

一种新的基于概率理论的概率数据互联滤波器

刘宗香 谢维信 黄敬雄
(深圳大学信息工程学院 深圳 518060)

摘要: 该文从理论上分析了用于目标跟踪的概率数据互联滤波器(PDAF)和联合概率数据互联滤波器(JPDAF)存在的不足,提出了一种新的概率数据互联滤波器(NPDAF)。NPDAF 在数据关联时基于概率理论:一个测量可能源于目标,也可能源于杂波,但其源于目标的概率与其源于杂波的概率之和应为 1。同时,给出了跟踪过程中 NPDAF 的数据互联模型及滤波器的实现方法。该实现方法首先计算测量与各目标的关联概率,然后用概率对跟踪滤波器的增益加以修正。仿真实验表明,在对多目标进行跟踪时 NPDAF 的性能优于 JPDAF。

关键词: 目标跟踪; 概率理论; 概率数据互联滤波器; 联合概率数据互联滤波器

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2009)07-1641-05

A New Probabilistic Data Association Filter Based on Probability Theory

Liu Zong-xiang Xie Wei-xin Huang Jing-xiong

(College of Information and Engineering, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)

Abstract: The Probabilistic Data Association Filter (PDAF) and the Joint Probabilistic Data Association Filter (JPDAF) are theoretically analyzed and their shortages in theory are pointed out. Based on the probability theory, a New Probabilistic Data Association Filter (NPDAF) is proposed, in which a measurement may originate from targets or a clutter, but the sum of the probabilities originating from targets and a clutter is equal to 1. Also in the paper, the mathematical model for data association in target tracking and the realization technique for NPDAF are presented. The correlative probabilities between a measurement and targets are first computed in the realization technique, then the gain of a tracking filter is modified using the correlative probability. Simulation results show that the performance of NPDAF is better than that of JPDAF in multiple target tracking.

Key words: Target tracking; Probability theory; PDAF(Probabilistic Data Association Filter); JPDAF(Joint Probabilistic Data Association Filter)

1 引言

目标跟踪技术是信息融合技术的重要组成部分^[1],一系列用于目标跟踪的滤波器相继提出,如概率数据互联滤波器^[1-4],联合概率数据互联滤波器^[1,5,6],交互多模型/概率数据互联滤波器^[1,6-9],粒子滤波器^[10]等。杂波环境下进行目标跟踪主要采用的滤波器为概率数据互联滤波器(PDAF)和联合概率数据互联滤波器(JPDAF),PDAF 仅适用对单目标进行跟踪,而 JPDAF 适用于对多目标进行跟踪^[1]。这两种滤波器首先利用目标前一时刻的状态估计和目标的运动模型确定目标预测点的位置,然后以预测点为中心建立跟踪门。当跟踪门内有多个测量时,数据互联就是确定跟踪门内各测量的权重并且测量的权重值为该测量与目标关联的概率。设在某一时刻有 m_k 个测量并且测量可能源于杂波也

可能源于目标。按 PDAF 和 JPDAF,测量的权重与杂波权重之和为 1,即式(1)成立^[1]。

$$\sum_{i=0}^{m_k} \beta_i^T = 1, \quad \forall T = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

其中 $\beta_i^T (i = 1, 2, \dots, m_k)$ 为测量 i 与目标 T 互联的概率,而 β_0^T 表示杂波与目标 T 互联(即无测量与目标 T 互联)的概率, N 为目标的数目。若假定没有杂波干扰,即 $\beta_0^T = 0$,同时假定 $N = 1, m_k > 1$,采用 PDAF 进行目标跟踪时,则有

$$\sum_{i=1}^{m_k} \beta_i^1 = 1 \quad (2)$$

由式(2)可看出,按 PDAF,对单目标进行跟踪且多个测量落入到目标跟踪门内时,由于各测量源于目标的概率之和等于 1,则各测量源于目标的概率均小于 1。若假定没有杂波干扰,即 $\beta_0^T = 0$,并且假定 $N > 1, m_k \geq 1$,采用 JPDAF 进行目标跟踪时,有

$$\sum_{i=1}^{m_k} \beta_i^T = 1, \quad \forall T = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

当 $m_k = 1$ ，即同一个测量落入到 N 个目标的跟踪门内(图1为一个测量同时落入3个目标跟踪门内)时，有

$$\beta_1^T = 1, \forall T = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

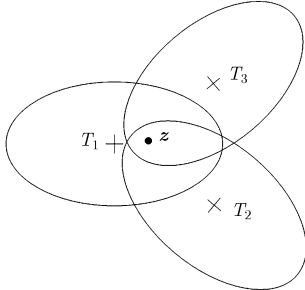


图1 测量 z 落入3个目标跟踪门内情况

式(4)表明，不管测量与目标跟踪门中心的距离有多大，只要测量落入到目标的跟踪门内，其源于该目标的概率就为1，这显然是不合理的。由式(4)，还可得到

$$\sum_{T=1}^N \beta_1^T = N \quad (5)$$

从式(5)可以看出，按 JPDAF，测量1出现的概率并不是1，而是 N ！这与概率理论相互冲突。一个测量既然发生了，尽管它可能源于目标，也可能源于杂波，但其发生的概率理应为1，不可能大于1或小于1。由此可见，PDAF和JPDAF在进行数据互联时理论上存在不足。

PDAF和JPDAF的工作方式是对落入到跟踪门内的多个测量同时进行处理，而这也与传感器实际的工作情况不相符。传感器(如雷达)在实际工作时，并不是一个周期结束时才将该周期内获得的所有测量数据同时传送到处理中心进行处理，而是边扫描边处理，即在每一扫描周期内，只要有测量(可能源于目标也可能是杂波)就立即传送至处理中心，处理中心收到该测量后需要立即对其进行处理。同一时刻出现两个或两个以上测量的可能性很小。由于PDAF和JPDAF的工作特点和其理论上的不足，在很多实际的工作中，就不能采用PDAF和JPDAF进行目标跟踪。

NPDAF是基于概率理论而提出的，即一个测量既然发生了，其出现的概率为1。尽管该测量可能源于杂波，也可能源于目标，但其源于杂波的概率和其源于目标的概率之和应为1。

2 跟踪过程中NPDAF的数据互联数学模型

为了便于讨论，我们假设在 $k+1$ 时刻有一个测

量 z_{k+1} (当同一时刻的测量数多于一个时，可采用序贯处理方式对多个测量进行处理，即一个测量处理完后再对下一个测量进行处理。在实际情况下，同一时刻出现多个测量的概率很小)。同时假设观测空间中的目标数为 N 并且传感器的虚警率(测量源于杂波的概率)为 P_c 。尽管测量可能源于杂波，也可能源于目标，但按概率理论，其源于杂波的概率和源于目标的概率之和应为1，即有

$$P_c + P_t = 1 \quad (6)$$

测量 z_{k+1} 源于目标的概率为

$$P_t = 1 - P_c \quad (7)$$

按概率理论，当该测量源于多个目标时，应由这些目标分享测量源于目标的概率 P_t ，于是有

$$P_t = \sum_{i=1}^N \beta_i \quad (8)$$

其中 β_i 为测量 z_{k+1} 源于目标 i 的概率。观测空间中的目标可分为两类：第1类是存在并且已被发现的目标(已完成航迹起始，需要进行航迹维持的目标)，第2类为存在但未被发现的目标(未完成航迹起始的目标)。将目标分为两类后，式(8)可改写为

$$P_t = \sum_{i=1}^N \beta_i = \sum_{i=1}^{N_f} \beta_i + \sum_{i=N_f+1}^N \beta_i \quad (9)$$

其中， N_f 为第1类目标的数目。为了确定测量 z_{k+1} 源于目标 i 的概率，可以利用目标的跟踪门，并作如下的假定：(1)若测量落入到第1类目标中某目标的跟踪门之外，测量源于该目标的概率为0；(2)若测量 z_{k+1} 落入到所有第1类目标的跟踪门之外，测量 z_{k+1} 源于第2类目标(此时，测量 z_{k+1} 可用于新目标航迹的起始)；(2)只要测量 z_{k+1} 落入到第1类目标的跟踪门内，测量 z_{k+1} 源于第2类目标的概率为0。当测量 z_{k+1} 落入到 N_{k+1} 个第1类目标的跟踪门内时，根据式(9)和以上假设，可得

$$P_t = \sum_{j=1}^{N_{k+1}} \beta_j \quad (10)$$

同PDAF和JPDAF一样，采用概率密度函数来求取测量 z_{k+1} 源于目标 j 的概率 β_j 。设测量 z_{k+1} 与由目标 j 确定的预测观测向量间的残差(或新息)为 ν_{k+1}^j ，残差的协方差矩阵为 S_{k+1}^j ，则测量 z_{k+1} 源于目标 j 的概率密度函数为

$$e_{k+1}^j = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^n |S_{k+1}^j|}} e^{-\frac{1}{2}(\nu_{k+1}^j)^T (S_{k+1}^j)^{-1} \nu_{k+1}^j}, j = 1, 2, \dots, N_{k+1} \quad (11)$$

其中， n 为一个测量中所包含的量测数目。测量 z_{k+1} 源于目标 j 的概率 β_j 为

$$\beta_j = \frac{P_t e_{k+1}^j}{\sum_{j=1}^{N_{k+1}} e_{k+1}^j} = (1 - P_c) \frac{e_{k+1}^j}{\sum_{j=1}^{N_{k+1}} e_{k+1}^j}, j = 1, 2, \dots, N_{k+1} \quad (12)$$

3 新的概率数据互联滤波器——NPDAF

为了叙述的方便，假定目标在 2 维空间中作匀速直线运动且过程噪声为加速度噪声。新测量 z_{k+1} 到来前，目标 $i(i = 1, 2, \dots, N)$ 的状态估计为 $\hat{\mathbf{X}}_{k|k}^i = [\hat{x}_{k|k}^i \ \hat{y}_{k|k}^i]^\top$ ，估计误差的协方差矩阵为 $\mathbf{P}_{k|k}^i$ 。目标 i 的运动方程为

$$\mathbf{X}_{k+1}^i = \begin{bmatrix} x_{k+1}^i \\ \hat{x}_{k+1}^i \\ y_{k+1}^i \\ \hat{y}_{k+1}^i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \delta_k^i & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \delta_k^i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_k^i \\ \hat{x}_k^i \\ y_k^i \\ \hat{y}_k^i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (\delta_k^i)^2/2 & 0 \\ \delta_k^i & 0 \\ 0 & (\delta_k^i)^2/2 \\ 0 & \delta_k^i \end{bmatrix} \mathbf{V}_k^i = \Phi_k^i \mathbf{X}_{k|k}^i + \mathbf{G}_k^i \mathbf{V}_k^i \quad (13)$$

其中， $\delta_k^i = t_{k+1} - t_k^i$ ， t_k^i 为新测量到来前目标 i 状态更新的时间， t_{k+1} 为新测量 z_{k+1} 产生的时间； \mathbf{V}_k^i 为 2 维高斯噪声向量，其均值为 0，协方差为 $\mathbf{Q}^i = q^i \mathbf{I}_{2 \times 2}$ ， $\mathbf{I}_{2 \times 2}$ 为 2×2 单位阵。新测量 z_{k+1} 到来时，目标 i 的预测中心 $\hat{\mathbf{X}}_{k+1|k}^i$ 和预测中心的协方差矩阵 $\mathbf{P}_{k+1|k}^i$ 分别为

$$\hat{\mathbf{X}}_{k+1|k}^i = \Phi_k^i \hat{\mathbf{X}}_{k|k}^i \quad (14)$$

$$\mathbf{P}_{k+1|k}^i = \Phi_k^i \mathbf{P}_{k|k}^i (\Phi_k^i)^\top + \mathbf{G}_k^i \mathbf{Q}^i (\mathbf{G}_k^i)^\top \quad (15)$$

假设传感器为 2 维雷达，测量目标的距离和方位角，其位置为 $[x_s \ y_s]^\top$ ，则预测的观测向量 $\hat{z}_{k+1|k}^i$ 为

$$\hat{z}_{k+1|k}^i = \mathbf{h}(\hat{\mathbf{X}}_{k+1|k}^i) = \begin{bmatrix} \sqrt{(\hat{x}_{k+1|k}^i - x_s)^2 + (\hat{y}_{k+1|k}^i - y_s)^2} \\ \arctan \frac{\hat{y}_{k+1|k}^i - y_s}{\hat{x}_{k+1|k}^i - x_s} \end{bmatrix} \quad (16)$$

新息向量或残差向量为

$$\boldsymbol{\nu}_{k+1}^i = z_{k+1} - \hat{z}_{k+1|k}^i \quad (17)$$

新息向量的协方差矩阵为

$$\mathbf{S}_{k+1}^i = \mathbf{H}_{k+1}^i \mathbf{P}_{k+1|k}^i (\mathbf{H}_{k+1}^i)^\top + \mathbf{R} \quad (18)$$

其中， $\mathbf{H}_{k+1}^i = \left. \frac{d\mathbf{h}(\mathbf{X})}{d\mathbf{X}} \right|_{\mathbf{X}=\hat{\mathbf{X}}_{k+1|k}^i}$ ， \mathbf{R} 为传感器的观测

噪声协方差矩阵。以预测的观测向量为中心建立确认区域(跟踪门)

$$(\boldsymbol{\nu}_{k+1}^i)^\top \mathbf{S}_{k+1}^i \boldsymbol{\nu}_{k+1}^i \leq g^2, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (19)$$

其中， g^2 为确认门限。式(19)可确认测量 z_{k+1} 究竟落入到哪些目标的跟踪门内。设测量 z_{k+1} 落入到 N_{k+1} 个目标跟踪门内，则确认的目标集为

$$\mathbf{T}_{k+1} = \left\{ \mathbf{X}_{k+1|k}^j, \mathbf{P}_{k+1|k}^j, t_k^j \right\}_{j=1}^{N_{k+1}} \quad (20)$$

在用卡尔曼滤波器或扩展卡尔曼滤波器进行目标跟踪时，测量对目标更新状态和更新状态协方差的影响是由滤波器增益控制的，滤波器增益越大，测量对目标更新状态和更新状态协方差的影响也就越大。对于目标集 \mathbf{T}_{k+1} 中的目标 j ，若测量 z_{k+1} 源于目标 j 的概率为 1，则可得滤波器增益为

$$\mathbf{K}_{k+1}^j = \mathbf{P}_{k+1|k}^j (\mathbf{H}_{k+1}^j)^\top (\mathbf{S}_{k+1}^j)^{-1} \quad (21)$$

若测量 z_{k+1} 完全源于杂波，此时测量源于目标的概率为 0，考虑到杂波不对目标的更新状态和更新状态的协方差产生影响，滤波器增益应为 0。实际情况下，测量 z_{k+1} 可能源于目标，也可能源于杂波，并且当测量 z_{k+1} 落入到多个目标跟踪门内时测量可能源于多个目标。这样，测量 z_{k+1} 源于目标 j 的概率大于 0 而小于 1。为了体现测量 z_{k+1} 源于目标 j 的概率对目标更新状态和更新状态协方差的影响，NPDAF 利用式(21)中的滤波器增益乘以测量 z_{k+1} 源于目标 j 的概率，并将二者的积作为 NPDAF 的滤波器增益。当测量 z_{k+1} 源于目标 j 的概率大时，滤波器增益也大；反之，概率小时，滤波器增益也小。NPDAF 中滤波器增益为

$$\begin{aligned} \mathbf{K}_{k+1}^j &= \beta_j \mathbf{P}_{k+1|k}^j (\mathbf{H}_{k+1}^j) (\mathbf{S}_{k+1}^j)^{-1} \\ &= (1 - P_c) \frac{e_{k+1}^j}{\sum_{j=1}^{N_{k+1}} e_{k+1}^j} \mathbf{P}_{k+1|k}^j (\mathbf{H}_{k+1}^j) (\mathbf{S}_{k+1}^j)^{-1} \\ &= (1 - P_c) \frac{1}{\sum_{j=1}^{N_{k+1}} \frac{1}{\sqrt{|\mathbf{S}_{k+1}^j|}} e^{-\frac{1}{2}(\boldsymbol{\nu}_{k+1}^j)^\top (\mathbf{S}_{k+1}^j)^{-1} \boldsymbol{\nu}_{k+1}^j}}}} \cdot \mathbf{P}_{k+1|k}^j (\mathbf{H}_{k+1}^j) (\mathbf{S}_{k+1}^j)^{-1} \end{aligned} \quad (22)$$

目标 j 的状态更新方程为

$$\hat{\mathbf{X}}_{k+1|k+1}^j = \hat{\mathbf{X}}_{k+1|k}^j + \mathbf{K}_{k+1}^j \boldsymbol{\nu}_{k+1}^j, \quad j = 1, 2, \dots, N_{k+1} \quad (23)$$

更新状态的协方差矩阵为

$$\mathbf{P}_{k+1|k+1}^j = \mathbf{P}_{k+1|k}^j - \mathbf{K}_{k+1}^j \mathbf{S}_{k+1}^j (\mathbf{K}_{k+1}^j)^\top, \quad j = 1, 2, \dots, N_{k+1} \quad (24)$$

4 仿真实验

仿真实验采用 3 批直线运动目标和 1 个传感器。3 目标沿水平面平行运动，目标的间距为 d ，在运动过程中，3 目标的运动速度始终保持不变，目标的

运动速度均为 100 m/s。目标 T_1 的初始位置为(500 m, 1000 m)，初始速度为(100 m/s, 0 m/s)；目标 T_2 的初始位置为(500 m, 1000+d m)，初始速度为(100 m/s, 0 m/s)；目标 T_3 的初始位置为(500 m, 1000+2d m)，初始速度为(100 m/s, 0 m/s)。目标的运动轨迹如图 2 所示。传感器为 2 维雷达，测量目标的距离和方位角，位于(0 m, 0 m)，其测距误差标准差 $\sigma_r = 20$ m，测角误差标准差 $\sigma_\theta = 0.001$ rad。传感器对 3 目标观测的顺序如图 2 中的数字所示，测量发生的时间间隔为 $\delta = 3$ s。

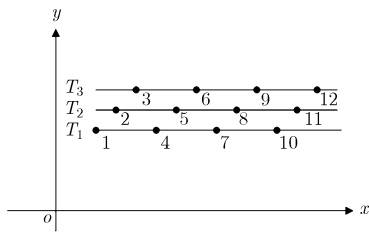


图 2 3 目标的运动轨迹与目标测量顺序图

为了便于比较，假定不存在杂波干扰($P_c = 0$)，测量源于目标的概率为 1($P_t = 1$)，并且跟踪门限 g^2 取值较大，传感器的每个测量都同时落入到 3 个目标的跟踪门内。同时假定 3 目标航迹已起始，3 目标的初始状态估计分别为

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_{0|0}^1 &= [500 \text{ m} \quad 100 \text{ m/s} \quad 1000 \text{ m} \quad 0 \text{ m/s}]^T \\ \mathbf{X}_{0|0}^2 &= [500 \text{ m} \quad 100 \text{ m/s} \quad 1000 + d \text{ m} \quad 0 \text{ m/s}]^T \\ \mathbf{X}_{0|0}^3 &= [500 \text{ m} \quad 100 \text{ m/s} \quad 1000 + 2d \text{ m} \quad 0 \text{ m/s}]^T \end{aligned}$$

初始状态估计的协方差矩阵均为

$$\mathbf{P}_{0|0}^1 = \mathbf{P}_{0|0}^2 = \mathbf{P}_{0|0}^3 = \begin{bmatrix} 100\text{m}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 9\text{m}^2/\text{s}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 100\text{m}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 9\text{m}^2/\text{s}^2 \end{bmatrix}$$

跟踪过程中过程噪声协方差矩阵取为

$$\mathbf{Q}^1 = \mathbf{Q}^2 = \mathbf{Q}^3 = \begin{bmatrix} 4(\text{m/s}^2)^2 & 0 \\ 0 & 4(\text{m/s}^2)^2 \end{bmatrix}$$

取 $d = 300$ m，NPDAF 和 JPDAF 的跟踪结果分别如图 3，图 4 所示。

由图 3 可看出，采用 NPDAF 进行跟踪时得到 3 批目标，3 目标的航迹在各自真实航迹附近。由图 4 可看出，采用 JPDAF 进行跟踪时也得到 3 批目标，但 3 目标的航迹几乎重合，与各自真实航迹相差较大。

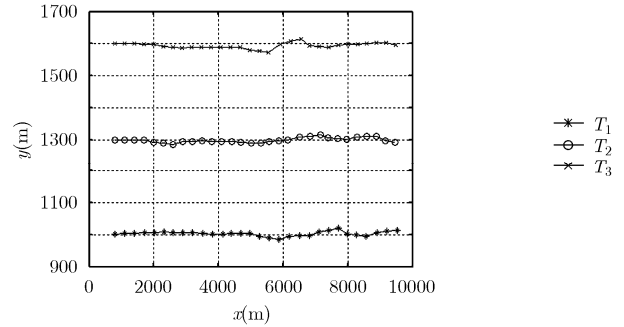


图 3 NPDAF 的跟踪结果

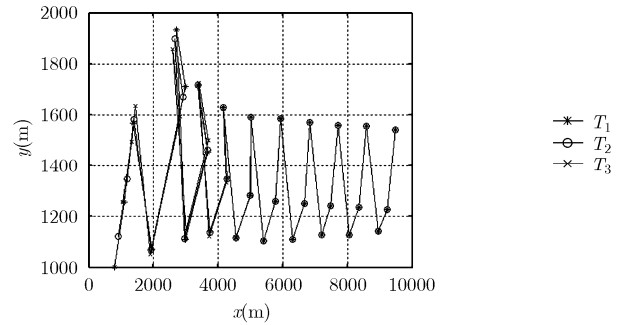


图 4 JPDAF 的跟踪结果

5 结束语

按概率理论，一个事件发生了，其出现的概率应为 1，不可能大于 1，也不可能小于 1。同样，一个测量既然已产生了，其出现的概率理应为 1。如果该测量可能源于杂波，也可能源于多个不同的目标，但其源于杂波和源于目标的概率之和应为 1。PDAF 和 JPDAF 进行数据互联时，测量出现的概率不等于 1，有时甚至可能会大于 1，这样从概率理论讲，PDAF 和 JPDAF 是有缺陷的。本文基于概率理论提出了一种新的用于杂波环境下进行目标跟踪的概率数据互联滤波器——NPDAF。NPDAF 首先利用测量和与各目标前一时刻的状态估计确定预测向量，然后以预测向量为中心建立确认区(跟踪门)，以确认测量落入到哪些目标的确认区内，从而得到确认的目标集。当测量落入到多个目标的确认区内时，NPDAF 先计算出测量源于各目标的概率，然后利用测量源于目标的概率计算滤波器增益，最后得到各目标的更新状态和更新状态的协方差矩阵。从文中推导过程可以看出，NPDAF 进行目标跟踪时仅用到传感器的虚警率(测量源于杂波的概率)，不像 PDAF 和 JPDAF 那样进行目标跟踪时还必须掌握杂波的分布特征。这样，与 PDAF 和 JPDAF 相比，NPDAF 更便于工程应用，因为在复杂的观测环境下杂波的分布特征通常是不易掌握的。仿真实验表明，在对相距很近的多目标跟踪时，

NPDAF 的跟踪效果明显好于 JPDAF。

参考文献

- [1] 何友, 王国宏等. 多传感器信息融合及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2000, 第6章, 第10章.
- [2] Wang Xue-zhi and Musicki D. Low elevation sea-surface target tracking using IPDA type filters[J]. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 2007, 43(2): 759-774.
- [3] Kirubarajan T, Bar-Shalom Y, and Lerro D. Bearings-only tracking of maneuvering targets using a batch-recursive estimator[J]. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 2001, 37(3): 770-780.
- [4] 刘源, 谢维信, 许录平. 多传感器模糊-概率交互作用的数据互联算法[J]. 电子学报, 1999, 27(12): 30-34.
Liu Yuan, Xie Wei-xin, and Xu Lu-ping. Multisensor fuzzy-probability interacting data association algorithm[J]. *Acta Electronica Sinica*, 1999, 27(12): 30-34.
- [5] 张晶炜, 修建娟, 何友, 熊伟. 基于 D-S 理论的分布交互式多传感器联合概率数据互联算法[J]. 中国科学 E 辑 信息科学, 2006, 36(2): 182-190.
- [6] Puranik S and Tugnait J K. Tracking of multiple maneuvering targets using multiscan JPDA and IMM filtering[J]. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 2007, 43(1): 23-35.
- [7] Blom H A P and Bloem E A. Bayesian tracking of two possibly unresolved maneuvering targets[J]. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 2007, 43(2): 612-627.
- [8] Savage C R and Morran B. Waveform selection of maneuvering targets within an IMM framework[J]. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 2007, 43(3): 1205-1214.
- [9] Sinha A, Kirubarajan T, and Bar-Shalom Y. Application of the Kalman-Levy filter for tracking maneuvering targets. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 2007, 43(3): 1099-1107.
- [10] 李良群, 姬红兵, 罗军辉. 杂波环境下被动多传感器机动目标跟踪新算法[J]. 电子与信息学报, 2007, 29(8): 1838-1840.
Li Liang-qun, Ji Hong-bing, and Luo Jun-hui. Maneuvering target tracking algorithm with multiple passive sensors in clutter environment. *Journal of Electronic & Information Technology*, 2007, 29(8): 1838-1840.

刘宗香: 男, 1965年生, 副研究员, 主要研究方向为数据融合、智能信息处理、模糊信息处理.

谢维信: 男, 1941年生, 教授, 主要研究方向为图像处理、智能信息处理、模糊信息处理.

黄敬雄: 男, 1963年生, 教授, 主要研究方向为智能信息处理.