

高频地波雷达海上目标航迹跟踪新思路

孙伟峰¹, 戴永寿¹, 纪永刚², 周 鹏¹, 万 勇¹

(1. 中国石油大学(华东) 信息与控制工程学院, 山东 青岛 266580; 2. 国家海洋局 第一海洋研究所, 山东青岛 266061)

摘要: 高频地波雷达是对海上运动目标进行监视监测的一种重要手段, 为了提高地波雷达对海上特定目标独立跟踪探测时的性能, 本文对高频地波雷达海上目标跟踪技术的研究现状进行了综述, 分析总结了目前航迹跟踪方法存在的主要问题。结合海上目标跟踪的实际应用需求, 借助目前流行的深度学习学习方法充分挖掘其他同步探测手段获取的目标信息, 提出了基于知识辅助的特定目标跟踪方法, 改善后续地波雷达对特定目标独立跟踪时的航迹质量, 初步的航迹跟踪结果验证了提出方法的有效性。提出的地波雷达特定目标跟踪方法对目标跟踪方法的理论研究及地波雷达目标跟踪系统的业务化应用均具有重要意义及参考价值。

关键词: 高频地波雷达; 目标跟踪; 知识辅助; 船舶自动识别系统

中图分类号: TN953+.6 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2017)06-0144-06

DOI: 10.11759/hyxx20160412004

高频地波雷达(High Frequency Surface Wave Radar, HFSWR)能够对海上大范围内的运动目标进行超视距、大范围、全天候的主动跟踪探测, 具有实时性好、成本低等优点^[1-3]。目标航迹跟踪作为地波雷达目标检测跟踪系统中的最后也是最复杂的一环, 担负着降低虚警与形成航迹的任务, 是目标探测跟踪效果的直接体现。对关注的海上特定目标进行长期、稳定、准确地航迹跟踪探测, 在海上维权执法、海上目标搜救等应用领域发挥着越来越重要的作用。

高频地波雷达目标航迹跟踪性能受到目标探测及跟踪算法性能的共同影响。目标探测时, 较低的距离与方位角分辨率使得获取的目标位置不准确, 数据率低导致点迹的时间连续性较差, 受杂波及干扰影响严重使得检测概率低、虚警率高。目标跟踪主要涉及状态预测、数据关联与状态估计三个过程, 现有的跟踪算法仅利用地波雷达自身的探测数据, 状态预测时假定的运动模型不能准确地反映目标实时的运动状态, 数据关联及状态估计时涉及的多个参数难以准确估计, 主要依靠经验或多次调试设定。上述问题导致在目标航迹跟踪时会出现航迹断裂、航迹剧烈波动等现象, 这些现象在目标机动或受到杂波遮掩等复杂情况下更为突出, 给目标的连续、准确跟踪带来很大的挑战, 限制了地波雷达对海上运动目标进行独立跟踪探测时的性能及推广应用。此外,

现有的多目标跟踪方法都是对雷达威力范围内的所有目标进行跟踪, 由于目标及其状态各异, 采用单一的跟踪方法很难同时实现对多个目标的准确跟踪; 并且, 在海上维权执法、目标搜救等实际应用中, 往往只关注海上特定目标的运动轨迹。因此, 对海上目标进行大范围超视距发现, 然后对特定目标进行准确跟踪, 更符合业务单位的实际应用需求。

本文将探讨高频地波雷达海上目标航迹跟踪方法, 在此基础上, 提出一种适用于实际业务应用的海上目标航迹跟踪新思路。

1 高频地波雷达海上运动目标探测及跟踪

高频地波雷达海上目标跟踪方法可以分为两大

收稿日期: 2016-04-12; 修回日期: 2016-05-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(61501520); 山东省自然科学基金项目(ZR2013FL035); 中央高校基本科研业务费专项(14CX02083A); 海洋公益性行业专项(201505002); 国家海洋局海洋遥测工程技术研究中心开放基金(M1205010A)

[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 61501520; Shandong Provinc Natural Foundation, China, No.ZR2013FL035; the Fundamental Research Funds for the Central Universities, No. 14CX02083A; Marine scientific research special funds for public welfare, No. 201505002; Fund of Oceanic telemetry Engineering and Technology Research Center, State Oceanic Administration, No. M1205010A]

作者简介: 孙伟峰(1982-), 男, 山东东营人, 副教授, 博士, 研究方向为海上目标探测与跟踪, 电话: 18266639778, E-mail: swf0217@163.com

类,即检测前跟踪(track-before-detect, TBD)方法^[4]和检测后跟踪方法^[5],检测前跟踪方法致力于解决低可观测目标的一体化检测跟踪问题,本文重点围绕检测后跟踪方法进行讨论。

高频地波雷达目标航迹跟踪利用雷达探测得到的目标点迹推演出目标的真实航行轨迹,点迹探测的效果直接影响目标跟踪性能。高频地波雷达获取的目标点迹包含三个状态参数:径向速度、径向距离和方位角。其中,径向速度的分辨率与相干积累时间成正比,在对海上运动目标进行探测时一般采用较长的积累时间(如 100 s),因而径向速度分辨率较高(最高可达到 1 m/s)^[5];径向距离的分辨率与雷达发射波形的带宽成正比,高频地波雷达的波形带宽一般小于 20 kHz,对应的距离分辨率约为 4 海里;方位角的分辨率与天线阵列孔径尺寸成正比,受布设场地的限制,天线孔径无法做得太大,导致方位角分辨率较低。因此,地波雷达对海上运动目标进行探测时,较低的距离和方位分辨率导致目标探测位置与真实位置之间存在较大的偏差,使得形成的航迹会偏离目标的真实位置,且出现抖动和跳变。图 1 给出了一个真实目标的跟踪个例,其中,将船舶自动识别系统(Automatic Identification System, AIS)的航迹作为目标的实际运动轨迹,地波雷达航迹利用 α - β 滤波方法得到。

跟踪是一个由关联和估计构成的循环过程,跟踪算法的研究主要围绕状态预测、数据关联与状态估计三个方面展开。现有的专门针对地波雷达目标跟踪的文献相对较少,有些文献只给出了航迹结果,但没有提到具体采用的跟踪方法,如文献[6-7]等。现有的地波雷达目标跟踪工作主要集中在对数据关联、状态估计以及目标运动模型估计方法的研究。例如, Ponsford A M 等采用基于最近邻准则的数据关联方法及基于 M/N 逻辑的跟踪方法获得地波雷达目标航迹^[8]; Dzvonkovskaya A 等针对 WERA 雷达,提出采用基于最近邻的数据关联方法及极坐标下的 α - β 滤波方法进行航迹跟踪^[9]; Chan^[10]提出采用基于最近邻的数据关联方法与 Kalman 滤波来跟踪冰山目标;胡松等采用联合概率数据关联(Joint Probabilistic Data Association, JPDA)方法提高密集杂波环境下数据关联的准确性^[11],利用交互多模型(Interacting Multiple Model, IMM)描述目标的运动模式,提高状态预测的准确性^[12],采用扩展卡尔曼滤波方法(Extended Kalman Filter, EKF)解决非线性状态滤波的问题^[13-14]; Braca 等提出结合多个雷达站提供的数据,采用联合概率数据关联与无迹卡尔曼滤波(Unscented Kalman Filter, UKF)方法进行航迹跟踪^[15],通过航迹关联与融合得到最终的航迹输出,提高了航迹质量^[16-17]。

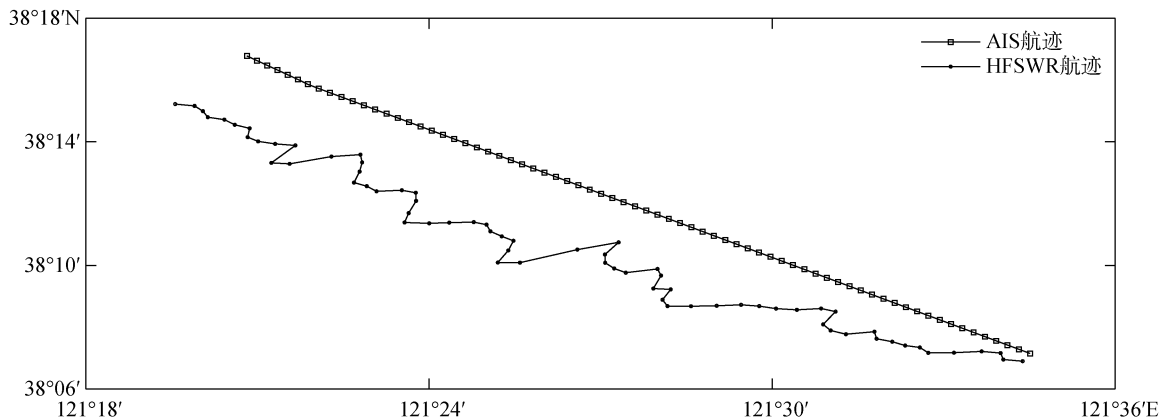


图 1 地波雷达与 AIS 航迹对比

Fig. 1 Comparison between HFSWR and AIS tracks

分析现有的地波雷达目标航迹跟踪方法可以得到如下结论:(1)从简单的单模型到复杂的变结构交互多模型,从最近邻关联到联合概率数据关联,从逻辑法到无迹卡尔曼滤波方法,国内外学者从状态预测的准确性、数据关联的准确性以及状态估计的精度三个方面开展了系列研究工作,丰富了地波雷

达目标跟踪方法。(2)状态预测、数据关联以及状态估计方法中都涉及多个参数,如状态预测时的运动模型参数、数据关联时所用的波门大小及形状参数、状态估计时噪声的方差参数等,这些参数的取值准确与否直接影响跟踪效果。对于实际的地波雷达系统,由于缺乏必要的先验知识,目标参数的测量误

差受多种因素的影响,统计特性难以确定,使得目标跟踪算法中的参数主要依靠经验确定,不能很好地适应目标运动及周围环境的特点,影响了跟踪效果。因此,仅依靠地波雷达自身的探测数据难以实现精确的目标跟踪,导致现有跟踪方法得到的航迹波动剧烈、与目标真实位置之间存在较大的偏差,且极易出现断裂。

2 高频地波雷达海上目标跟踪的新思路

在实际的海上目标监视系统中,对目标的探测往往同时采用多种手段,除了地波雷达,还有星载 SAR、机载 SAR 以及 AIS 等。这些手段除了能够在一段时间内与地波雷达同步提供船只目标准确的航迹探测信息外,还能够提供目标的 ID 号、类型、吨位、长宽尺寸等属性信息以及航速、航向等运动信息。但这些手段由于受到探测距离(如 AIS)或续航能力(如海监飞机)等因素的限制,只能提供一段时间内的同步观测信息,最终还需要利用地波雷达实现对特定目标的超视距持续跟踪。多手段同步探测期间,其他探测手段获取的目标信息包含了目标真实的属性及运动状态,可以将其作为辅助信息应用到地波雷达目标跟踪算法中,以提高其对特定目标的独立跟踪能力。因而,基于知识的地波雷达目标跟踪方法,成为地波雷达目标跟踪研究的一个新思路。

在地波雷达与其他探测手段同步获取目标信息及信息的联合应用方面,目前已经开展了一些研究工作。例如, Liu 等^[18]利用模糊融合外推法实现了 AIS 与地波雷达数据的配准,通过对二者的融合处理提高了地波雷达目标跟踪的稳定性; Vesecky 等^[19]结合 AIS 和地波雷达目标探测信息建立了综合监测系统,提高了舰船目标的检测概率; Dzvonkovskaya 等^[20]利用 AIS 提供的目标位置、速度、对地航向、船只类型信息对地波雷达目标探测数据进行修正,提高了探测数据的准确性; Gurge 等^[21]利用 AIS 和 SAR 航迹作为参考,对地波雷达的跟踪性能进行了评价。上述工作为开展地波雷达与同步观测手段探测的目标信息之间关联关系的研究提供了方法借鉴;但是,这些工作大都是对多手段同步探测数据进行融合以提高整体的目标探测能力,或是对地波雷达的目标跟踪性能进行评价,没有充分利用目标的同步探测信息来提高地波雷达的独立跟踪性能。

在目标知识的利用方面,近年来,基于知识的(Knowledge-Based, KB)的信号与数据处理方法开始应用于雷达领域,成为雷达信号处理方法研究的一个热点^[22]。Vivone 等提出了高频地波雷达多目标跟踪方法,将 AIS 历史数据提供的海中航线信息以及运动模型信息作为先验知识,对目标的运动轨迹进行约束,有效降低了地波雷达目标跟踪时航迹断裂的几率,提高了航迹质量^[23]。由此可见,在地波雷达目标跟踪系统中引入目标的先验知识,能够显著增强目标航迹的跟踪质量,成为地波雷达目标跟踪的一个新的发展方向^[24-25]。现有方法对目标先验知识的获取及利用还较为有限,而多手段同步探测可以提供更多的目标先验信息,有效地利用这些信息来指导高频地波雷达目标跟踪算法中运动模型与相关参数的优化选取,在提升地波雷达目标跟踪算法的性能方面表现出巨大的潜力。

在同步跟踪期间,地波雷达与同步观测手段可以获取特定目标的大量数据,这些数据中既有显式地表明目标运动特征的参量,也有隐含在数据内部的目标特征及运动规律,且隐含的与目标运动有关的特征未知,特征之间的关系不易被直接发现。尤其是地波雷达目标探测数据较为杂乱,从中提取规律性的特征较为困难。因此,需要发展有效的特征提取方法,深度挖掘提取隐藏在数据中的目标运动特征。在数据特征的有效表达方面,近年来在机器学习领域发展起来的深度学习(Deep Learning)方法表现出了良好的性能^[26-27],其动机在于建立模拟人脑进行分析学习的神经网络,它模仿人脑的机制来解释数据,能够学习到反映隐含在数据内部的关系,发现数据的分布式特征表示,学习得到的特征具有良好的推广性和表达能力,在分类、识别等领域取得了一些突破性的成果。其中,卷积神经网络(Convolutional neural networks, CNNs)与深度置信网络(Deep Belief Nets, DBNs)是深度学习网络的两个典型代表,前者采用有监督的学习方式,而后者则是一种无监督的机器学习模型^[28]。目标的运动规律在同步观测手段获取的目标数据中较易提取,可以作为目标运动的先验知识,而基于 CNNs 的深度学习方法为地波雷达目标航迹数据中运动特征及规律的提取提供了一种可行的手段。

基于上述分析,提出了一种基于深度学习的高频地波雷达特定目标跟踪新思路,其技术路线如图 2 所示。

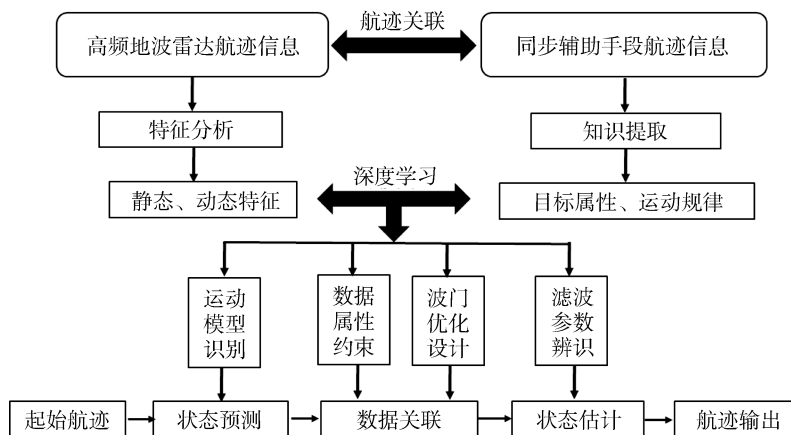


图 2 基于深度学习的高频地波雷达特定目标跟踪方法技术路线图

Fig. 2 Technology roadmap for HFSWR specific target tracking based on deep learning

首先，基于地波雷达获取的目标点迹数据，利用最近邻、JPDA 等数据关联方法以及 α - β 滤波、无迹卡尔曼滤波等滤波跟踪方法进行跟踪得到目标航迹，然后利用航迹关联方法(如加权法)对地波雷达与同步辅助手段(以 AIS 为例)获取的特定目标航迹信息进行关联，找到与之匹配的同步 AIS 航迹。在航迹关联匹配之后，从 AIS 航迹信息中提取目标属性(船只类型、长宽尺寸、吨位等)及运动规律(准确的目标位置、航速、航向、不同时间段内的运动模型等)作为目标的先验知识，分析地波雷达目标数据及其特征与先验知识之间的关联关系，用于指导地波雷达目标跟踪的各个环节。

其中，在状态预测环节，利用从 AIS 航迹中提取的目标运动模型作为先验知识，获取同步的地波雷达数据，将此段时间内的每一数据参量序列(如径向速度序列)作为特征构建训练数据集，输入卷积神经网络进行训练，将由 AIS 获得的运动模型作为输出层，中间设置多层隐藏层；通过有监督的深度学习，获取地波雷达数据中能够反映目标运动模型的特征表达，从而建立特定目标的地波雷达量测数据与目标运动模型之间的对应关系，用于指导状态预测时目标运动模型的选取。数据关联与状态估计环节主要涉及参数的优化选取，数据关联时，首先利用目标参数的属性特征对非目标点迹进行滤除，减少数据关联时的计算量；然后从 AIS 航迹中提取航向信息进行方向波门的设计；以 AIS 航迹作为标准，对地波雷达目标航迹中各个目标参数的变化特征进行统计分析，用以指导波门尺寸的设计。在状态估计时，将 AIS 航迹中的目标参数作为真实值，针对特定的跟踪滤波方法设计合理的目标函数，采用优化算

法求得滤波参数的最优取值。

围绕上述思路开展了初步的跟踪实验。图 1 中所示的地波雷达航迹及与之匹配的 AIS 航迹中共包含 72 个点迹(每个点迹的积累时间为 1 min)，取前 40 个点迹作为同步观测数据，以 AIS 提供的航迹信息作为基准，取两类点迹之间方位角误差的均值作为地波雷达观测目标的方位角校正参数，以航迹位置之间的最小均方根误差作为目标函数，对 α - β 跟踪算法中的滤波参数 α 与 β 进行优化选取。利用得到的方位角校正参数对所有地波雷达点迹的方位角进行校正，然后利用优选的滤波参数进行滤波跟踪，得到最终的航迹如图 3 所示。

由图 3 中的航迹对比结果可以看出，AIS 获取的目标航迹信息能够为地波雷达目标航迹跟踪提供先验知识，提取并利用这些知识来辅助地波雷达目标跟踪过程，得到的航迹更接近目标的真实运动轨迹，且更加平滑。因此，对地波雷达与同步观测手段获取的特定目标信息进行多角度、深层次的深度学习，充分提取可以指导地波雷达目标跟踪的先验信息，对两类航迹信息进行深入、全面的特征分析，并建立对应特征之间的相关关系，挑选出能够辅助地波雷达目标跟踪的参数及特征，以指导地波雷达目标跟踪过程中运动模型及跟踪参数的优化选取，成为提高地波雷达目标航迹跟踪质量的一种新思路。

3 结论

地波雷达海上运动目标跟踪方法的研究正处于快速发展阶段，研究的重点正慢慢从整体跟踪系统的搭建转移到提高航迹质量的算法研究及业务应用。先进的跟踪算法由于模型参数及滤波参数等的

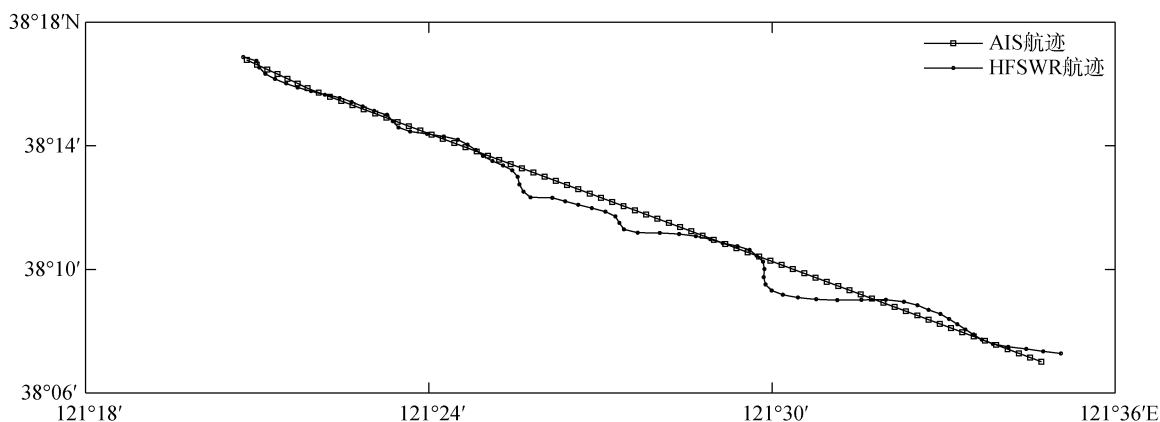


图3 采用 AIS 信息修正后的地波雷达航迹与相应的 AIS 航迹

Fig. 3 AHFSWR track corrected by AIS information; and corresponding AIS track

准确估计问题还未解决,大都处于理论研究阶段。其中,融合先验知识的目标跟踪方法表现出了良好的潜力。

将深度学习的方法拓展应用到地波雷达目标跟踪领域,从同步探测手段获取的特定目标航迹中深度挖掘能够辅助地波雷达目标跟踪的先验知识,进而发展有效的高频地波雷达特定目标跟踪新方法,提高后续对特定目标独立跟踪时的航迹质量,为地波雷达目标跟踪提供了一种新颖的思路,同时,也有利于促进其在实际海上目标综合监视系统中的应用。

参考文献:

[1] 王瑞富,孔祥超,纪永刚,等. 基于 GIS 的高频地波雷达回波信号的表达处理与显示[J]. 海洋科学, 2015, 39(7): 86-92.
Wang RuiFu, Kong Xiangchao, Ji Yonggang, et al. Expression and display of echo signal of HF surface wave radar based on GIS[J]. Marine Science, 2015, 39(7): 86-92.

[2] Sevgi L, Pnssforf A, Chan H C. An integrated maritime surveillance system based on high-frequency surface-wave radars, Part 1: theoretical background and numerical simulation[J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2001, 43(4): 28-43.

[3] Pnssforf A, Sevgi L, Chan H C. An integrated maritime surveillance system based on high-frequency surface-wave radars, Part 2: Operational status and system performance[J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2001, 43(5): 52-63.

[4] 夏共仪. 基于 TBD 方法的高频地波雷达弱目标检测与跟踪技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008.
Xia Gongyi. Research on detection and tracking of dim target based on TBD[D]. Harbin: Harbin institute of technology, 2008.

[5] 罗亚, 廖庆敏, 王德生. 高频地波雷达多目标跟踪系统[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2015, 13(1): 35-45.

Luo Ya, Liao Qingmin, Wang Desheng. Multiple targets tracking system of the High Frequency ground-wave radar[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2015, 13(1): 35-45.

[6] Khan R, Gamberg B, Power D, et al. Target detection and tracking with a high frequency ground wave radar[J]. IEEE Journal of Ocean Engineering, 1994, 19(4): 540-548.

[7] Roarty H J, Rivera L E, Handel E, et al. Performance evaluation of SeaSonde high-frequency radar for vessel detection[J]. Mar Technol Soc J, 2011, 45(3): 14-24.

[8] Ponsford A M, Wang J. A review of high frequency surface wave radar for detection and tracking of ships[J]. Turk J Elec Eng & Comp Sci, 2010, 18(3): 409-428.

[9] Dzvonkovskaya A, Gurgel K W, Rohling H, et al. HF radar WERA application for ship detection and tracking[J]. European Journal of Navigation, 2009, 7(3): 18-25.

[10] Chan H C. Iceberg detection and tracking using high frequency surface wave radar[R]. Ottawa: Defense Research Establishment Ottawa, 1997.

[11] Bar-Shalom Y, Daum F, Huang J. The probabilistic data association filter[J]. IEEE Control Syst Mag, 2009, 29(6): 82-100.

[12] Chen B, Tugnait J K. Tracking of multiple maneuvering targets in clutter using IMM/JPDA filtering and fixed-lag smoothing[J]. Automatica, 2001, 37(2): 239-249.

[13] 胡松, 柯亨玉, 文必洋, 等. 高频地波雷达下的多目标跟踪数据处理[J]. 武汉大学学报(理学版), 2003, 49(3): 391-395.
Hu Song, Ke Hengyu, Wen Biyang, et al. Multiple targets tracking data processing for HF ground wave radar[J]. J Wuhan Univ (Nat Sci Ed), 2003, 49(3): 391-395.

[14] Huang X J, Wen B Y, Ding F. Ship detection and tracking using multi-frequency HFSWR[J]. IEICE Electronics Express, 2010, 7(6): 410-415.

[15] Braca P, Grasso R, Vespe M, et al. Application of the JPDA-UKF to HFSW radars for maritime situational awareness[C]//IEEE. International Conference on Information Fusion. Singapore: IEEE, 2012: 2585-2592.

- [16] Maresca S, Braca P, Horstmann J. Data fusion performance of HFSWR systems for ship traffic monitoring[C]//IEEE. International Conference on Information Fusion. Istanbul: IEEE, 2013: 1273-1280.
- [17] Maresca S, Braca P, Horstmann J, et al. Maritime surveillance using multiple high-frequency surface-wave radars[J]. IEEE Trans on Geo and Remote Sensing, 2014, 52(8): 5056-5071.
- [18] Liu C, Shi X. Study of Data Fusion of AIS and Radar[C]//IEEE. International Conference of Soft Computing and Pattern Recognition. Malacca: IEEE, 2009: 674-677.
- [19] Vesecky J F, Laws K E, Paduan J D. A system trade model for the monitoring of coastal vessels using HF surface wave radar and ship automatic identification systems (AIS)[C]//IEEE. 2010 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Hawaii: IEEE, 2010: 3414-3417.
- [20] Dzvonkovskaya A, Rohling H. HF radar performance analysis based on AIS ship information[C]//IEEE. IEEE Radar Conference. Arlington: IEEE, 2010: 1239-1244.
- [21] Gurgel K W, Schlick T, Horstmann J, et al. Evaluation of an HF-radar ship detection and tracking algorithm by comparison to AIS and SAR data[C]//IEEE. International Waterside Security Conference. Carrara: IEEE, 2010: 1-6.
- [22] Capraro G T, Farina A, Griffiths H, et al. Knowledge-based radar signal and data processing: a tutorial review[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2006, 23(1): 18-29.
- [23] Vivone G, Braca P, Horstmann J. Knowledge-based multi-target ship tracking for HF surface wave radar systems[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2015, 53(7): 3931-3949.
- [24] Pallotta G, Vespe M, Bryan K. Vessel pattern knowledge discovery from AIS data: A framework for anomaly detection and route prediction [J]. Entropy, 2013, 15(6): 2218-2245.
- [25] Pallotta G, Horn S, Braca P, et al. Context-enhanced vessel prediction based on Ornstein-Uhlenbeck processes using historical AIS traffic patterns: Real-world experimental results[C]//IEEE. International Conference on Information Fusion. Salamanca: IEEE, 2014: 1-7.
- [26] Hinton G, Osindero S, Teh Y. A fast learning algorithm for deep belief nets[J]. Neural Computation, 2006, 18(7): 1527-1554.
- [27] Farabet C, Couprie C, Najman L, et al. Learning Hierarchical Features for Scene Labeling[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2013, 35(8): 1915-1929.
- [28] 孙志军, 薛磊, 许阳明, 等. 深度学习研究综述[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(8): 2806-2810.
- Sun Zhijun, Xue Lei, Xu Yangming, et al. Overview of deep learning[J]. Application Research of Computers, 2012, 29(8): 2806-2810.

New ideas for HFSWR maritime target tracking

SUN Wei-feng¹, DAI Yong-shou¹, JI Yong-gang², ZHOU Peng¹, WAN Yong¹

(1. College of Information and Control Engineering, China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China; 2. Laboratory of Marine Physics and Remote Sensing, First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China)

Received: Apr., 12, 2016

Key words: high-frequency surface wave radar; target tracking; knowledge aided; automatic identification system

Abstract: High-frequency Surface Wave Radar (HFSWR) provides an important means for monitoring maritime moving targets. In order to improve the performance of HFSWR for independently tracking specific targets, the research status of HFSWR maritime target tracking technology is reviewed, and the main problems existing in current tracking methods are analyzed and summarized. According to the practical application requirements for maritime target tracking, a knowledge-based specific target tracking method is proposed, which fully exploit the target information obtained by other synchronous target detection means by virtue of the powerful deep learning methods and can improve the track quality for the subsequent independent tracking of HFSWR. Preliminary tracking results verify the effectiveness of the proposed method. The proposed method is of great significance and reference value for both theoretical study of the target tracking methods and operational applications of HFSWR target tracking systems.

(本文编辑: 李晓燕)