

一种基于跟踪信息的多基雷达系统航迹起始算法

刘红亮* 但晓东 周生华 刘宏伟

(西安电子科技大学雷达信号处理国家重点实验室 西安 710071)

摘要: 多基雷达系统(MSRS)可以大大提高目标定位性能,然而由于各个雷达站信噪比的差异,通常存在一些雷达站尚未建立目标航迹,从而不能最大程度地提高目标定位精度。因此,如何利用其它雷达站提供的目标跟踪信息,提高尚未建立目标航迹的雷达站的探测性能是一个值得研究的问题。为此,该文提出一种基于跟踪信息的航迹起始算法。首先将已经跟踪到目标的雷达站提供的目标跟踪信息,送至尚未建立目标航迹的雷达站;然后利用目标跟踪信息和目标运动模型,建立目标预测波门;最终在虚假航迹起始概率恒定的条件下,调整预测波门内的检测门限,完成目标检测和航迹起始过程。仿真实验表明,该算法可以大大提高目标检测概率和目标航迹起始概率。

关键词: 雷达; 航迹起始; 跟踪信息; 预测波门; 虚假航迹起始概率

中图分类号: TN953

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2015)10-2536-05

DOI: 10.11999/JEIT150148

A Track Initiation Algorithm for Multisite Radar Systems Based on Tracking Information

Liu Hong-liang Dan Xiao-dong Zhou Sheng-hua Liu Hong-wei

(National Laboratory of Radar Signal Processing, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: MultiSite Radar Systems (MSRS) can significantly improve target localization performance. However, due to the difference of signal-to-noise ratios of separate radar sites, there usually exist some radar sites that have not initiated a target track, hence target localization accuracy can not be improved to the best. So an interesting problem is how to use target tracking information provided by other radar sites to improve the detection performance of the radar sites that have not initiated the target track. In this paper, a track initiation algorithm based on tracking information is proposed. Firstly, the target tracking information provided by the radar sites that have already tracked a target is transmitted to the radar sites that have not initiated the target track. Then, a predicted gate is established according to the tracking information and target dynamic model. Finally detection thresholds in the predicted gate are adjusted under a constant probability of false track initiation, and target detection and track initiation are accomplished. Numerical results indicate that the proposed algorithm can significantly improve the probability of target detection and target track initiation.

Key words: Radar; Track initiation; Tracking information; Predicted gate; Probability of false track initiation

1 引言

多基雷达系统(MSRS)^[1]通常由多个空间上分开的雷达站组成,可从不同角度探测目标,与传统单站雷达相比具有较高的检测性能^[2]和定位性能^[3,4]。多基雷达系统较高的定位性能需要各个雷达站均成功建立目标航迹,然而由于各个雷达站信噪比不同,往往存在某些雷达站尚未建立目标航迹。为充分发挥多基雷达系统较高的定位性能,需要各个雷达站尽快完成目标航迹的建立。

航迹起始算法按照其数据处理方式的不同,可以分为顺序处理技术和批处理技术两大类^[5]:顺序处理技术代表性的算法有直观法、逻辑法等^[6],其基本思想是对每次扫描得到的回波数据逐一处理,根据一定时间窗内的点迹关联结果判断是否建立初始航迹。顺序处理技术具有较低的计算量,适用于背景杂波较弱的情况。批处理技术代表性的算法有Hough变换法及其改进算法^[7,8],其主要思想是通过将多次扫描得到的回波数据联合处理,利用Hough变换来实现回波信号的非相干积累,从而提高航迹起始性能。批处理技术适用于强杂波背景的情况,但由于计算量较大、实时性较弱,常用做离线处理。上述航迹起始算法基本都是在目标位置信息未知的条件下设计的。然而多基雷达系统中,已

收稿日期: 2015-01-27; 改回日期: 2015-05-26; 网络出版: 2015-06-29

*通信作者: 刘红亮 hllixidian@gmail.com

基金项目: 国家自然科学基金(61401329, 61271024, 60901065)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (61401329, 61271024, 60901065)

经跟踪到目标的雷达站可以提供目标跟踪信息，缩小目标位置不确定区域。本文出发点就在于如何利用该跟踪信息，提高其它雷达站的航迹起始性能。

目前已有很多文献讨论如何利用目标跟踪信息提高目标检测性能。文献[9]首次提出了利用跟踪信息优化检测门限的问题，并针对概率数据互联滤波器^[5]，通过优化滤波器的状态估计协方差矩阵求解出最优检测门限。在文献[9]的基础上，文献[10]和文献[11]提出了不同的方法以获得滤波器的状态估计协方差矩阵的递推形式。文献[12]将上述协方差矩阵递推方法看作是跟踪滤波器的一种非仿真性质的性能预测，并且在奈曼皮尔逊准则下给出了最优检测门限的闭式解。不同于上述检测门限优化策略，文献[13]在概率数据互联滤波器的基础上，通过利用滤波器反馈的跟踪信息，提出了一种贝叶斯检测器。

对于多基雷达系统，可以根据已经跟踪到目标的雷达站提供的跟踪信息缩小目标不确定区域，从而提高尚未航迹起始的雷达站的检测性能和航迹起始性能。如果多个雷达站已跟踪到目标，所得到的目标状态估计可以送至数据融合中心进行航迹融合^[14,15]，以获得更高的跟踪定位精度。根据跟踪信息，我们可以预测目标即将出现的区域，即预测波门。为提高目标检测性能，可降低预测波门内的检测门限，类似于上述文献的检测门限调整策略。然而较低检测门限将会造成过多的虚警，从而形成过多的虚假航迹。因此，有必要设计一定的准则，在降低检测门限的同时，保证较低的虚假航迹起始概率。

针对多基雷达系统，本文提出了一种基于跟踪信息的航迹起始算法。算法基本思想是，根据其它雷达站提供的跟踪信息，在虚假航迹起始概率恒定的条件下，调整目标预测区域内的检测门限，从而提高检测性能和航迹起始性能。具体而言，首先根据已经跟踪到目标的雷达站提供的跟踪信息，建立目标预测波门；然后在给定的虚假航迹起始概率条件下，计算预测波门内出现虚警的概率(以下称为帧虚警概率)；根据帧虚警概率，计算预测波门内检测单元的虚警概率(以下称为单元虚警概率)；最终根据单元虚警概率完成目标检测和航迹起始过程。仿真实验表明，无论是非机动目标还是机动目标，本文算法与传统航迹起始算法相比，都可以大大提高目标检测性能和航迹起始性能；此外，当目标突然发生机动时，会造成航迹起始性能的下降。

2 问题描述

在多基雷达系统中，通常需要将各个雷达站的目标跟踪信息转换至公共坐标系中。为简便起见，

本文假定各个雷达站不存在坐标变换误差。此外，设各个雷达站之间时间基准相同，不存在定时误差。

假设目标的运动模型^[5]为

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{f}_{k|k-1}(\mathbf{x}_{k-1}) + \mathbf{v}_{k|k-1} \quad (1)$$

其中 $\mathbf{x}_k \in \mathbb{R}^{n_x \times 1}$ 表示第 k 时刻目标的状态向量，通常包含目标的位置、速度等信息， $\mathbf{f}_{k|k-1}(\bullet)$ 表示目标状态转移函数， $\mathbf{v}_{k|k-1}$ 表示第 $k-1$ 时刻的过程噪声。

假设目标的观测模型^[5]为

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{h}_k(\mathbf{x}_k) + \mathbf{w}_k \quad (2)$$

其中 $\mathbf{z}_k \in \mathbb{R}^{n_z \times 1}$ 表示第 k 时刻目标的量测数据，通常包含目标的距离、角度等信息， $\mathbf{h}_k(\bullet)$ 表示第 k 时刻的目标量测函数， \mathbf{w}_k 表示第 k 时刻目标的量测噪声，并假设过程噪声与观测噪声相互独立。

对于已完成目标航迹起始的雷达站，根据式(1)和式(2)，存在许多跟踪算法^[5]可提供目标的状态估计(跟踪信息)。各雷达站提供的跟踪信息也可送至数据融合中心，通过航迹融合^[14,15]获得更加准确的目标状态估计。然而，本文并不着重介绍如何得到该跟踪信息，而是主要研究如何利用该跟踪信息提高尚未建立目标航迹的雷达站的航迹起始性能。

3 算法描述

假设多基雷达系统中，某些雷达站已经跟踪到目标并且已经得到目标跟踪信息，令 $\hat{\mathbf{x}}_{k_f}$ 和 $\mathbf{P}_{k_f|k_f}$ 分别表示第 k_f 时刻目标状态估计值和状态估计协方差矩阵；某些雷达站(以雷达 R_i 为例)尚未建立目标航迹。当雷达 R_i 在第 k_i 时刻(在第 k_f 时刻之后)波束指向目标方向时，根据目标跟踪信息，我们可以确定目标在第 k_i 时刻可能出现的区域，即预测波门。

根据第 k_f 时刻的目标状态估计值，通过式(3)计算第 k_i 时刻的目标状态预测值：

$$\hat{\mathbf{x}}_{k_i|k_f} = \mathbf{f}_{k_i|k_f}(\hat{\mathbf{x}}_{k_f|k_f}) \quad (3)$$

和状态预测协方差矩阵：

$$\mathbf{P}_{k_i|k_f} = \mathbf{F}_{k_i|k_f} \mathbf{P}_{k_f|k_f} \mathbf{F}_{k_i|k_f}^T + \mathbf{Q}_{k_i|k_f} \quad (4)$$

其中 $\mathbf{F}_{k_i|k_f}$ 表示目标状态转移函数 $\mathbf{f}_{k_i|k_f}(\bullet)$ 的雅可比矩阵， $(\bullet)^T$ 表示转置运算， $\mathbf{Q}_{k_i|k_f}$ 表示过程噪声协方差矩阵。

由于目标状态预测信息通常包含目标位置信息、目标速度信息等，因此仍需要从中提取目标位置信息。设目标位置的预测中心和预测协方差分别为 $\hat{\mathbf{y}}_{k_i|k_f}$ 和 $\mathbf{D}_{k_i|k_f}$ ，则目标预测波门可以表示为

$$\left(\mathbf{y}_{k_i} - \hat{\mathbf{y}}_{k_i|k_f}\right)^T \mathbf{D}_{k_i|k_f}^{-1} \left(\mathbf{y}_{k_i} - \hat{\mathbf{y}}_{k_i|k_f}\right) \leq \gamma \quad (5)$$

其中 \mathbf{y}_{k_i} 表示第 k_i 时刻目标可能出现的位置， $\sqrt{\gamma}$ 表示预测波门大小^[5]。

为提高目标检测性能和航迹起始性能，我们可以降低预测波门内的检测门限。然而，过低的检测门限将会带来过多的虚警，从而引入过多虚假航迹。为了提高检测性能，同时将虚假航迹维持在一个可以接受的水平，我们在虚假航迹起始概率恒定的条件下调整预测波门内的单元虚警概率。不妨假设若连续 M 帧的预测波门内存在过检测门限的检测统计量则建立目标航迹。在虚假航迹起始概率 P_F 的条件下，帧虚警概率 P_Z 可以通过式(6)计算得到。

$$P_F = P_Z^M \quad (6)$$

根据 P_Z ，预测波门内的单元虚警概率应满足

$$P_Z = 1 - (1 - P_{f,k_i})^{N_{k_i}} \quad (7)$$

其中 P_{f,k_i} 表示预测波门内的单元虚警概率， N_{k_i} 表示预测波门内检测单元的个数。

根据式(7)便可以计算出单元虚警概率，即

$$P_{f,k_i} = 1 - (1 - P_Z)^{1/N_{k_i}} \quad (8)$$

根据单元虚警概率，便可结合所用的检测算法计算检测门限，进而完成目标检测和航迹起始过程。由于充分利用了其它雷达站提供的目标跟踪信息，该算法的最终效果体现为预测波门内的航迹起始。因此，与传统航迹起始算法相比，可以大大降低预测波门内的检测门限，提高了目标检测性能和航迹起始性能。当我们可以得到更高精度的跟踪信息时，预测波门将会进一步减小，波门内可得到更低的检测门限，从而获得更好的检测性能和航迹起始性能。

本算法并不局限于某种检测算法或航迹起始算法，而是在通用的航迹起始框架下设定一定的准则，在恒定的虚假航迹起始概率条件下调整预测波门内的单元虚警概率，进而完成目标检测和航迹起始，因此具有很高的普适性和工程应用价值。

4 仿真实验与性能分析

考虑一个具有两部雷达站且各雷达站异步工作的多基雷达系统，雷达 R_1 位于坐标原点，雷达 R_2 坐标为 (0 km, 150 km)。设雷达 R_1 波束宽度为 $\theta_{3\text{dB}} = 2^\circ$ ，发射信号带宽为 $B=1$ MHz，扫描周期为 $T=10$ s，雷达 R_2 工作参数与雷达 R_1 相同。

4.1 非机动目标性能分析

设初始时刻目标相对于雷达 R_1 的距离为 300 km，方位角为 40° ，且以 200 m/s 的速度向雷达 R_1 匀速飞行。雷达 R_2 波束照射到目标之后经 $\Delta t = 4$ s，雷达 R_1 波束指向目标方向。不妨设目标 RCS 服从 Swelling I 类起伏模型，且雷达接收信号的背景噪声服从零均值的复高斯分布。为简化起见，令检测统计量为 $\lambda = |x|^2 / \sigma_n^2$ ，其中 σ_n^2 表示背景噪声功率。

仿真实验中，目标状态向量包含目标的位置信

息和速度信息，即

$$\mathbf{x}_k = [x_k \quad \dot{x}_k \quad y_k \quad \dot{y}_k]^T \quad (9)$$

其中 x_k 和 \dot{x}_k 分别表示目标位置和速度的 x 轴分量， y_k 和 \dot{y}_k 分别表示目标位置和速度的 y 轴分量。

考虑以下匀速运动模型^[5]：

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{f}_{k|k-1}(\mathbf{x}_{k-1}) + \mathbf{v}_{k|k-1} = \mathbf{F}_{k|k-1}\mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{v}_{k|k-1} \quad (10)$$

其中状态转移矩阵 $\mathbf{F}_{k|k-1}$ 具有式(11)形式：

$$\mathbf{F}_{k|k-1} = \begin{bmatrix} 1 & T & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

过程噪声 $\mathbf{v}_{k|k-1}$ 的协方差矩阵为

$$\mathbf{Q}_{k|k-1} = \sigma_p^2 \begin{bmatrix} T^3/3 & T^2/2 & 0 & 0 \\ T^2/2 & T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & T^3/3 & T^2/2 \\ 0 & 0 & T^2/2 & T \end{bmatrix} \quad (12)$$

其中 σ_p 表示过程噪声标准差^[5]，仿真中取为 0.1。

雷达观测方程为

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{h}_k(\mathbf{x}_k) + \mathbf{w}_k = \begin{bmatrix} \sqrt{(x_k - x_r)^2 + (y_k - y_r)^2} \\ \tan^{-1} \left(\frac{y_k - y_r}{x_k - x_r} \right) \end{bmatrix} + \mathbf{w}_k \quad (13)$$

其中 x_r 和 y_r 分别表示某个雷达的横坐标和纵坐标， $\tan^{-1}(\cdot)$ 表示反正切函数。

采用 2/2 逻辑起始方法，即连续 2 帧的预测波门内出现超过门限的信号则起始目标航迹。假设雷达 R_2 距离测量精度 75 m，方位角测量精度为 0.004 rad，并且已经跟踪到目标；雷达 R_1 尚未起始目标航迹。在非协同工作模式下，即雷达 R_1 单独工作的情况下，虚警概率设置为 10^{-6} ；两部雷达站协同工作模式下雷达 R_1 的虚假航迹起始概率为 $P_f = 0.001$ 。不失一般性，从第 10 帧开始利用雷达 R_2 的跟踪信息引导雷达 R_1 起始目标航迹，并且利用第 10 帧和第 11 帧的跟踪信息分析所提算法的目标检测概率和航迹起始概率，如图 1 所示。

由图 1(a)可以看出，在两部雷达站协同工作模式下，由于充分利用了雷达 R_2 提供的目标跟踪信息，与非协同工作模式相比，雷达 R_1 的目标检测概率得到了很大的提升，并且第 10 帧和第 11 帧检测概率基本维持不变。在检测概率为 0.50 的条件下，非协同工作模式下所需的信噪比为 12.78 dB，协同工作模式下所需信噪比仅为 8.87 dB，信噪比的要求降低了 3.91 dB。由图 1(b)可以看出，与非协同工作模式相比，两部雷达站协同工作情况下雷达 R_1 的

目标航迹起始概率得到了很大的提高，其根本原因在于协同工作模式下目标的检测性能得到了提升，进而获得了航迹起始性能的得益。在航迹正确建立概率为 0.50 的条件下，非协同工作模式下所需的信噪比为 15.90 dB，而协同工作模式下所需信噪比为 12.17 dB，信噪比的要求降低了 3.73 dB。等效为雷达作用距离则是，协同工作模式下完成航迹起始所需的目标距离推远了 23.95%。

4.2 机动目标性能分析

仍采用 4.1 节中的仿真参数，但目标在第 10 帧突然以 20 m/s^2 的加速度向雷达 R_1 加速，分析目标检测性能和航迹起始性能。协同工作模式与非协同工作模式下目标检测概率和航迹起始概率对比如图 2 所示。

由图 2(a)可以看出，在两部雷达站协同工作模式下，由于充分利用了雷达 R_2 提供的目标跟踪信息，与非协同工作模式相比，雷达 R_1 的目标检测概率得到了很大的提升。目标发生机动后，造成预测信息的不准确，因此与非机动场景相比，检测性能存在一定损失。在检测概率为 0.50 的条件下，非协

同工作模式下所需的信噪比为 12.78 dB，协同工作模式下第 10 帧和第 11 帧所需信噪比分别为 8.90 dB 和 9.48 dB，信噪比的要求仍然可以降低，并且分别降低了 3.88 dB 和 3.30 dB。由图 2(b)可以看出，与非协同工作模式相比，两部雷达站协同工作情况下雷达 R_1 的目标航迹起始概率得到了很大的提高，但相对于非机动目标有了一定的性能下降。在航迹正确建立概率为 0.50 的条件下，非协同工作模式下所需的信噪比为 15.90 dB，而协同工作模式下所需信噪比为 12.51 dB，信噪比的要求降低了 3.39 dB。等效为雷达作用距离则是，协同工作模式下完成航迹起始所需的目标距离推远了 21.55%。

可以看出，无论是机动目标还是非机动目标，所提算法均能提高目标的检测性能和航迹起始性能。当目标真实运动模型与目标跟踪模型匹配度较高时，预测波门可以有效覆盖目标真实出现的位置，因此可以获得较高的目标航迹起始概率；当目标真实运动模型与目标跟踪模型失配时，由于目标机动造成的跟踪性能的下降，使得预测波门不能有效覆盖目标真实出现的位置，造成一定的性能损失。

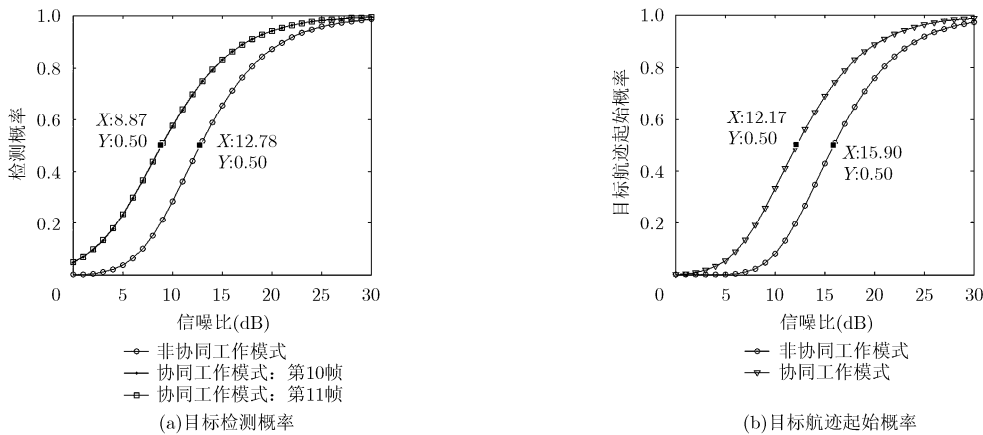


图 1 雷达 R_1 的目标检测概率和航迹起始概率

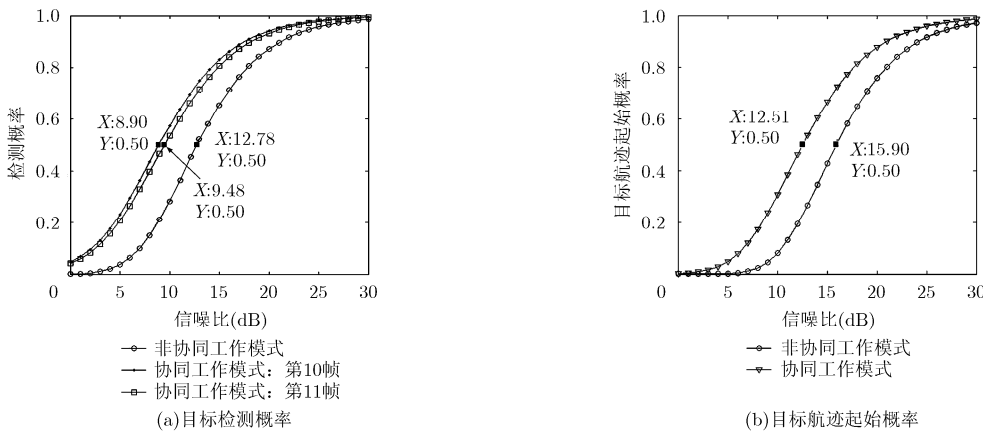


图 2 雷达 R_1 的目标检测概率和目标航迹起始概率

5 总结

本文给出了一种基于跟踪信息的多基雷达系统航迹起始算法。算法中, 尚未建立目标航迹的雷达站利用已经建立目标航迹的雷达站提供的目标跟踪信息, 结合目标运动模型建立目标预测波门, 在保证自身的虚假航迹起始概率恒定的情况下, 降低预测波门内的检测门限, 从而提高了目标检测概率和航迹起始概率, 改善了雷达的探测性能。仿真实验表明, 无论是针对机动目标还是非机动目标, 与传统航迹起始算法相比, 本文算法均能大大提高目标航迹起始性能。另外, 当目标突然发生机动时, 由于预测信息准确度的降低, 将会带来一定的性能损失。

参考文献

- [1] Chernyak V S. Fundamentals of Multisite Radar Systems: Multistatic Radars and Multiradar Systems[M]. New York: Gordon and Breach Science Publisher, 1998: Chapter 1.
- [2] Zhou Sheng-hua and Liu Hong-wei. Space-partition-based target detection for distributed MIMO radar[J]. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 2013, 49(4): 2717-2729.
- [3] 刘钦, 刘峥, 谢荣. 防空雷达网对多隐身目标的协同检测与跟踪[J]. 电子与信息学报, 2013, 35(3): 601-607.
Liu Qin, Liu Zheng, and Xie Rong. Collaborative detection and tracking of stealthy target by netted radar[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2013, 35(3): 601-607.
- [4] 严俊坤, 戴奉周, 秦童, 等. 一种针对目标三维跟踪的多基地雷达系统功率分配算法[J]. 电子与信息学报, 2013, 35(4): 901-907.
Yan Jun-kun, Dai Feng-zhou, Qin Tong, *et al.* A power allocation approach for 3D target tracking in multistatic radar systems[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2013, 35(4): 901-907.
- [5] 何友, 修建娟, 关欣, 等. 雷达数据处理及应用[M]. 第 3 版, 北京: 电子工业出版社, 2013: 第 8 章.
He you, Xiu Jian-juan, Guan Xin, *et al.* Radar Data Processing with Applications[M]. Third Edition, Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2013: Chapter 8.
- [6] 汤琦, 黄建国, 杨旭东. 航迹起始算法及性能仿真[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(1): 149-152.
Tang Qi, Huang Jian-guo, and Yang Xu-dong. Algorithm of track initiation and performance evaluation[J]. *Journal of System Simulation*, 2007, 19(1): 149-152.
- [7] 吴泽民, 张磊, 刘晗, 等. 基于随机 Hough 变换的三维集中式航迹起始算法[J]. 电子学报, 2013, 41(5): 840-847.
Wu Ze-min, Zhang Lei, Liu Han, *et al.* Centralized 3D track initialization using random Hough transformation[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2013, 41(5): 840-847.
- [8] 鹿传国, 冯新喜, 孔云波, 等. 并行 Hough 变换航迹起始[J]. 雷达学报, 2013, 2(3): 292-299.
Lu Chuan-guo, Feng Xin-xi, Kong Yun-bo, *et al.* Track initiation based on parallel Hough transform[J]. *Journal of Radars*, 2013, 2(3): 292-299.
- [9] Fortmann T, Bar-Shalom Y, Scheffe M, *et al.* Detection thresholds of tracking in clutter — a connection between estimation and signal processing[J]. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 1985, 30(3): 221-229.
- [10] Li X R and Bar-Shalom Y. Detection threshold selection for tracking performance optimization[J]. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 1994, 30(3): 742-749.
- [11] Gelfand S B, Fortmann T E, and Bar-Shalom Y. Adaptive detection threshold optimization for tracking in clutter[J]. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 1996, 32(2): 514-523.
- [12] Aslan M S, Saranl A, and Baykal B. Tracker-aware adaptive detection: an efficient closed-form solution for the Neyman-Pearson case[J]. *Digital Signal Processing*, 2010, 20(5): 1468-1481.
- [13] Willett P, Niu R, and Bar-Shalom Y. Integration of Bayes detection with target tracking[J]. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 2001, 49(1): 17-29.
- [14] Tian Xin and Bar-Shalom Y. On algorithms for asynchronous track-to-track fusion[C]. 2010 13th Conference on Information Fusion, Edinburgh, England, 2010: 1-8.
- [15] 董凯, 关欣, 王海鹏, 等. 基于序贯修正灰关联度的全局最优航迹关联算法[J]. 电子与信息学报, 2014, 36(8): 1939-1945.
Dong Kai, Guan Xin, Wang Hai-peng, *et al.* Global optimal track association algorithm based on sequential modified grey association degree[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2014, 36(8): 1939-1945.

刘红亮: 男, 1989 年生, 博士生, 研究方向为目标检测、目标跟踪与定位、协同探测。
但晓东: 男, 1989 年生, 硕士生, 研究方向为目标检测、目标跟踪与定位、协同探测。
周生华: 男, 1982 年生, 博士, 副教授, 研究方向为 MIMO 雷达、协同探测。
刘宏伟: 男, 1971 年生, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为雷达系统、雷达信号处理、雷达自动目标识别等。