声的

方差矩阵, $p_{D,k}$ 为目标的检测概率, $\lambda_{c,k}$ 为杂波密度, $\mathbf{y}_{j,k}$ 为当前时刻接收到的第 j 个测量数据, $\mathbf{I}$ 表示单位矩阵, 上标 T 表示矩阵或向量的转置;

如果 $\rho_{i,k}^{a,j} > \rho_{i,k}^{j-1}$, 则第 j 个测量数据处理后的第 i 个边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^j, \mathbf{P}_{i,k}^j) = N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^{a,j}, \mathbf{P}_{i,k}^{a,j})$, 其存在概率为 $\rho_{i,k}^j = \rho_{i,k}^{a,j}$, 其中 $\mathbf{m}_{i,k}^j = \mathbf{m}_{i,k}^{a,j}$, $\mathbf{P}_{i,k}^j = \mathbf{P}_{i,k}^{a,j}$;

如果 $\rho_{i,k}^{a,j} \leq \rho_{i,k}^{j-1}$, 第 j 个测量数据处理后的第 i 个边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^j, \mathbf{P}_{i,k}^j) = N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^{j-1}, \mathbf{P}_{i,k}^{j-1})$, 其存在概率为 $\rho_{i,k}^j = \rho_{i,k}^{j-1}$, 其中 $\mathbf{m}_{i,k}^j = \mathbf{m}_{i,k}^{j-1}$, $\mathbf{P}_{i,k}^j = \mathbf{P}_{i,k}^{j-1}$;

第 M 个测量数据处理后的第 i 个边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^M, \mathbf{P}_{i,k}^M)$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$, 其存在概率为 $\rho_{i,k}^M$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$;

得到的当前时刻更新的边缘分布为第 M 个测量数据处理后的边缘分布, 即 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}, \mathbf{P}_{i,k}) = N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^M, \mathbf{P}_{i,k}^M)$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$, 各更新的边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k} = \rho_{i,k}^M$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$; 其中 $\mathbf{m}_{i,k} = \mathbf{m}_{i,k}^M$, $\mathbf{P}_{i,k} = \mathbf{P}_{i,k}^M$ 。

在当前时刻边缘分布生成模块 203 中, 当前时刻更新的边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}, \mathbf{P}_{i,k})$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$, 各更新的边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k}$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$ 。当前时刻边缘分布生成模块 203 利用当前时刻的 M 个测量数据生成当前时刻新生目标的边缘分布 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^j, \mathbf{P}_{i,k}^j)$, $j=1,2,\dots,M$, 同时, 为各当前时刻新生目标的边缘分布指定存在概率 $\rho_{i,k}^j$, $j=1,2,\dots,M$; 以及

将当前时刻更新的边缘分布与当前时刻新生目标的边缘分布合并, 生成当前时刻的边缘分布 $\{N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}, \mathbf{P}_{i,k})\}_{i=1}^{n_k} = \{N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}, \mathbf{P}_{i,k})\}_{i=1}^{n_{k-1}} \cup \{N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^j, \mathbf{P}_{i,k}^j)\}_{j=1}^M$, 将当前时刻更新的边缘分布的存在概率与当前时刻新生目标的边缘分布的存在概率合并, 生成当前时刻边缘分布的存在概率 $\{\rho_{i,k}\}_{i=1}^{n_k} = \{\rho_{i,k}\}_{i=1}^{n_{k-1}} \cup \{\rho_{i,k}^j\}_{j=1}^M$, 其中 $n_k = n_{k-1} + M$ 。

在边缘分布提取模块 204 中, k 时刻更新的边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}, \mathbf{P}_{i,k})$, $i=1,2,\dots,n_k$, 各边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k}$, $i=1,2,\dots,n_k$ 。

边缘分布提取模块 204 具体用于：从合并后所生成的当前时刻的边缘分布中裁减掉存在概率小于第一阈值的边缘分布，裁减后的边缘分布及其存在概率作为下一时刻滤波器递归的输入，同时，从裁减后的边缘分布中提取存在概率大于第二阈值的边缘分布作为当前时刻的输出。

本发明的一种传递边缘分布的测量驱动目标跟踪方法通过对当前时刻的测量数据序贯处理以获取当前时刻更新的边缘分布及其存在概率，并利用当前时刻的测量数据生成当前时刻新生目标的边缘分布，使得在未掌握目标初始位置的情况下能对当前时刻接收到的测量数据进行及时处理，从而避免了信息处理的延迟，提高了对目标跟踪的实时性，扩大了本发明的适用性。作为本发明的一个实施例，考虑在二维空间 $[-1000\text{m}, 1000\text{m}] \times [-1000\text{m}, 1000\text{m}]$ 中匀速运动的目标。目标状态由位置和速度构成，表示为 $\mathbf{x} = [x \ \dot{x} \ y \ \dot{y}]^T$ ，其中 x 和 y 分别表示位置分量， $\dot{x}$ 和 $\dot{y}$ 分别表示速度分量，上标 T 表示向量的转置。状态

转移矩阵为 $\mathbf{F}_k = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t_k & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \Delta t_k \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ ，过程噪声方差矩阵为

$$\mathbf{Q}_{k-1} = \begin{bmatrix} \Delta t_k^2/2 & 0 \\ \Delta t_k & 0 \\ 0 & \Delta t_k^2/2 \\ 0 & \Delta t_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta t_k^2/2 & \Delta t_k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \Delta t_k^2/2 & \Delta t_k \end{bmatrix} \sigma_v^2; \text{ 其中, } \Delta t_k = t_k - t_{k-1} \text{ 表示当前时刻与前一时刻之间的时间差, } \sigma_v = 1\text{ms}^{-2} \text{ 为过程噪声标准差; 观测}$$

矩阵 $\mathbf{H}_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$ ，观测噪声方差矩阵 $\mathbf{R}_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \sigma_w^2$ ， $\sigma_w = 2\text{m}$ 为观测噪声标准差。

为了产生仿真数据，取幸存概率 $p_{s,k} = 1.0$ 、检测概率 $p_{d,k} = 0.8$ 、杂波密度 $\lambda_{c,k} = 5 \times 10^{-6} \text{ m}^{-2}$ 、过程噪声标准差 $\sigma_v = 1\text{m/s}^2$ 和观测噪声标准差 $\sigma_w = 2\text{m}$ 。一次实验的仿真观测数据如图 3 所示。为了处理仿真数据，我们将本发明和高斯混合概率假设密度滤波器 (Gaussian Mixture probability hypothesis density filter, GM-PHD 滤波器) 以及高斯混合势

分布概率假设密度滤波器 (Gaussian Mixture cardinalized probability hypothesis density filter, GM-CPHD 滤波器) 的相关参数设置为 $p_{s,k} = 1.0$ 、 $p_{D,k} = 0.8$ 、 $\lambda_{c,k} = 5 \times 10^{-6} \text{ m}^{-2}$ 、 $\sigma_v = 1 \text{ ms}^{-2}$ 、 $\sigma_w = 2 \text{ m}$ 、第一阈值为 10^{-3} 、第二阈值为 0.5。图 4 为利用本发明的方法对图 3 中的仿真数据处理后的结果。将本发明与现有 GM-PHD 滤波器以及 GM-CPHD 滤波器对图 3 所示的仿真数据进行处理, 100 次 Monte Carlo 实验得到的平均 OSPA (Optimal Subpattern Assignment, 最优亚模式分配) 距离如图 5 所示。从图 5 中可看出, 与现有的 GM-PHD 滤波以及 GM-CPHD 滤波方法相比, 本发明的多目标跟踪方法在存在关联不确定、检测不确定和杂波的情况下能获得更为精确和可靠的目标状态估计, 绝大多数情况下, 其 OSPA 距离比现有的两种方法得到的 OSPA 距离要小。

以上仅为本发明的较佳实施例而已, 并不用以限制本发明, 凡在本发明的精神和原则之内所做的任何修改、等同替换和改进等, 均应包含在本发明的保护范围之内。

权利要求书

1、一种传递边缘分布的测量驱动目标跟踪方法，其特征在于，包括以下步骤：

步骤 1：当接收到新测量数据时，计算当前时刻与前一时刻的时间差，并根据该时间差与前一时刻的边缘分布及其存在概率得到当前时刻预测的边缘分布及其存在概率；

步骤 2：根据当前时刻预测的边缘分布及其存在概率，利用贝叶斯规则对当前时刻接收到的测量数据进行序贯处理，得到当前时刻更新的边缘分布及其存在概率；

步骤 3：利用当前时刻的测量数据生成当前时刻新生目标的边缘分布，并为其指定存在概率，同时，将当前时刻新生目标的边缘分布及其存在概率分别与当前时刻更新的边缘分布及其存在概率合并，生成当前时刻的边缘分布及其存在概率；

步骤 4：从合并后所生成的当前时刻的边缘分布中将存在概率小于第一阈值的边缘分布裁减掉，并将裁减后的边缘分布及其存在概率作为下一时刻滤波器递归的输入，同时，从裁减后的边缘分布中提取存在概率大于第二阈值的边缘分布作为当前时刻的输出，并将各个输出边缘分布的均值与方差分别作为存活目标的状态估计与误差估计。

2、根据权利要求 1 所述的目标跟踪方法，其特征在于，所述步骤 1 中，以 $k-1$ 表示前一时刻， k 表示当前时刻， t_{k-1} 表示前一时刻的时间， t_k 表示当前时刻的时间；

已知前一时刻的边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k-1}; \mathbf{m}_{i,k-1}, \mathbf{P}_{i,k-1})$ ， $i=1,2,\dots,n_{k-1}$ ；前一时刻各边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k-1}$ ， $i=1,2,\dots,n_{k-1}$ ；其中， N 为高斯分布， $\mathbf{x}_{i,k-1}$ 为前一时刻第 i 个边缘分布的状态， $\mathbf{m}_{i,k-1}$ 为前一时刻第 i 个边缘分布的均值， $\mathbf{P}_{i,k-1}$ 为前一时刻第 i 个边缘分布的方差， n_{k-1} 为前一时刻目标的总数， i 为索引号；

由前一时刻的边缘分布，前一时刻各边缘分布的存在概率，以及当前时刻与前一时刻的时间差得到当前时刻各目标的预测边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k|k-1}, \mathbf{P}_{i,k|k-1})$ ， $i=1,2,\dots,n_{k-1}$ ；当前时刻各目标预测边缘分布的

存在概率为 $\rho_{i,klk-1} = p_{S,k}(t_k, t_{k-1})\rho_{i,k-1}$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$; 其中, $\mathbf{m}_{i,klk-1} = \mathbf{F}_{k-1}\mathbf{m}_{i,k-1}$, 为当前时刻第 i 个边缘分布的均值; $\mathbf{P}_{i,klk-1} = \mathbf{Q}_{k-1} + \mathbf{F}_{k-1}\mathbf{P}_{i,k-1}\mathbf{F}_{k-1}^T$, 为当前时刻第 i 个边缘分布的方差; $p_{S,k}(t_k, t_{k-1}) = \exp\left(-\frac{\Delta t}{\delta \cdot T}\right)$, 为目标的幸存概率; $\Delta t = t_k - t_{k-1}$, 为当前时刻与前一时刻的时间差; δ 为已知常数; T 为采样周期; $\mathbf{F}_{k-1} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t_k & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \Delta t_k \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$, 为前一时刻的状态转移矩阵; $\mathbf{Q}_{k-1}$ 为前一时刻的过程噪声方差矩阵; 上标 T 表示矩阵的转置。

3、根据权利要求 2 所述的目标跟踪方法, 其特征在于, 所述步骤 2 中, 设当前时刻接收到的测量数据为 $\mathbf{y}_k = (\mathbf{y}_{1,k}, \dots, \mathbf{y}_{M,k})$, 其中, M 为当前时刻接收到的测量数据总数; 利用贝叶斯规则对当前时刻接收到的测量数据进行序贯处理的步骤包括:

步骤 A: 取边缘分布 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^0, \mathbf{P}_{i,k}^0) = N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,klk-1}, \mathbf{P}_{i,klk-1})$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$, 和存在概率 $\rho_{i,k}^0 = \rho_{i,klk-1}$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$; 其中 $\mathbf{m}_{i,k}^0 = \mathbf{m}_{i,klk-1}$, $\mathbf{P}_{i,k}^0 = \mathbf{P}_{i,klk-1}$;

步骤 B: 利用贝叶斯规则依次对第 1 至 M 个测量数据进行处理: 设第 j 个测量数据在处理前的边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^{j-1}, \mathbf{P}_{i,k}^{j-1})$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$, 第 j 个测量数据在处理前的各边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k}^{j-1}$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$, 其中, $1 \leq j \leq M$; 由 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^{j-1}, \mathbf{P}_{i,k}^{j-1})$ 和 $\rho_{i,k}^{j-1}$ 求得用第 j 个测量数据更新时的存在概率

$$\rho_{i,k}^{a,j} = \frac{p_{D,k}\rho_{i,k}^{j-1}N(\mathbf{y}_{j,k}; \mathbf{H}_k\mathbf{m}_{i,k}^{j-1}, \mathbf{H}_k\mathbf{P}_{i,k}^{j-1}\mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k)}{\lambda_{c,k} + p_{D,k}\sum_{e=1}^{N_{k-1}}\rho_{e,k}^{j-1}N(\mathbf{y}_{j,k}; \mathbf{H}_k\mathbf{m}_{e,k}^{j-1}, \mathbf{H}_k\mathbf{P}_{e,k}^{j-1}\mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k)}, \quad \text{滤波器增益}$$

$\mathbf{A}_i = \mathbf{P}_{i,k}^{j-1}\mathbf{H}_k^T(\mathbf{H}_k\mathbf{P}_{i,k}^{j-1}\mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k)^{-1}$, 均值向量 $\mathbf{m}_{i,k}^{a,j} = \mathbf{m}_{i,k}^{j-1} + \mathbf{A}_i \cdot (\mathbf{y}_{j,k} - \mathbf{H}_k\mathbf{m}_{i,k}^{j-1})$, 协方差矩阵 $\mathbf{P}_{i,k}^{a,j} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}_i \cdot \mathbf{H}_k)\mathbf{P}_{i,k}^{j-1}$; 其中, $\mathbf{H}_k$ 为观测矩阵, $\mathbf{R}_k$ 为观测噪声的方差矩阵, $p_{D,k}$ 为目标的检测概率, $\lambda_{c,k}$ 为杂波密度, $\mathbf{y}_{j,k}$ 为当前时刻接收到的第 j 个测量数据, $\mathbf{I}$ 表示单位矩阵, 上标 T 表示矩阵或向量的转置;

如果 $\rho_{i,k}^{a,j} > \rho_{i,k}^{j-1}$, 则第 j 个测量数据处理后的第 i 个边缘分布为

$N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^j, \mathbf{P}_{i,k}^j) = N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^{a,j}, \mathbf{P}_{i,k}^{a,j})$, 其存在概率为 $\rho_{i,k}^j = \rho_{i,k}^{a,j}$, 其中 $\mathbf{m}_{i,k}^j = \mathbf{m}_{i,k}^{a,j}$, $\mathbf{P}_{i,k}^j = \mathbf{P}_{i,k}^{a,j}$;

如果 $\rho_{i,k}^{a,j} \leq \rho_{i,k}^{j-1}$, 第 j 个测量数据处理后的第 i 个边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^j, \mathbf{P}_{i,k}^j) = N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^{j-1}, \mathbf{P}_{i,k}^{j-1})$, 其存在概率为 $\rho_{i,k}^j = \rho_{i,k}^{j-1}$, 其中 $\mathbf{m}_{i,k}^j = \mathbf{m}_{i,k}^{j-1}$, $\mathbf{P}_{i,k}^j = \mathbf{P}_{i,k}^{j-1}$;

步骤 C: 第 M 个测量数据处理后的第 i 个边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^M, \mathbf{P}_{i,k}^M)$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$, 其存在概率为 $\rho_{i,k}^M$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$;

由此得到的所述当前时刻更新的边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}, \mathbf{P}_{i,k}) = N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^M, \mathbf{P}_{i,k}^M)$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$, 各更新的边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k} = \rho_{i,k}^M$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$; 其中 $\mathbf{m}_{i,k} = \mathbf{m}_{i,k}^M$, $\mathbf{P}_{i,k} = \mathbf{P}_{i,k}^M$ 。

4、根据权利要求 3 所述的目标跟踪方法, 其特征在于, 所述步骤 3 包括:

利用当前时刻的 M 个测量数据生成当前时刻新生目标的边缘分布 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^j, \mathbf{P}_{i,k}^j)$, $j=1,2,\dots,M$, 同时, 为各当前时刻新生目标的边缘分布指定存在概率 $\rho_{i,k}^j$, $j=1,2,\dots,M$; 其中, $\mathbf{P}_{i,k}^j$ 为给定的第 j 个新生目标边缘分布的方差, $\mathbf{m}_{i,k}^j$ 为第 j 个新生目标边缘分布的均值, $\mathbf{m}_{i,k}^j$ 直接由当前时刻的第 j 个测量数据 $\mathbf{y}_{j,k} = [x_k^j \ y_k^j]^T$ 产生, 并且 $\mathbf{m}_{i,k}^j = [x_k^j \ 0 \ y_k^j \ 0]^T$ 。

将当前时刻更新的边缘分布与当前时刻新生目标的边缘分布合并, 生成当前时刻的边缘分布 $\{N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}, \mathbf{P}_{i,k})\}_{i=1}^{n_k} = \{N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}, \mathbf{P}_{i,k})\}_{i=1}^{n_{k-1}} \cup \{N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^j, \mathbf{P}_{i,k}^j)\}_{j=1}^M$, 将当前时刻更新的边缘分布的存在概率与当前时刻新生目标的边缘分布的存在概率合并, 生成当前时刻边缘分布的存在概率 $\{\rho_{i,k}\}_{i=1}^{n_k} = \{\rho_{i,k}\}_{i=1}^{n_{k-1}} \cup \{\rho_{i,k}^j\}_{j=1}^M$, 其中 $n_k = n_{k-1} + M$ 。

5、根据权利要求 4 所述的目标跟踪方法, 其特征在于, 所述步骤 4 中, 当前时刻更新的边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}, \mathbf{P}_{i,k})$, $i=1,2,\dots,n_k$, 各边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k}$, $i=1,2,\dots,n_k$; 步骤 4 包括: 从合并后所生成的当前时刻的边缘分布中裁减掉存在概率小于第一阈值的边缘分布, 裁减后的边缘分布及其存在概率作为下一时刻滤波器递归的输

入,同时,从裁减后的边缘分布中提取存在概率大于第二阈值的边缘分布作为当前时刻的输出。

6、一种传递边缘分布的测量驱动目标跟踪系统,其特征在于,包括:

预测模块,当接收到新测量数据时,计算当前时刻与前一时刻的时间差,并根据该时间差与前一时刻的边缘分布及其存在概率得到当前时刻预测的边缘分布及其存在概率;

更新模块,根据当前时刻预测的边缘分布及其存在概率,利用贝叶斯规则对当前时刻接收到的测量数据进行序贯处理,得到当前时刻更新的边缘分布及其存在概率;

当前时刻边缘分布生成模块,利用当前时刻的测量数据生成当前时刻新生目标的边缘分布,并为其指定存在概率,同时,将当前时刻新生目标的边缘分布及其存在概率分别与当前时刻更新的边缘分布及其存在概率合并,生成当前时刻的边缘分布及其存在概率;

边缘分布提取模块,从合并后所生成的当前时刻的边缘分布中将存在概率小于第一阈值的边缘分布裁减掉,并将裁减后的边缘分布及其存在概率作为下一时刻滤波器递归的输入,同时,从裁减后的边缘分布中提取存在概率大于第二阈值的边缘分布作为当前时刻的输出,并将各个输出边缘分布的均值与方差分别作为存活目标的状态估计与误差估计。

7、根据权利要求6所述的目标跟踪系统,其特征在于,在所述预测模块中,以 $k-1$ 表示前一时刻, k 表示当前时刻, t_{k-1} 表示前一时刻的时间, t_k 表示当前时刻的时间;

已知前一时刻的边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k-1}; \mathbf{m}_{i,k-1}, \mathbf{P}_{i,k-1})$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$;前一时刻各边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k-1}$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$;其中, N 为高斯分布, $\mathbf{x}_{i,k-1}$ 为前一时刻第 i 个边缘分布的状态, $\mathbf{m}_{i,k-1}$ 为前一时刻第 i 个边缘分布的均值, $\mathbf{P}_{i,k-1}$ 为前一时刻第 i 个边缘分布的方差, n_{k-1} 为前一时刻目标的总数, i 为索引号;

由前一时刻的边缘分布,前一时刻各边缘分布的存在概率,以及当前时刻与前一时刻的时间差得到当前时刻各目标的预测边缘分布

为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k|k-1}, \mathbf{P}_{i,k|k-1})$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$; 当前时刻各目标预测边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k|k-1} = p_{S,k}(t_k, t_{k-1})\rho_{i,k-1}$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$; 其中, $\mathbf{m}_{i,k|k-1} = \mathbf{F}_{k-1}\mathbf{m}_{i,k-1}$, 为当前时刻第 i 个边缘分布的均值; $\mathbf{P}_{i,k|k-1} = \mathbf{Q}_{k-1} + \mathbf{F}_{k-1}\mathbf{P}_{i,k-1}\mathbf{F}_{k-1}^T$, 为当前时刻第 i 个边缘分布的方差; $p_{S,k}(t_k, t_{k-1}) = \exp\left(-\frac{\Delta t}{\delta \cdot T}\right)$, 为目标的幸存概率; $\Delta t = t_k - t_{k-1}$, 为当前时刻与前一时刻的时间差; δ 为已知常数; T 为采样周期; $\mathbf{F}_{k-1} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t_k & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \Delta t_k \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$, 为前一时刻的状态转移矩阵; $\mathbf{Q}_{k-1}$ 为前一时刻的过程噪声方差矩阵; 上标 T 表示矩阵的转置。

8、根据权利要求 7 所述的目标跟踪系统, 其特征在于, 所述更新模块中, 设当前时刻接收到的测量数据为 $\mathbf{y}_k = (\mathbf{y}_{1,k}, \dots, \mathbf{y}_{M,k})$, 其中, M 为当前时刻接收到的测量数据总数; 所述更新模块具体用于:

取边缘分布 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^0, \mathbf{P}_{i,k}^0) = N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k|k-1}, \mathbf{P}_{i,k|k-1})$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$, 和存在概率 $\rho_{i,k}^0 = \rho_{i,k|k-1}$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$; 其中 $\mathbf{m}_{i,k}^0 = \mathbf{m}_{i,k|k-1}$, $\mathbf{P}_{i,k}^0 = \mathbf{P}_{i,k|k-1}$; 以及

利用贝叶斯规则依次对第 1 至 M 个测量数据进行处理: 设第 j 个测量数据在处理前的边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^{j-1}, \mathbf{P}_{i,k}^{j-1})$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$, 第 j 个测量数据在处理前的各边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k}^{j-1}$, $i=1,2,\dots,n_{k-1}$, 其中, $1 \leq j \leq M$; 由 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^{j-1}, \mathbf{P}_{i,k}^{j-1})$ 和 $\rho_{i,k}^{j-1}$ 求得第 j 个测量数据更新的存在概率

$$\rho_{i,k}^{a,j} = \frac{p_{D,k} \rho_{i,k}^{j-1} N(\mathbf{y}_{j,k} | \mathbf{H}_k \mathbf{m}_{i,k}^{j-1}, \mathbf{H}_k \mathbf{P}_{i,k}^{j-1} \mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k)}{\lambda_{c,k} + p_{D,k} \sum_{e=1}^{n_{k-1}} \rho_{e,k}^{j-1} N(\mathbf{y}_{j,k} | \mathbf{H}_k \mathbf{m}_{e,k}^{j-1}, \mathbf{H}_k \mathbf{P}_{e,k}^{j-1} \mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k)}$$

$\mathbf{A}_i = \mathbf{P}_{i,k}^{j-1} \mathbf{H}_k^T (\mathbf{H}_k \mathbf{P}_{i,k}^{j-1} \mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k)^{-1}$, 均值向量 $\mathbf{m}_{i,k}^{a,j} = \mathbf{m}_{i,k}^{j-1} + \mathbf{A}_i \cdot (\mathbf{y}_{j,k} - \mathbf{H}_k \mathbf{m}_{i,k}^{j-1})$, 协方差矩阵 $\mathbf{P}_{i,k}^{a,j} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}_i \cdot \mathbf{H}_k) \mathbf{P}_{i,k}^{j-1}$; 其中, $\mathbf{H}_k$ 为观测矩阵, $\mathbf{R}_k$ 为观测噪声的方差矩阵, $p_{D,k}$ 为目标的检测概率, $\lambda_{c,k}$ 为杂波密度, $\mathbf{y}_{j,k}$ 为当前时刻接收到的第 j 个测量数据, $\mathbf{I}$ 表示单位矩阵, 上标 T 表示矩阵或向量的转置;

如果 $\rho_{i,k}^{a,j} > \rho_{i,k}^{j-1}$, 则第 j 个测量数据处理后的第 i 个边缘分布为

$N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^j, \mathbf{P}_{i,k}^j) = N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^{a,j}, \mathbf{P}_{i,k}^{a,j})$, 其存在概率为 $\rho_{i,k}^j = \rho_{i,k}^{a,j}$, 其中 $\mathbf{m}_{i,k}^j = \mathbf{m}_{i,k}^{a,j}$, $\mathbf{P}_{i,k}^j = \mathbf{P}_{i,k}^{a,j}$;

如果 $\rho_{i,k}^{a,j} \leq \rho_{i,k}^{j-1}$, 第 j 个测量数据处理后的第 i 个边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^j, \mathbf{P}_{i,k}^j) = N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^{j-1}, \mathbf{P}_{i,k}^{j-1})$, 其存在概率为 $\rho_{i,k}^j = \rho_{i,k}^{j-1}$, 其中 $\mathbf{m}_{i,k}^j = \mathbf{m}_{i,k}^{j-1}$, $\mathbf{P}_{i,k}^j = \mathbf{P}_{i,k}^{j-1}$;

第 M 个测量数据处理后的第 i 个边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^M, \mathbf{P}_{i,k}^M)$, $i=1, 2, \dots, n_{k-1}$, 其存在概率为 $\rho_{i,k}^M$, $i=1, 2, \dots, n_{k-1}$;

得到的所述当前时刻更新的边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}, \mathbf{P}_{i,k}) = N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^M, \mathbf{P}_{i,k}^M)$, $i=1, 2, \dots, n_{k-1}$, 各更新的边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k} = \rho_{i,k}^M$, $i=1, 2, \dots, n_{k-1}$; 其中 $\mathbf{m}_{i,k} = \mathbf{m}_{i,k}^M$, $\mathbf{P}_{i,k} = \mathbf{P}_{i,k}^M$ 。

9、根据权利要求 8 所述的目标跟踪系统, 其特征在于, 所述当前时刻边缘分布生成模块具体用于:

利用当前时刻的 M 个测量数据生成当前时刻新生目标的边缘分布 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^j, \mathbf{P}_{i,k}^j)$, $j=1, 2, \dots, M$, 同时, 为各当前时刻新生目标的边缘分布指定存在概率 $\rho_{i,k}^j$, $j=1, 2, \dots, M$; 以及

将当前时刻更新的边缘分布与当前时刻新生目标的边缘分布合并, 生成当前时刻的边缘分布 $\{N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}, \mathbf{P}_{i,k})\}_{i=1}^{n_k} = \{N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}, \mathbf{P}_{i,k})\}_{i=1}^{n_{k-1}} \cup \{N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}^j, \mathbf{P}_{i,k}^j)\}_{j=1}^M$, 将当前时刻更新的边缘分布的存在概率与当前时刻新生目标的边缘分布的存在概率合并, 生成当前时刻边缘分布的存在概率 $\{\rho_{i,k}\}_{i=1}^{n_k} = \{\rho_{i,k}\}_{i=1}^{n_{k-1}} \cup \{\rho_{i,k}^j\}_{j=1}^M$, 其中 $n_k = n_{k-1} + M$ 。

10、根据权利要求 9 所述的目标跟踪系统, 其特征在于, 当前时刻更新的边缘分布为 $N(\mathbf{x}_{i,k}; \mathbf{m}_{i,k}, \mathbf{P}_{i,k})$, $i=1, 2, \dots, n_k$, 各边缘分布的存在概率为 $\rho_{i,k}$, $i=1, 2, \dots, n_k$; 所述边缘分布提取模块具体用于: 从合并后所生成的当前时刻的边缘分布中裁减掉存在概率小于第一阈值的边缘分布, 裁减后的边缘分布及其存在概率作为下一时刻滤波器递归的输入, 同时, 从裁减后的边缘分布中提取存在概率大于第二阈值的边缘分布作为当前时刻的输出。

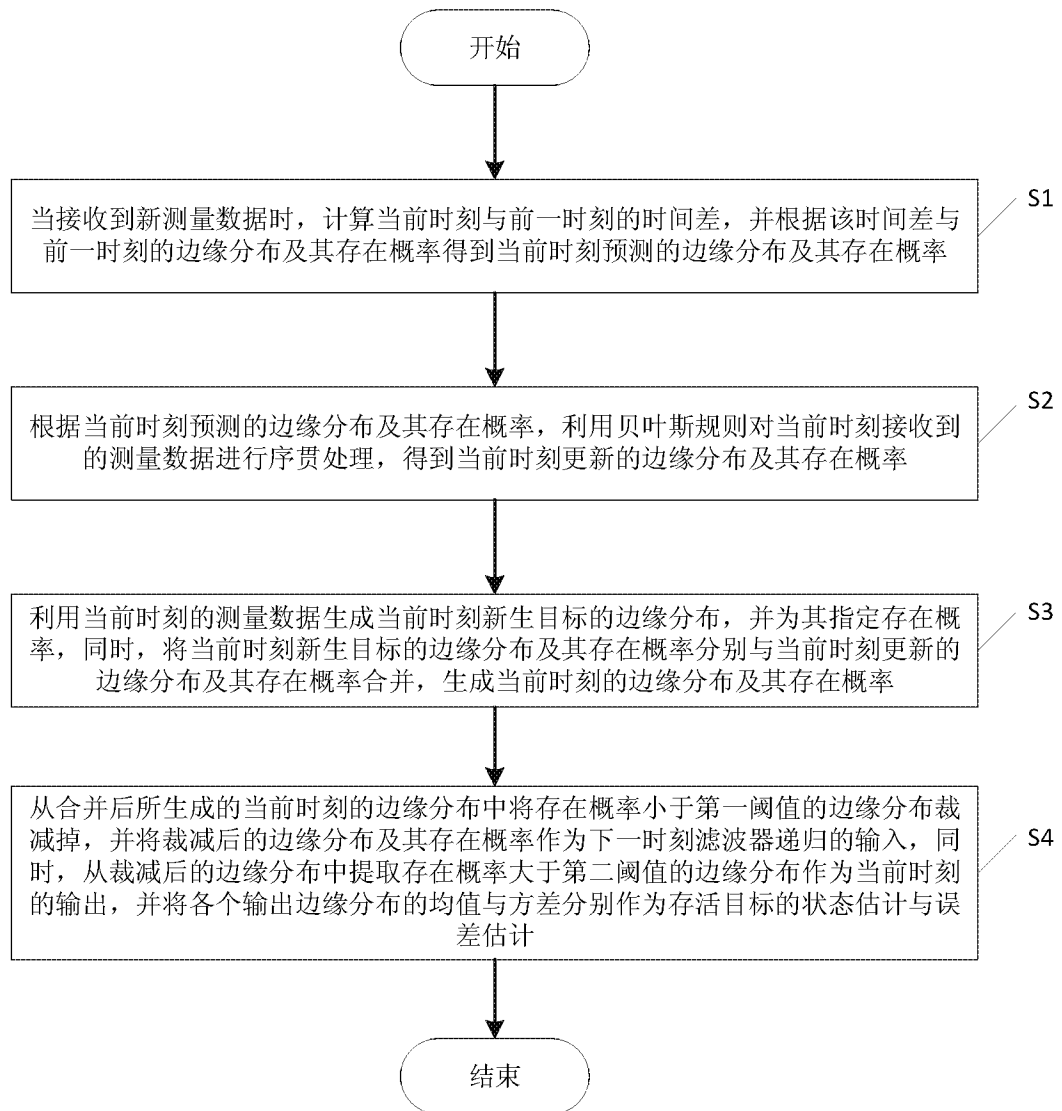


图 1

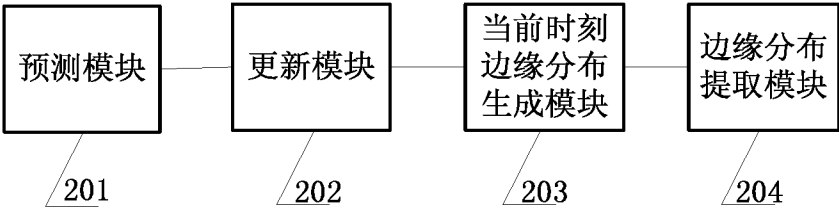


图 2

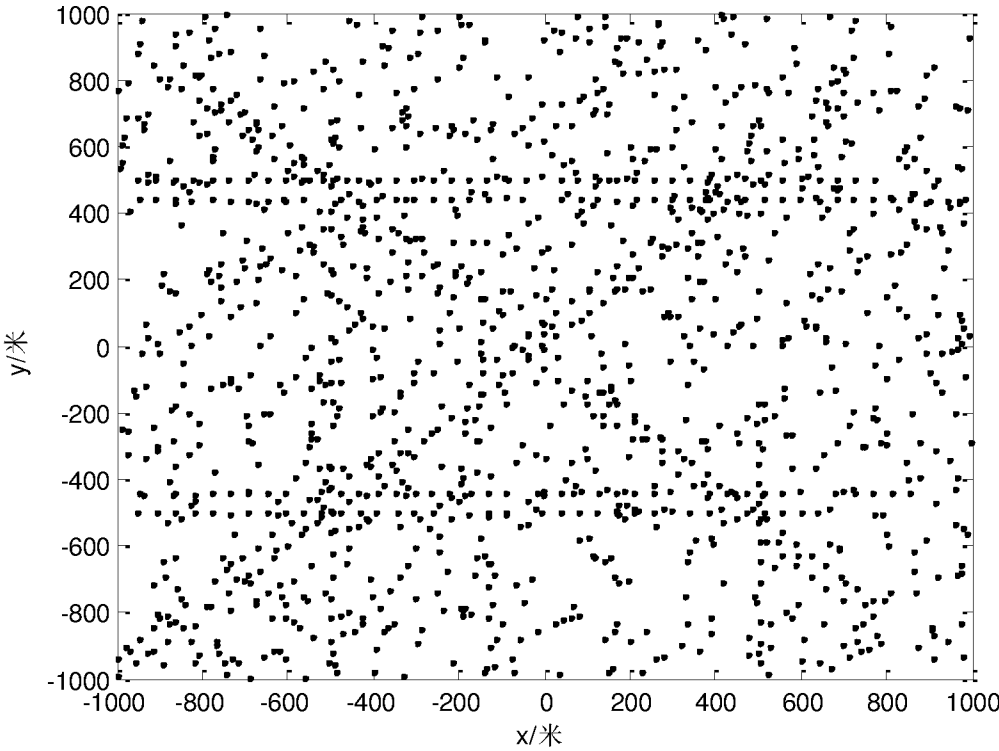


图 3

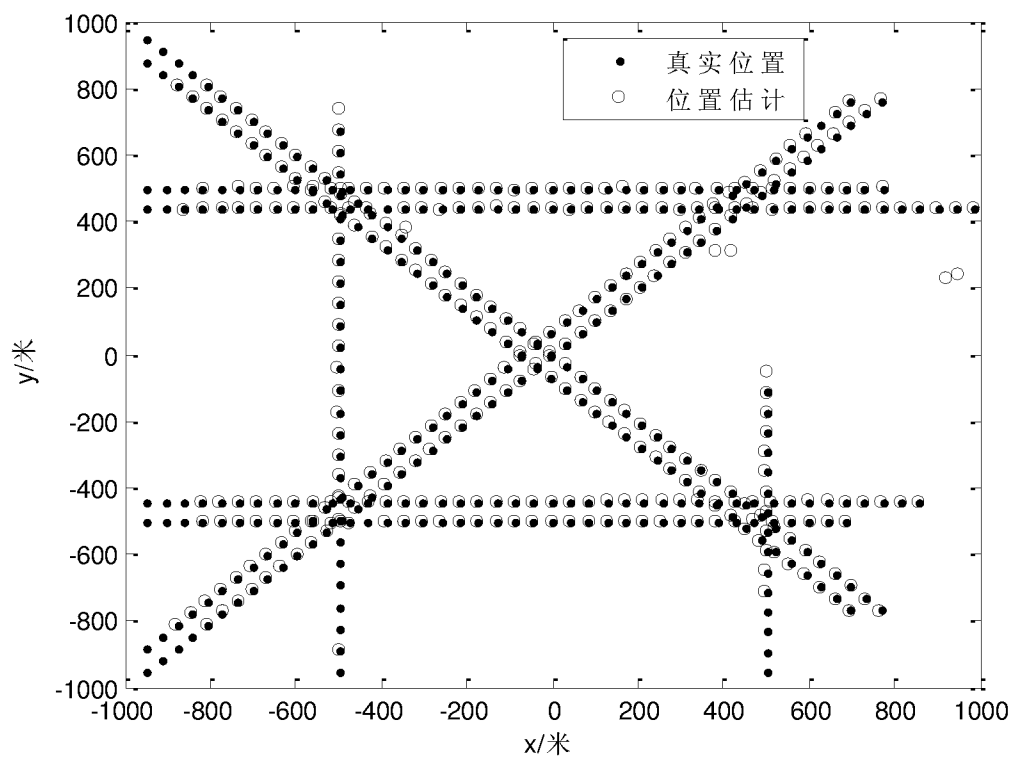


图 4

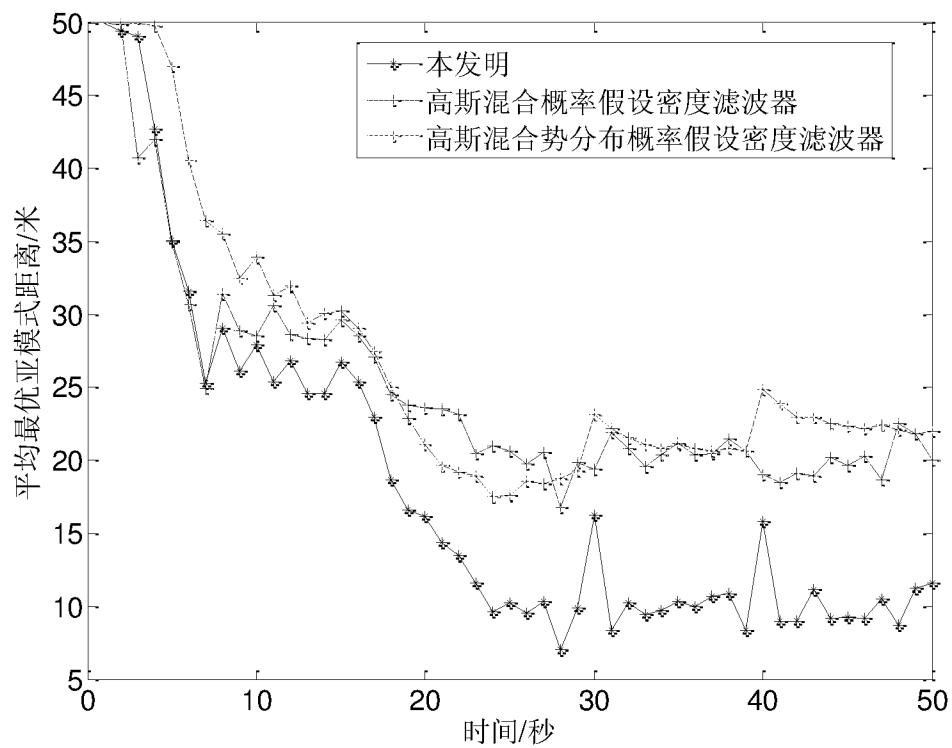


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2015/080051**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

G06F 19/00 (2011.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06F; G06T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, CNTXT, CNKI, VEN, INTERNET: sensor, update, survive; SHENZHEN UNIVERSITY; LIU, Zongxiang; target, track, Bayes, edge, marginal, distribution, probability, filter, sequential, existence, survival

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 103902829 A (SHENZHEN UNIVERSITY), 02 July 2014 (02.07.2014), description, paragraphs [0060]-[0090]	1, 2, 6, 7
Y	CN 103424742 A (SHENZHEN UNIVERSITY), 04 December 2013 (04.12.2013), description, paragraphs [0002]-[0030]	1, 2, 6, 7
A	CN 104318059 A (SHENZHEN UNIVERSITY), 28 January 2015 (28.01.2015), the whole document	1-10
A	CN 103679753 A (SHENZHEN UNIVERSITY), 26 March 2014 (26.03.2014), the whole document	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“&” document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 16 December 2015 (16.12.2015)	Date of mailing of the international search report 13 January 2016 (13.01.2016)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer WANG, Yue Telephone No.: (86-10) 62089109

International application No.
PCT/CN2015/080051

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2009)

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2015/080051

A. 主题的分类

G06F 19/00(2011.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G06F; G06T

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNABS, CNTXT, CNKI, VEN, INTERNET: 目标, 跟踪, 贝叶斯, 序贯, 传感器, 更新, 幸存, 概率, 存在, 深圳大学, 刘宗香, target, track, Bayes, edge, marginal, distribution, probability, filter, sequential, existence, servival

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
Y	CN 103902829 A (深圳大学) 2014年 7月 2日 (2014 - 07 - 02) 说明书第[0060]-[0090]段	1, 2, 6, 7
Y	CN 103424742 A (深圳大学) 2013年 12月 4日 (2013 - 12 - 04) 说明书第[0002]-[0030]段	1, 2, 6, 7
A	CN 104318059 A (深圳大学) 2015年 1月 28日 (2015 - 01 - 28) 全文	1-10
A	CN 103679753 A (深圳大学) 2014年 3月 26日 (2014 - 03 - 26) 全文	1-10

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2015年 12月 16日

国际检索报告邮寄日期

2016年 1月 13日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN)
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

授权官员

王越

电话号码 (86-10)62089109

国际申请号	PCT/CN2015/080051
-------	-------------------

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	103902829	A	2014年 7月 2日	无	
CN	103424742	A	2013年 12月 4日	CN	103424742 B 2015年 5月 13日
CN	104318059	A	2015年 1月 28日	无	
CN	103679753	A	2014年 3月 26日	无	

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)