

基于机器学习的雷达目标跟踪算法研究

李增有*
LI Zeng-you

摘要

在利用雷达开展运动目标跟踪过程中，通常会选取传统卡尔曼滤波、维纳滤波、 α - β 滤波等算法，构建目标物体滤波的状态模型，对线性化、高斯化运动目标的状态滤波进行跟踪分析。但对于非线性、非高斯过程目标的跟踪，仍旧采取传统跟踪检测算法，容易造成目标物体运动状态模型，发生形变、遮挡或消失等问题。基于此，本文提出一种改进的机器学习机制，对目标物体运动模型、状态值参数的跟踪中，不断检测与更新跟踪滤波信号，并优化跟踪器，进入实现在长时间内目标稳定跟踪的效果。

关键词

机器学习；雷达；目标跟踪算法；研究

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2020.08.073

0 前言

对于空间飞行运动目标的跟踪，主要由雷达发射机发射、接收机接收目标信号，之后使用多种经典跟踪滤波算法，进行目标信号的处理与分析，但得到的滤波残差实际值，与理论值存在较大差距。这一情况下，采取 TLD 目标跟踪算法，发挥跟踪器、检测器的优势，对雷达目标进行跟踪、检测的在线学习，完成每一时段运动目标信号的全局搜索与定位，并依据跟踪结果，更新与纠正目标对象的状态值参数，从而得到较为客观准确的跟踪结果。

1 低空空域雷达目标的跟踪监视算法概述

相较于可见光传感器的目标跟踪系统而言，利用 TLD 跟踪算法、红外成像雷达，采集低空空域中目标飞行器的二维图像信息，可以得到具有连续运动轨迹的视频帧，然后与雷达的标准数据信息的时空配准，不断检出与更正错误样本，更新跟踪器、检测器量测的反馈信息，以此保证雷达跟踪器图像检测信息有更高的精度。同时低空空域场景中的目标跟踪定位，也会与红外激光检测的数据进行融合，以脉冲雷达跟踪、TLD 目标运算为主，设置相应的跟踪阈值，引导雷达传感器采集较为精确的目标对象视频帧，展开图像帧的特征提取与筛选，随后将可见光传感器、激光雷达跟踪器的状态值数据信息，上传至学习分类器内，进行正样本、负样本的机器训练学习，由此降低 PN 学习漏检、误检的错误率，提高低空空域雷达目标跟踪算法的精确度。

2 基于机器学习的多模型优化雷达目标跟踪算法

2.1 机器学习目标跟踪检测 (TLD) 算法的主要框架

本文选取低空空域的雷达目标跟踪 (TLD) 算法，主要包括跟踪模块、检测模块、P-N 学习算法等组成结构，将整个目标跟踪任务分为跟踪、检测和学习，主要结构如图 1 所示。在目标对象大空间、长距离跟踪过程中，通常针对不同目标距离，运用可见光传感器、红外激光雷达跟踪器相结合的方式，展开多种跟踪量测的融合与协同，降低飞行器物体的跟踪复杂度、提高跟踪精度。

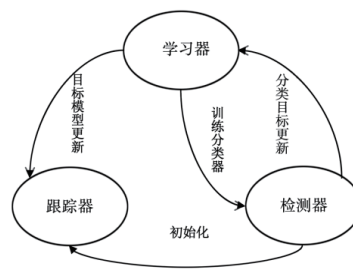


图 1 学习结构图

其中可见光传感器，适宜于近距离、机动性较低目标的跟踪检测，能够从二维空间图像中，快速检测图像的灰度、边角点，提取出相应的目标状态信息、姿态角度，并使用卡尔曼滤波算法，作出相对应坐标的量测与匹配，将目标跟踪状态信息反馈给雷达，在飞行目标检测中的准确性、稳定性较强。而对于中远距离目标物体的识别，可见光传感器在图像识别精度、灰度预处理方面的表现较差。所以本文引入激光雷达传感器模块，以及 TLD 目标跟踪、检测、学习算法，利用图像运动时前后帧序列的时域变化，进行远距离目标的识别跟踪、检测，由检测器对跟踪器传输的滤波信号，作出不断修正与更新，从而完成图像相关性的跟踪检测活动。

* 91550 部队 辽宁大连 116023

2.2 多模型目标跟踪器、检测器

雷达目标跟踪检测 (TLD) 算法, 是在目标跟踪器、检测器等量测设备基础上, 建立起多模型运动模式跟踪算法, 主要用于目标对象定位位置、姿态等参数起伏很大的计算。对于低空空域中的雷达目标而言, 在利用目标跟踪器进行物体扫描, 得到的目标属性参数值, 可以作为模型的跟踪状态向量 X 。假定目标对象跟踪的先验概率为 $\Pr\{M_j\} = \mu_j(0)$ 。

其中 M_j 表示 j 目标属性为正确事件, $j=1,2,\dots,r$ 。那么运用目标跟踪器, 得到正确事件 j 目标属性量测的似然函数公式为: $\lambda_j(k) = \Pr[Z^k | M_j] = \prod_{i=1}^k p[v_i(i)]$

Z_k 为在 $0 \sim k$ 时间段目标属性的量测, v_k 为 k 时间序列中所有历史数据的线性最小方差, 则 k 时刻 j 目标属性为正确事件的后验概率为:

$$\mu_j(k) \triangleq \Pr[M_j | Z^k] = \frac{\Pr[Z^k | M_j] \Pr[M_j]}{\Pr[Z^k]} = \frac{\lambda_j(k) \mu_j(0)}{\sum_{i=1}^r \lambda_i(k) \mu_i(0)}$$

在以上先验概率、后验概率基础上, 对目标状态向量作出加权平均, 得到组合状态的协方差估计值。其中目标跟踪器搜集到的多个滤波信号, 都会依据多模型对应概率, 进行机器学习、结果反馈, 同时及时纠正、更新跟踪器的错误数值。而目标检测器则针对跟踪器, 收集与传输的正样本、负样本滤波信号, 利用串行弱分类器, 展开多个层级的正样本判决, 并输出最终的分类器判决结果, 以提升多模型目标跟踪算法的精确性。

2.3 P-N 学习算法

由于雷达传感器主要针对一定面积区域内的像素, 进行目标跟踪图像的采集, 所以其容易受到其他信号噪声、干扰波束的影响。因而引入 PN 学习算法, 采取带标签、不带标签的训练样本, 对目标对象的结构特征作出机器学习, 在学习过程中产生正训练样本、负训练样本的表达函数, 来逐步提升目标跟踪系统的分类、运算性能。借助于 P 约束、N 约束鉴别分类器, 对测试样本的标签作出赋值, 其中 P 约束用于检测被误分为负的正样本, N 约束则用于改正被误分为正的负样本, 评估测试样本上的分类结果, 并与目标跟踪的约束条件进行比较后, 完成正负样本数据值的在线更新。

本文围绕 k 时刻雷达目标跟踪的状态信息, 运用 PN 约束展开图像灰度、目标距离值的判断。首先设定目标对象定位距离的跟踪阈值 α , 在利用 PN 约束算法, 进行雷达目标跟踪的距离量测过程中, 当目标距离参量大于跟踪阈值时, 输入机器学习的正训练样本, 同时以该目标位置为中心, 使用激光雷达传感器、可见光传感器, 在半径为 r 的区域范围内进行目标位置信息检测, 将检测到的数据标记、更新为正样本集。

之后, 当 k 时刻检测到的目标距离参量, 小于跟踪阈值时, 提取跟踪目标的图像灰度值, 作为跟踪对象的目标属性, 进行对应相似度的阈值匹配。设定跟踪目标的图像特征值 (haar-like)、相似度阈值, 根据 P 约束将大于跟踪阈值的量测结果, 标记为负样本输入到检测器的更新样本集。最后, 输入正样本量测结果, 经过多次重复迭代后, 将 k 时刻满足约束条件的目标状态信息, 作为机器监督学习的样本值。

3 基于机器学习的雷达目标跟踪仿真实验研究

3.1 仿真实验条件

为提高目标对象位置跟踪的检测精度, 选取激光雷达跟踪器、可见光协同监视系统等传感器单元, 设定飞行器目标在三维空间的初始位置 (x,y,z) , 其在低空空域中的飞行路线, 可能为由远及近、由近及远, 但始终处于不同传感器监视的区域范围内。首先雷达目标跟踪对象, 先以匀速速率在监视区域内飞行, 再以蛇形路线进行多个方向的回转运动, 或者以更高的速度加速俯冲至近地区域, 这样能够模拟出更加真实的运动轨迹。

这一雷达目标跟踪的仿真实验过程中, 设定不同飞行模式下雷达的量测噪声, 分别为 $\sigma_r^a = 100m \cdot rad$ 、 $\sigma_\theta^a = 20m \cdot rad$ 、 $\sigma_\phi^a = 20m \cdot rad$; 可见光传感器的量测噪声, 分别为 $\sigma_r^m = 10m \cdot rad$ 、 $\sigma_\theta^m = 2m \cdot rad$ 、 $\sigma_\phi^m = 2m \cdot rad$ 。为保证雷达目标的跟踪监视效果, 设定始终采取雷达跟踪器、可见光传感器协同检测的方式, 进行时长为 600s 的仿真采样、单次仿真采样周期为 1s。而且选取 P-N 学习的目标跟踪检测 (TLD) 算法, 与自适应卡尔曼滤波算法共同, 进行目标对象跟踪检测的仿真实验, 并展开最终实验结果的比较分析。其中两种算法仿真实验的结果, 主要包含目标三维空间的位置误差 (x,y,z) , 以及方位角、俯仰角等的量测误差。

3.2 仿真实验结果分析

自适应卡尔曼滤波算法、P-N 学习目标跟踪 (TLD) 算法, 检测到的飞行目标位置误差平均精度值, 可以发现改进后自适应雷达跟踪滤波算法, 在低空空域目标监视过程中, 有着更高的算法精确度。如雷达跟踪目标中 x 轴、 y 轴、 z 轴的位置检测精度, P-N 学习目标跟踪 (TLD) 算法相比于卡尔曼滤波算法, 分别有着约 145m、70m、350m 的提升, 其中 z 轴位置误差的精度提升一倍以上。而且随着仿真实验结次数的增加, 利用 P-N 学习目标跟踪 (TLD) 算法, 进行目标对象位置、方位角与俯仰角的量测, 其所测得跟踪目标距离、角度等误差的分散趋势不明显, 收敛性较强, 因而该雷达目标跟踪算法的稳定性、鲁棒性较好。

无人机监测与管控技术研究

陈叶民* 万良金
CHEN Ye-min WAN Liang-jin

摘要

随着无人机技术在军事与民用领域的应用越来越广泛，无人机带来的安全隐患问题也越来越突出。本文根据当前无人机应用带来的安全隐患，提出了一种可靠实用的无人机监测与管控方案，并通过实际项目应用验证了方案的可行性。

关键词

无人机；安全隐患；监测；管控

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2020.08.074

0 引言

无人机 (unmanned aerial vehicle, 简称 UAV) 是一种由无线遥控设备或由程序控制操纵的无人驾驶飞行器。它不需要飞行员在机舱内进行驾驶，飞行过程由电子设备控制自动进行。无人机系统包括地面系统、飞机系统、任务载荷和无人机使用保障人员。

无人机在警用、城市管理、农业、地质、气象、电力、抢险救灾、视频拍摄、植保及快递等行业的应用也越来越广泛^[1]。

同时，无人机在军事领域的应用非常广泛，根据任务类型可划分为无人侦察机、电子战无人机、靶机、反辐射无人机、对地攻击无人机、通信中继无人机、火炮校射无人机、特种无人机、诱饵无人机等^[2]。

从这些案例来看，国内的无人机应用领域也正在逐步增加，更多的高空及高危作业将被更多的无人机所代替，而无人机安全问题给我们的生产和生活带来直接的影响。

* 同方电子科技有限公司 江西九江 332007

4 结语

随着我国航空航天、无人机机身的快速发展，低空空域中雷达目标的跟踪监测，可能会由于探测盲区下杂波的干扰，而使得雷达接收的目标信号，包括飞行器路径、定位位置等出现偏差或错误。因而通过在 P-N 学习目标跟踪 (TLD) 算法基础上，依托跟踪、机器学习、状态检测等算法流程，引入多个跟踪传感器、PN 学习模块，对低空空域中跟踪目标的位置、距离，作出准确的识别与更新学习，能够实现多种跟踪器模型的目标属性跟踪、正（负）样本训练与更新，保证复杂环境目标物体的跟踪定位，提高雷达跟踪算法准确度与鲁棒性。

1 无人机应用的安全隐患

这里所说的安全隐患不是指一般意义上的由无人机失控带来的安全问题，而是指利用无人机平台实施影响国家安全的一系列行为活动。

近年来，随着无人机技术在多个领域的拓展应用，犯罪分子也有了更多危害国家安全的手段，具体表现如下：

(1) 利用无人机实施对政府、军事基地等国家重要场所的航拍活动；

(2) 利用无人机对政府、军事基地等国家重要场所进行爆炸物等危险物品的投放；

(3) 利用航模、无人机等低、慢、小移动平台在国家重大活动区域内或人流密集场所进行反动传单或者其它不良物品的投放；

(4) 利用无人机实施对政府、军事基地等国家重要场所重点无线电通信业务的侦察；

(5) 利用无人机实施对政府、军事基地等国家重要场所重点无线电通信业务的干扰；

(6) 利用无人机作为犯罪活动实施过程中的通信中继。

参考文献：

- [1] 叶锴, 祝怡翔. 一种基于机器学习的雷达目标跟踪算法 [J]. 信息技术, 2019 (10):158-160+164.
- [2] 骆荣剑, 唐鉴波, 罗凯. 一种具有关联波门自适应的联合概率数据关联算法 [J]. 电子设计工程, 2019(3):119-122+131.
- [3] 耿利祥, 尹晓燕, 李伟. 基于在线学习的雷达目标跟踪技术研究 [J]. 雷达与对抗, 2018(3):28-30+68.
- [4] 李珂, 王瑞, 宋建强. 基于卡尔曼滤波的雷达单目标跟踪算法研究 [J]. 空间电子技术, 2019(1):16-20.

(收稿日期：2020-07-06 修回日期：2020-07-30)