

雷达回波序列中弱小飞机目标检测跟踪数据集

宋志勇¹, 回丙伟¹, 范红旗^{1*}, 周剑雄¹, 朱永锋¹, 达凯¹, 张晓峰²,

苏宏艳², 金威², 张永杰², 杨彩霞², 蔺震², 樊润东²

1. 国防科技大学电子科学学院 ATR 重点实验室, 长沙 410073

2. 中国航天科工集团第二研究院第 25 研究所, 北京 100010

摘要: 杂波背景下的雷达弱小目标检测跟踪是低空安全防控、区域态势监视、远程精确打击、空天攻防对抗等军民应用领域的热点和难点问题。本文针对杂波下雷达弱小目标检测跟踪技术研究的数据需求以及目前公开的雷达杂波下目标环境数据缺乏、场景设计针对性差、仿真数据真实性不足、实测数据格式不规范、数据描述与标注信息不全等问题, 通过雷达外场实地数据录取与数据加工处理, 提供了一套以地物杂波下固定翼无人飞机为探测对象的雷达弱小目标检测跟踪标准数据集。数据集涵盖强杂波、低信噪比、高动态、强机动、目标数目变化等典型场景, 共计 15 段数据, 每段数据包含一定时长的雷达脉冲序列, 以及与之对应的距离波门文件和标注真值文件, 数据格式规范、信息标注准确, 可为雷达弱小目标探测识别算法设计与验证、地面杂波特性研究等提供基础数据。

关键词: 弱小目标; 目标检测; 目标跟踪; 雷达回波序列; 数据集

数据库(集)基本信息简介

数据库(集)名称	雷达回波序列中弱小飞机目标检测跟踪数据集
数据作者	宋志勇, 回丙伟, 范红旗, 周剑雄, 朱永锋, 达凯, 张晓峰, 苏宏艳, 金威, 张永杰, 杨彩霞, 蔺震, 樊润东
数据通信作者	范红旗 (fanhongqi@nudt.edu.cn)
数据时间范围	2017-2019年
地理区域	中国
杂波背景	地面
雷达载频	35 GHz
脉冲重复频率	32 KHz
距离采样单元间隔	1.875 m
数据量	8.76 GB
数据格式	*.mat, *.txt
数据服务系统网址	http://www.sciencedb.cn/dataSet/handle/908
基金项目	国家自然科学基金(61401475)
数据库(集)组成	本数据集由15个数据段组成, 每个数据段包含3部分: (1) dataX.mat 是第X段包含有目标的雷达回波序列; (2) dataX_gate.mat 是第X段雷达回波序列对应的距离波门信息序列; (3) dataX_value.txt 是对应于第X段数据对应的标记文件, 标记信息包括对应数据段中从零时刻开始每间隔50 ms所处时刻的目标数、目标编号、目标速度、目标距离。

文献 DOI:

10.11922/csdata.2019.0075.zh

数据 DOI:

10.11922/sciencedb.908

文献分类: 信息科学

收稿日期: 2019-10-29

开放同评: 2019-11-25

录用日期: 2020-05-14

发表日期: 2020-08-18

* 论文通信作者

范红旗: fanhongqi@nudt.edu.cn

引言

雷达具有全天时、全天候、作用距离远、参数估计精度高、响应速度快等特点，能够有效探测感知波束内的目标以及场景，通过相应的信号与信息处理获取目标的位置、速度、运动态势等信息，广泛应用于侦察监视、态势感知、探测制导、目标识别等军民领域^{[1][2]}。随着隐身技术、航空技术以及电子信息技术的进步，雷达探测的对象、场景、环境发生了巨大变化，对雷达系统的目标检测、跟踪、识别性能提出了新的要求^[3]。主要体现在：（1）隐身、弱小目标检测跟踪需求。隐身技术和无人技术的飞速发展，使得目标的 RCS（雷达散射截面）减小，隐身飞机、隐身舰船、无人机、导弹等弱小目标给雷达目标探测带来挑战，要求雷达系统能够在更远距离上对低信噪比目标实现稳定的探测跟踪^{[4][5]}；（2）高速大机动目标检测跟踪需求。推进技术和控制技术的进步使飞行器的速度越来越快，机动能力越来越强，各类超音速、高超音速目标给雷达系统的目标探测带来挑战，反应时间的缩短提高了对雷达远距探测和适应目标高速机动的要求^{[6][7]}；（3）低空慢速目标检测跟踪需求。通用航空事业的快速发展催生了无人飞行器产业的崛起，以无人机为代表的“低慢小目标”给低空区域安全带来挑战，提升了雷达系统对低空慢速目标的探测跟踪要求^{[8][9]}；（4）多目标、群目标检测跟踪需求。随着信息技术的发展，协同化、集群化已经成为一种新型的目标形态，雷达波束内的多目标、群目标给目标探测、跟踪和识别带来严峻挑战，集群目标的态势感知需求迫切^{[10][11]}；（5）复杂环境下的目标检测跟踪需求。随着雷达应用场景的拓展，雷达探测环境越趋复杂多变，杂波、干扰、多径、遮挡等复杂环境给雷达探测带来挑战，低信杂比、低信干比条件下的目标检测跟踪需求成为常态^{[12][13]}；（6）人工智能发展对雷达数据的需求。随着人工智能技术的发展，基于深度学习的目标检测、识别、分类研究成为热点，深度网络对雷达数据的需求量非常大，特别是具体应用场景下的标准雷达回波数据集^{[14][16]}。国内外学者和研究机构针对雷达目标检测跟踪的新需求开展了大量的研究工作，在探测跟踪方面取得了一系列成果，相关研究对于雷达数据的需求十分迫切^{[17][20]}。

然而，与上述紧迫需求不相匹配的是，当前科研领域的雷达数据比较分散，仅有的少数几个公开数据集也都是关于自然环境的雷达回波数据^[21]。关于雷达目标环境回波数据的描述、格式、标注等没有统一的标准规范，也没有形成可以服务于雷达弱小目标检测跟踪应用的公开的标准回波数据集，因此导致该领域的科研学术研究缺乏行业标准化数据支撑，相关的算法性能测试、评估等缺乏一致的数据标准。

鉴于上述迫切的应用需求和匮乏的数据现状，本数据集通过典型场景设计、外场试验录取、数据处理标注、数据使用方法及评价准则设计等步骤和方法制备了面向雷达回波序列中弱小飞机目标检测跟踪数据集。本数据集尚属首次成系统地公开发布以杂波下雷达弱小目标检测跟踪为研究需求的雷达回波序列数据集，填补了雷达目标探测识别领域中标准公开数据集的空白。

此外，本数据集中的部分数据已经提供给由国防科技大学和中国航天科工二院联合主办的第二届“空天杯”创新创业大赛——探测识别算法挑战赛（雷达赛题方向）使用。

1 数据采集和处理方法

1.1 数据采集方法

数据采集用到的主要设施和设备为高塔和转台，试验地点位于陕西省宝鸡市眉县（图 1）。数据

采集试验采用高塔架设转台并搭载带伺服雷达传感器的方式开展。高塔距离地面约 90 米，窄波束雷达安装于转台上，转台固定于平台边缘并下俯一定角度。视野无遮挡，地貌为玉米、小麦、猕猴桃园等多类农作物。高塔、转台以及伺服系统的使用为获取不同场景的目标雷达回波序列提供了保障。



图 1 雷达回波数据录取场景

数据采集使用的传感器为 Ka 频段通用录取设备，该设备的基本性能参数如表 1 所示。

表 1 Ka 频段雷达的基本性能参数

指标项	性能参数
载频	35 GHz
波形体制	线性调频脉冲
脉冲重复频率	32 KHz
距离采样单元间隔	1.875 m

数据采集的对象为空中固定翼无人机。转台以及目标无人机上装配有 GPS 通信站，引导计算机接收并解算二者的 GPS 信息，实时发送角度和距离等解算结果用于引导雷达伺服转动，对无人机目标进行跟踪以维持目标位于雷达的视场中，同时数据录取设备进行回波的同步采集与保存。

数据采集的主要环境背景及场景设计如表 2 所示。

表 2 数据场景情况

数据段名	场景说明
data1	地物背景、高信噪比、双目标、目标由远及近、时长 2 s
data2	地物背景、中等信噪比、双目标、目标由远及近、时长 2 s
data3	地物背景、低信噪比、双目标、目标由远及近、时长 2 s
data4	地物背景、高信噪比、双目标、目标由近及远、时长 2 s
data5	地物背景、中等信噪比、双目标、目标由近及远、时长 2 s
data6	地物背景、低信噪比、双目标、目标由近及远、时长 2 s
data7	地物背景、高信噪比、双目标、目标接近和远离、时长 4 s

数据段名	场景说明
data8	地物背景、中等信噪比、双目标、目标接近和远离、时长 4 s
data9	地物背景、低信噪比、双目标、目标由近及远、时长 6 s
data10	地物背景、高信噪比、目标数目变化、目标由近及远、时长 6 s
data11	地物背景、中等信噪比、目标数目变化、目标接近和远离、时长 6 s
data12	地物背景、低信噪比、双目标、目标接近和远离、时长 4 s
data13	地海背景、高信噪比、目标数目变化、目标由远及近、时长 6 s
data14	地海背景、中等信噪比、目标数目变化、目标由远及近、时长 6 s
data15	地海背景、低信噪比、双目标、目标接近和远离、时长 6 s

注：其中双目标指波束内包含一个大目标一个小目标，大目标信噪比越 20 dB，且不变化。信噪比参数指的是小目标的信噪比，低信噪比条件为小目标信噪比 3 dB 左右，中等信噪比条件为小目标信噪比 7 dB 左右，高信噪比条件为小目标信噪比 15 dB 左右。

1.2 数据处理与标注

数据处理与标注是将采集到的原始雷达回波数据进行格式转换，剔除无效及污染数据，按一定的原则，对数据进行加工处理，并为感兴趣的真实目标进行标注，提供真值的过程。

1.2.1 数据预处理

雷达工作模式为脉冲-多普勒模式，每个雷达数据段的原始数据为连续时间采样后的离散数字信号，在数据预处理结果将离散数字信号按照脉冲时刻以及重复周期进行数字下变频处理、抽取滤波处理以及脉冲压缩处理，形成脉冲压缩后的时域脉冲序列^{[22][23]}。由于原始数据中存在由于数据录取设备原因导致的丢帧问题，故在预处理阶段需要剔除丢帧数据，同步修正波门数据，以确保数据的连续性和一致性^[24]。

1.2.2 数据标注

雷达数据标注的本质就是通过对数据进行处理，获得确定时刻数据中感兴趣目标的真值，在距离-多普勒模式下真值主要指当前时刻下目标的数目、目标的序号、目标的速度以及距离。考虑到录取的雷达回波数据中杂波强度大、目标动态范围大、信噪比较低等特点，通过对数据进行确定时长的相参积累^[25]、CFAR（Constant False-Alarm Rate，恒虚警检测技术）检测^[26]、航迹跟踪^[27]，以及与录取记录的 GPS 数据进行比对，采用自动标注与人工标注相结合的方式获得雷达回波序列间隔 50 ms 时刻波束内目标的数据以及对应目标的距离和速度值，以此作为真值。

2 数据样本描述

本数据集共包含有 15 个数据段，数据段的命名从 data1 开始依次递增至 data15。每个数据段都主要包括雷达回波序列、雷达波门数据以及标注真值数据三类，下面分别对这三类数据的典型样本进行描述和分析。

2.1 雷达回波数据样本

雷达回波数据集中每段数据为一定时长内所有脉冲进行脉冲压缩后形成的连续时间脉冲序列，

数据形式为二维数组，后缀名为 `mat`，对于某一段数据，文件名为 `dataX.mat`。每个脉冲的采样点数固定为 319 个，对于慢时间维，脉冲重复频率为 32 kHz，脉冲数目根据选取时长的不同而不同，因此对应的二维数组大小不一样。每段数据的采样时刻皆从 0 时刻开始。单个雷达回波数据样本示例如图 2 所示，行序号代表慢时间脉冲数，列序号代表快时间采样点数。

319x64000 complex double																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	-68.0070	-46.2652	-56.3513	6.0102	-27.8469	-45.4820	6.5728e+	8.7077	6.4142e+	18.4819	-41.8572	-8.5582e	-4.9942e	-1.9032e	-21.1653	-42.1401	-1.2757e	-8.3764e	14.0488
2	-58.0810	-57.2495	-58.1615	16.3058	-29.9544	-29.7834	7.8775e+	-5.4818	7.7557e+	29.7749	-49.8939	-1.0101e	-8.0555e	-2.2023e	-52.7170	-43.3538	-1.3716e	-1.0546e	-20.7502
3	-40.1130	-4.7889e	-41.3850	40.4316	-22.3724	-12.1033	1.2622e+	-17.4327	9.3320e+	53.1389	-52.0657	-1.0370e	-1.0825e	-2.8829e	-61.0970	40.4749	-1.3842e	-9.8438e	27.4608
4	-15.5747	-1.7633e	-8.6327e	73.3775	-4.1273	5.4903	2.2625e+	-24.7595	1.0925e+	86.4822	-48.5064	-90.2991	-1.2849e	-33.4643	-43.0786	-29.1549	-1.2759e	-6.2188e	32.1970
5	13.4692	2.8643e	3.2551e	-1.0707e	22.5958	21.9507	3.9734e+	-26.0171	1.2337e+	1.2257e+	-41.1923	-61.7669	-1.3933e	-31.9838	-3.1031	-7.5607e	-1.0520e	-4.8862e	33.2937
6	45.6415	-8.3005e	73.3384	-1.3361e	53.7893	37.6925	65.7674	20.3801	1.3511e+	1.5166e+	-31.9863	22.0225	-1.3997e	22.9876	40.5377	-2.3591e	-74.6604	6.0277e	31.7894
7	81.1193	-1.3721e	-1.0727e	1.4826e	85.2750	54.3596	1.0178e+	-7.5339	-1.4584e	1.6535e+	-21.1946	23.9665	-1.2932e	7.0408	-1.0460e	6.1609e+	-39.8272	1.2039e+	32.4347
8	1.2078e	1.8445e	-1.3203e	1.5073e	1.1356e	73.6061	1.4662e+	11.7823	1.5804e+	1.5982e+	-7.7348	-71.3389	-1.0596e	14.0330	-1.5373e	1.0234e+	-3.4218	1.6698e+	42.0729
9	1.6398e	2.1971e	-1.4857e	1.4411e	1.3557e	9.5306e+	1.9545e+	34.7906	1.7323e+	1.3684e+	9.1138	-4.11511e	-69.9505	37.3469	1.9123e	1.4034e+	-32.7229	-1.9722e+	65.7415
10	2.0636e	2.3921e	-1.5859e	1.3230e	1.4796e	1.1627e+	-2.3953e+	56.0998	1.8975e+	1.0243e+	-27.5627	-1.4918e	-25.1065	5.8743e	-2.1304e	1.6909e+	-66.1552	-2.1215e+	1.0247e+
11	2.3933e	2.4023e	-1.6203e	1.1760e	1.4705e	1.3058e	2.6805e+	68.5041	2.0202e+	6.3978e+	-42.4026	1.6598e	19.8186	7.2907e	-2.1564e	1.8179e	-92.5595	-2.1364e+	1.4335e+
12	2.5246e	2.2177e	-1.5649e	1.0004e	1.3022e	1.3203e	2.7191e+	6.5484e+	2.0201e+	2.7564e+	46.3729	1.5798e	52.6299	7.4500e	1.9633e	1.7321e+	1.0621e	2.0224e+	1.7368e+
13	2.3800e	1.8599e	1.3885e	7.8705e	9.8201e	1.1761e	2.4789e	4.4624e	1.8291e	-3.3254e	33.5157	1.2090e	61.7457	6.0328e	1.5525e	1.4209e	1.0238e	1.7735e+	1.8737e+
14	1.9561e	1.3925e	1.0840e	5.4246e	5.6984e	9.0540e	2.0134e	1.0235e	1.4298e	-2.7396e	2.9006	5.7383e	4.1183e	3.1661e	9.7951e	9.2957e	80.5109	-1.3943e	1.5077e+
15	1.3448e	9.1553e	69.1855	3.0660e	1.7621e	6.0581e	1.4534e	-2.6587e	87.8584	-4.4235e	-3.9403e	-2.1361e	-6.0152e	-4.7206e	3.6534e	3.6085e	46.0627	9.2539e	9.3876e+
16	2.4113e	3.4416e	1.5443	1.3597e	-6.4754	4.3806e	6.7613e	-51.4251	-18.2699	-5.4387e	-1.0109e	-1.5136e	-1.2768e	-5.6065e	-3.2685e	48.6145	-17.3457	8.5842e+	-3.7966e+
17	5.1094	3.4724e	-8.4459	2.9800e	20.5632	72.9970	6.3658e+	-22.6953	-45.2013	-1.6096e	-1.6992e	-51.8921	-15.4458	-58.5107	-26.7981	-7.5315e	-72.3225	4.0132e	7.4
18	14.9222	4.8851e	0.8885	8.59441e	65.8412	1.2315e+	7.7743e+	28.4129	-49.3306	-3.8916e	-98.3252	-1.4967e	-1.8640e	-25.3513	-36.6666	47.6863	-18.5363	1.1134e+	-71.0925
19	42.1026	6.5185e	2.2096e	91.9608	1.1274e	1.8036e	9.4440e	86.0842	-37.7458	-3.2411e	-65.1311	-1.0100e	-1.7867e	15.2314	1.0892e	-26.9705	-0.0722	31.0788	-4.0132e
20	67.8087	7.1094e	4.1801e	1.1389e	1.4239e	2.2780e	5.9513e	1.3104e	-23.3436	-3.6109e	-30.6488	-41.7308	-1.5632e	56.0075	1.7929e	-10.8142	16.7862	72.2926	3.3552e+
21	73.8800	5.8164e	45.8802	1.1441e	1.4106e	2.5258e	6.9358e	1.4820e	-18.8235	-5.5153e	-9.0533e	8.8744	-1.3204e	82.7619	2.2649e	-11.2576	-21.5102	1.1190e	3.8411e+
22	50.6056	2.5721e	25.1372	9.0036e	1.0574e	2.5081e	1.2326e+	1.3271e	30.7481	-8.9682e	-8.6548e	37.5797	-1.1581e	86.2784	2.3803e	-32.8880	9.7480	1.1390e+	6.2
23	0.6531	-1.8980e	-1.0583	46.2636	45.3590	2.2846e	-66.3378	91.6124	-56.4674	-1.3372e	-2.8649e	42.3843	-1.1114e	65.6189	2.1465e	-71.1286	-14.8604	1.4847e	3.1050e+
24	-62.5193	-6.3922e	-84.7094	-4.9439	-22.7704	1.9774e	-1.5016e	40.4412	-85.3325	-1.7667e	5.9932e	30.1743	-1.1495e	28.0086	1.6932e	-1.1465e	-43.1781	1.4121e+	-8.7188e
25	-2.0822e	-97.3401	-1.5253e	-50.4256	-79.7932	1.7089e	-2.2145e	-3.6202	-1.0359e	-2.0699e	8.9499e	13.7561	-1.2074e	-14.4188	1.2133e	-1.5076e	-63.1129	1.2281e	-5.5435e
26	-1.5921e	-1.1227e	-2.1099e	-81.3692	-1.1224e	1.5456e	-2.6765e	-28.7901	-1.0064e	-2.1647e	-1.0634e	4.5428	-1.2329e	-49.4052	88.3329	-1.7111e	-68.9873	1.0001e+	-9.4309e
27	-1.7142e	-1.0669e	-2.5077e	-96.4633	-1.1622e	1.4740e	-2.8486e	-32.7823	-73.9014	-2.0323e	-1.0616e	7.8128	-1.2224e	-68.7637	79.6881	-1.7504e	-59.9495	77.8214	-1.1685e
28	-1.6120e	-92.5186	-2.6881e	-1.0129e	-97.3401	1.4191e	-2.7770e	-22.3550	-30.1810	-1.7244e	-92.8617	21.4183	-1.2271e	-70.3622	93.9744	-1.6911e	-41.7049	58.3077	-1.2355e
29	-1.3914e	-72.2170	-2.6764e	-1.0445e	-66.9575	1.2937e	-2.5588e	-8.9457	-16.8268	-1.3302e	-76.4026	38.3061	-1.3271e	-5.7450e	1.2115e	-1.6301e	-22.9208	41.2749	-1.2190e
30	-1.1689e	-54.7840	-2.5266e	-1.1256e	-36.8554	1.0519e	-2.2967e	-2.7727	51.6225	-95.8708	-68.0291	51.1600	-1.5864e	-3.6085e	1.4796e	-1.6421e	-1.1189e	25.9690	-1.2134e
31																			

图 2 Matlab 导入某数据段样本中回波序列详情

对于图 2 所示的脉冲压缩后的回波序列，通过选取不同的脉冲数目可以进行不同时长的相参脉冲积累，从而获得距离-多普勒图像。图 3 显示了单目标和多目标场景下基于脉冲压缩回波序列进行相参积累后获得的距离-多普勒图像情况。

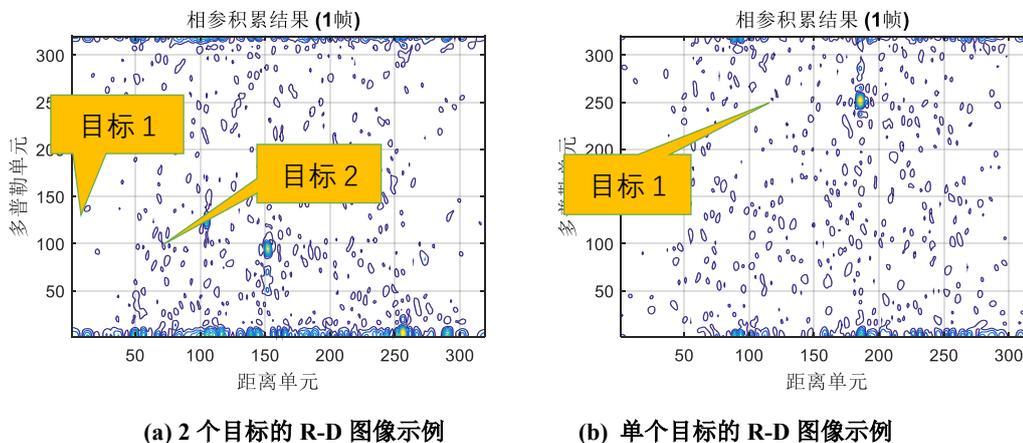


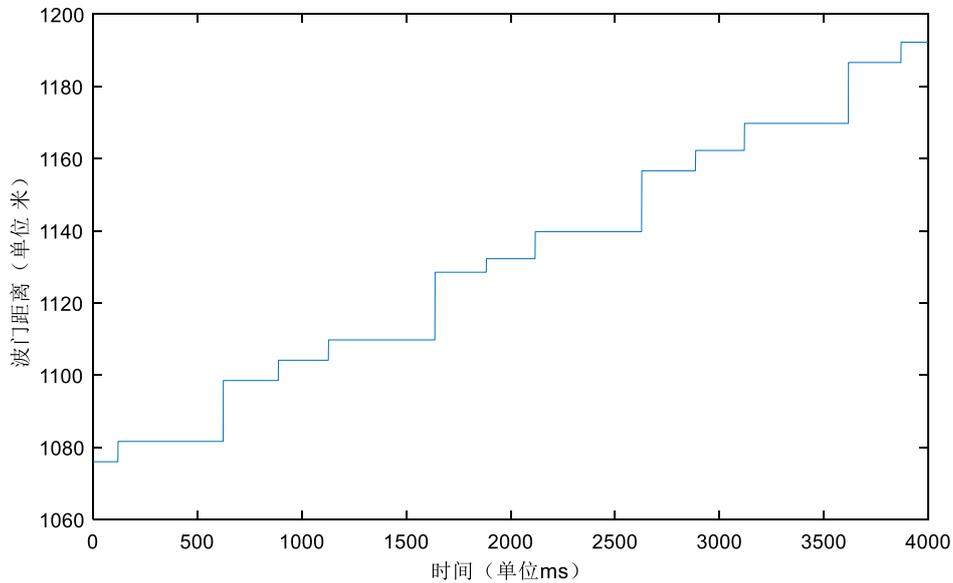
图 3 不同目标场景下的距离-多普勒图像

2.2 距离波门数据样本

对应于每一段雷达数据，提供一个雷达距离波门数据文件，数据形式按时间排序的一维数组，后缀名为 `mat`。波门起始位置对应第一个采样点，在整个数据段中随目标移动，更新率为 1 ms (32 个脉冲更新一次)。某一段数据对应的距离波门数据文件名为 `dataX_gate.mat`。单个雷达回波距离波门数据样本示例如图 4 所示。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	1
1	1076	1076	1076	1076	1076	1076	1076	1076	1076	1076	1076	1076	1076	1076	1076	1076	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	

(a) 波门文件 dataX_gate 数据格式



(b) dataX_gate 对应时间与波门距离关系图

图 4 不同目标场景下的距离-多普勒图像

2.3 标注真值数据样本

标注数据结果以的 dataX_value*.txt 文件为格式存储，其中 dataX 为对应的回波序列文件名称（如 data1、data2 等），具体格式约定如表 3 所示。标注文件的具体约束事项如下：

- (1) 每段雷达回波序列的标注结果保存为 1 个文件；
- (2) 按照 50 ms 的数据率给出标注结果，即每 1600 个脉冲输出 1 次结果，第 1600*N 个脉冲时刻为数据输出时刻，以此类推；
- (3) 目标的距离和速度估计值的数据类型为浮点类型；
- (4) 结果文件中所有英文标识均使用小写字母，所有数量标识均使用阿拉伯数字；
- (5) 输出的检测和估计结果按行存储，若对应输出时刻未检测到目标，则目标数记为 0；
- (6) 同一数据行内不同字段之间以空格间隔；
- (7) 字段中的标点符号“:”为英文字符；
- (8) 每个结果文件中的目标都从 1 开始递增编号。

表 3 数据标注文件格式说明

第 1 行	50 ms	目标数	object:1	速度	距离	object:2	速度	距离
第 2 行	100 ms	目标数	object:1	速度	距离	object:2	速度	距离
.....								
第 N 行	50*N ms	目标数	object:1	速度	距离	object:2	速度	距离

下面以数据集中 data2 数据为例对标注数据进行解释说明，如图 5 所示。

Time Interval	Target Count	Object ID	Velocity (m/s)	Distance (m)	Object ID	Velocity (m/s)	Distance (m)
50ms	1	object:1	40.401786	1572.979364			
100ms	1	object:1	40.396280	1570.959415			
150ms	1	object:1	40.410268	1568.939209			
200ms	1	object:1	40.410268	1566.918696			
250ms	1	object:1	40.404688	1564.898394			
300ms	1	object:1	40.418601	1562.877979			
350ms	1	object:1	40.446429	1560.856339			
400ms	1	object:1	40.440848	1558.834090			
450ms	1	object:1	40.429688	1556.812333			
500ms	1	object:1	40.429688	1554.790848			
550ms	1	object:1	40.429688	1552.769364			
600ms	1	object:1	40.424107	1550.747952			
650ms	1	object:1	40.407366	1548.727104			
700ms	1	object:1	40.390625	1546.707093			
750ms	1	object:1	40.368304	1544.688131			
800ms	1	object:1	40.362723	1542.669927			
850ms	1	object:1	40.357143	1540.651864			
900ms	1	object:1	40.329241	1538.634648			
950ms	1	object:1	40.306920	1536.618756			
1000ms	1	object:1	40.295759	1534.603694			
1050ms	1	object:1	40.284598	1532.589191			
1100ms	1	object:1	40.279018	1530.575173			
1150ms	1	object:1	40.284598	1528.561150			
1200ms	1	object:1	40.295759	1526.546635			
1250ms	1	object:1	40.295759	1524.531847			
1300ms	1	object:1	40.301339	1522.516987			
1350ms	1	object:1	40.312500	1520.501635			
1400ms	1	object:1	40.312500	1518.486010			
1450ms	1	object:1	40.312500	1516.470385			
1500ms	1	object:1	40.312500	1514.454760			
1550ms	1	object:1	40.312500	1512.439135			
1600ms	1	object:1	40.312500	1510.423510			
1650ms	1	object:1	40.312500	1508.407885			
1700ms	1	object:1	40.312500	1506.392260			
1750ms	1	object:1	40.323661	1504.376350			
1800ms	1	object:1	40.329241	1502.359955			
1850ms	1	object:1	40.340402	1500.343209			
1900ms	1	object:1	40.357143	1498.325692			
1950ms	1	object:1	40.362723	1496.307623			
2000ms	1	object:1	40.351563	1494.289771			
2050ms	1	object:1	40.345982	1492.272405			
2100ms	1	object:1	40.345982	1490.255106			
2150ms	1	object:1	40.340402	1488.237879			
2200ms	1	object:1	40.318080	1486.221429			
2250ms	2	object:1	40.312500	1484.205737	object:2	107.081051	1799.357029
2300ms	2	object:1	40.301339	1482.190396	object:2	107.803152	1793.984838

图 5 数据标注文件样本举例

在第 1 行中，字段“50 ms”表示从第 1 个脉冲开始至 1600 个脉冲时刻的时间，即表示本行输出的目标及参数信息为第 50 ms 时刻对应回波中的目标情况；字段“1”表达当前时刻波束内只有 1 个目标；字段“object:1”表示接续下来的两个字段是目标 1 的速度真值和距离真值；字段“40.401786”表示目标 1 的速度真值，保留小数点后 6 位；字段“1572.979364”表示目标 1 的距离真值，保留小数点后 6 位。第 2–44 行的字段含义同第 1 行，可依次类推。在第 45 行中，字段“2250 ms”表示本行的结果对应的是第 2250 ms 时刻，也就是第 72000 个脉冲时刻对应的目标真值信息；字段“2”表达当前时刻波束内有 2 个目标；字段“object:1”表示接续下来的两个字段是目标 1 的速度真值和距离真值；字段“40.312500”表示目标 1 的速度真值；字段“1484.205737”表示目标 1 的距离真值；字段“object:2”表示接续下来的两个字段是目标 2 的速度真值和距离真值；字段“107.081051”表示目标 2 的速度真值；字段“1799.357029”表示目标 2 的距离真值。第 46 及之后的字段含义同第 45 行，可依次类推。

3 数据质量控制和评估

本数据集中的所有雷达回波数据都是通过 Ka 频段通用录取设备在专门设计的实验中实测采集得到，目标、杂波等特性真实可靠。雷达回波序列中确定时刻对应的目标真值信息均为全自动标注和人工确认的结果，并经过多次核查检验，以确保数据质量^[28]。数据集中所提供的评分准则及程序都已经过大量的实测试验，评分结果符合设计指标^[29]。

本数据集中的部分数据已在第二届“空天杯”创新创业大赛（2019）——探测识别算法挑战赛中发布供参赛选手测试及正式比赛使用。目前大赛已经正式落下帷幕，数据集作为探测识别算法挑战赛雷达专题下算法性能比测的重要依据，为大赛评选出了相应奖项类别。该大赛的圆满举办证实了本数据集中图像数据、目标标注和评分准则的质量和科学可信度，可作为更广泛科研人员的数据素材。

4 数据价值

本数据集针对固定翼无人机目标的雷达回波序列检测跟踪问题，设计了 15 个典型场景，具体涵盖了单目标、多目标、高信噪比、低信噪比、目标由远及近、目标由近及远、目标进出波束、目标穿越主杂波、目标机动等场景。每个典型场景对应 1 个段数据、共计 15 个数据段。该类型的数据集在国内尚属首次成系列的公开发布，这些数据情况包括了当前雷达弱小目标检测识别的以下重难点问题：

- (1) 低信噪比下的弱小目标检测跟踪；
- (2) 多目标情况下的弱小目标检测；
- (3) 强杂波下的弱小目标检测。

为满足检测跟踪识别算法性能评估的需要，数据集对雷达回波序列按照 50 ms 等间隔时刻进行了目标真值的标注，并在这些标注结果的基础上，综合考虑检测正确性、检测精度、航迹正确性、目标漏警、目标虚警等关键评价要素，研究提出了满足复杂场景下雷达弱小目标检测跟踪算法性能综合评测准则，并开放了评分程序代码。本数据集在为雷达检测跟踪相关研究人员开展学习研究工作提供测试实验数据的同时，也能促进部分现有成果的实用化开发，打破当前雷达目标检测跟踪领域数据库分散、数据集不标准、数据流动性和开放性差的困局，为算法研究提供交流、评测和提升的渠道。

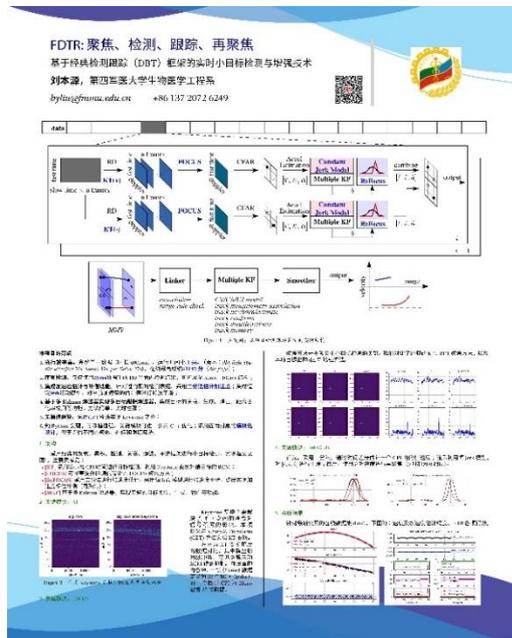
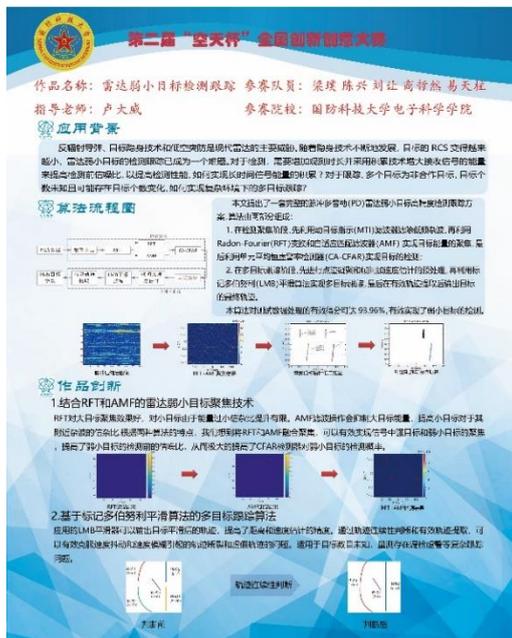
此外，在第二届“空天杯”创新创业大赛结束后，众多参赛选手和国内同行对本数据集的补充完善版本都提出了申请需求，这也印证了本数据集的科研价值。图 6 为空天杯雷达算法挑战赛优秀选手利用本数据集提出的弱小目标检测跟踪框架和部分检测跟踪结果。图 7 为空天杯雷达算法挑战赛参赛选手基于本数据进行信号与数据处理获得的部分结果图。

5 数据使用方法和建议

5.1 数据使用方法

数据的推荐使用方法是：首先使用者利用自己编制的雷达弱小目标检测跟踪算法或软件读取一段雷达回波序列，并根据算法进行目标的检测跟踪；然后根据标注文件的存储格式，将该段数据的

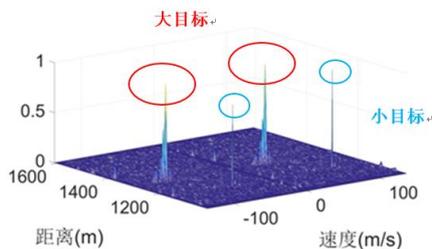
检测跟踪结果保存在自定义文件中；最后通过本数据集提供的评测准则（推荐使用数据集提供的评分程序代码）将真值数据与检测跟踪结果进行比对计算得分，作为当前数据段的结果，也可根据具体的实际应用需求，基于标注结果自行设计新的评分规则并计分比较。



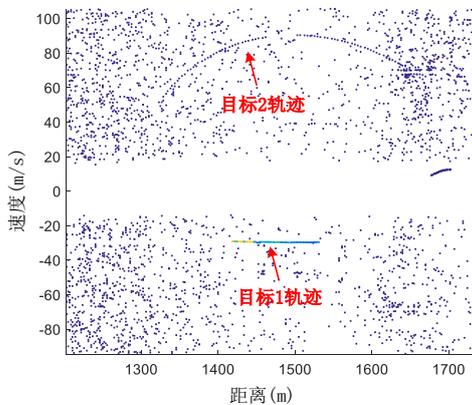
(a) 207号作品框架

(b) 207号作品框架

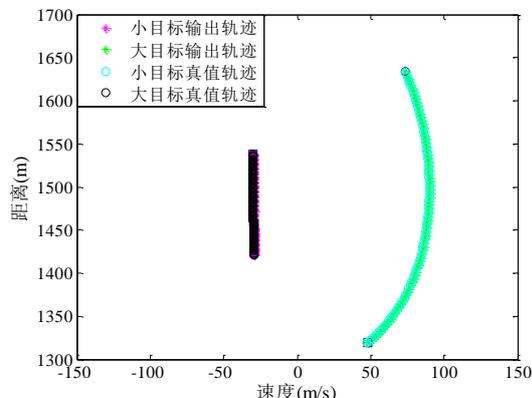
图6 空天杯雷达检测跟踪挑战赛部分参赛作品



(a) 信号积累结果



(b) CFAR 检测结果



(c) 目标跟踪轨迹

图7 空天杯雷达检测跟踪挑战赛部分参赛作品处理结果

5.2 数据使用评价

数据使用后其结果评价可通过如下原则计分评价，分数越高表示性能越好。检测跟踪得分标准为：

(1) 正确检测且估计精度满足预定要求：即目标测量/滤波结果位于以真值为中心、大小为 $[\pm 5m(R) \times \pm 0.12m/s(V)]$ 的矩形框内（含），每次加 1 分；

(2) 正确检测但估计精度不满足预定要求：即目标测量/滤波结果位于以真值为中心、大小为 $[\pm 5m(R) \times \pm 0.12m/s(V)]$ 的矩形框外，但同时不超出大小为 $[\pm 10m(R) \times \pm 0.5m/s(V)]$ 的矩形框，每次加 0 分；

(3) 漏检，指以真值为中心的 $[\pm 10m(R) \times 0.5m/s(V)]$ 的范围内（含）无检测结果，每出现 1 次减 1 分；

(4) 虚警，指在以真值为中心的 $[\pm 10m(R) \times 0.5m/s(V)]$ 的范围外出现检测结果，每个虚警减 2 分。

在上述数据使用评价准则下，利用本数据集测试结果满分为 2286 分。本数据集提供上述评价准则的评分程序代码。

致 谢

本数据集中的部分数据曾供第二届“空天杯”创新创业大赛（2019）——探测识别算法挑战赛（雷达探测识别方向）使用，感谢大赛组委会对本数据集的认可和采纳。

在数据集整理、测试、评审和发布，特别是评分准则设计的过程中，得到了火箭军研究院邱志明院士，中国空空导弹研究院白晓东研究员，中国航天科工二院陈军文研究员，北京航空航天大学王俊教授，厦门大学王程教授，华中科技大学张天序教授，北京理工大学杨小鹏教授，解放军装备发展部朱南机研究员，国防科技大学付强、王宏强、王壮、张焱教授的指导，本数据集也凝结了这些专家们的宝贵经验和智慧。对上述专家辛勤付出，在此表示由衷的感谢。

感谢国防科技大学付强带领的科研团队在第二届“空天杯”大赛前对本数据集中的部分数据进行了大量细致的测试和准备工作，并为数据的发布提供了大量帮助。感谢来自全国各大高校的 30 余支参赛队伍对本数据集提出了许多有益的建议和意见。

数据作者分工职责

宋志勇，男，湖南长沙人，博士，副教授，研究方向为雷达数据处理与目标识别。主要承担工作：数据加工与标注，数据集制作，数据使用评价。

回丙伟，男，河北衡水人，博士，讲师，研究方向为目标识别数据工程。主要承担工作：数据处理与加工。

范红旗，男，陕西渭南人，博士，副教授，研究方向为数据科学与雷达目标识别。主要承担工作：数据集设计。

周剑雄，女，湖南湘潭人，博士，教授，研究方向为雷达成像技术。主要承担工作：数据处理与数据标注。

朱永锋，男，江苏南通人，博士，副研究员，研究方向为雷达波形与信息处理。主要承担工作：数据集设计。

达凯, 男, 湖南邵阳人, 博士生, 研究方向为多传感器信息融合。主要承担工作: 数据加工处理。

张晓峰, 男, 黑龙江哈尔滨人, 博士, 研究员, 研究方向为精确制导。主要承担工作: 数据采集方案制定。

苏宏艳, 女, 陕西西安人, 博士, 研究员, 研究方向为精确制导。主要承担工作: 数据采集。

金威, 男, 天津市人, 博士, 高工, 研究方向为信号处理。主要承担工作: 数据采集。

张永杰, 男, 安徽阜阳人, 博士, 研究员, 研究方向为精确制导。主要承担工作: 数据采集。

杨彩霞, 女, 山西朔州人, 博士, 研究员, 研究方向为信号处理。主要承担工作: 数据采集。

蔺震, 男, 内蒙古鄂尔多斯人, 博士, 工程师, 研究方向为信号处理。主要承担工作: 数据采集。

樊润东, 男, 湖南益阳人, 硕士, 工程师, 研究方向为信号处理。主要承担工作: 数据采集。

参考文献

- [1] 丁鹭飞, 耿富录, 陈建春. 雷达原理(第五版)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.
- [2] 斯科尼克. 雷达系统导论(第三版)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.
- [3] 蔡飞. 雷达弱小目标检测与跟踪技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2015.
- [4] 梁璞, 陈兴, 刘让, 等. 基于 RFT 和 AMF 融合聚焦的雷达弱小目标检测[J]. 航空兵器, 2019, 26(06): 1-9.
- [5] YANG Y, XIAO S, WANG X. Radar detection of small target in sea clutter using orthogonal projection[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2018, 16 (3): 382-386.
- [6] 黄响, 张林让, 唐世阳. 采用长时间相参积累技术的高速机动目标检测快速算法[J]. 西安交通大学学报, 2019, 53(08): 121-128.
- [7] ZHU S, LIAO G, YANG D, et al. New method for radar high-speed maneuvering weak target detection and imaging[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2014, 11 (7): 1175-1179.
- [8] 杨建军, 卞磊, 路彬彬. 探测低慢小目标的新体制雷达技术[J]. 电子技术与软件工程, 2018(17): 101.
- [9] CAO Y, WANG S, WANG Y, et al. Target detection for low angle radar based on multi-frequency order-statistics[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2015, 26(2): 267-273.
- [10] 宋强. 杂波干扰下雷达微弱多目标检测跟踪方法[J]. 中国电子科学研究院学报, 2018, 13(05): 601-605.
- [11] YAN B, XU N, WANG G, et al. Detection of multiple maneuvering extended targets by three-dimensional hough transform and multiple hypothesis tracking[J]. IEEE Access, 2019, 7: 80717-80732.
- [12] 王祎鸣, 张杰, 纪永刚, 等. 高频地波雷达海杂波背景下的船只目标检测研究进展[J]. 海洋科学, 2016, 40(09): 140-144.
- [13] YANG Y, FENG D, WANG X, et al. Effects of K distributed sea clutter and multipath on radar detection of low altitude sea surface targets[J]. IET Radar, Sonar & Navigation, 2014, 8 (7) : 757-766.
- [14] 周龙, 韦素媛, 崔忠马, 等. 基于深度学习的复杂背景雷达图像多目标检测[J]. 系统工程与电子技术, 2019, 41(06): 1258-1264.

- [15] 陈伟, 孙洪忠, 齐恩勇, 等. 智能化时代雷达导引头信号处理关键技术展望[J]. 航空兵器, 2019, 26(01): 76-82.
- [16] 侯旋, 陈涛, 王唯良. 雷达目标检测深层自编码器自适应优化算法[J]. 计算机工程与应用, 2019, 55(13): 165-171.
- [17] 张志宏, 张可心, 彭章友, 等. 基于粒子滤波的分布式雷达 TBD 算法[J]. 雷达科学与技术, 2019, 17(06): 610-615.
- [18] YU X, CHEN X, HUANG Y, et al. Radar moving target detection in clutter background via adaptive dual-threshold sparse fourier transform[J]. IEEE Access, 2019, 7: 58200-58211.
- [19] ZHAO W, CHEN Z, JIN M. Subband maximum eigenvalue detection for radar moving target in sea clutter[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2020, PP(99): 1-5.
- [20] ZHANG X, ZUO L, YANG D, et al. Coherent-like integration for PD radar target detection based on short-time fourier transform[J]. IET Radar, Sonar & Navigation, 2019, 14 (1) : 156-166.
- [21] 刘宁波, 董云龙, 王国庆, 等. X波段雷达对海探测试验与数据获取[J]. 雷达学报, 2019, 8(5): 656-667.
- [22] 吴顺君. 雷达信号处理和数据处理技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [23] C.阿拉巴斯特. 脉冲多普勒雷达——原理、技术与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2016.
- [24] 陈帅霖. 机动微弱目标能量积累检测方法研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2017.
- [25] CHEN H, VARSHNEY P K, KAY S M, et al. Theory of the Stochastic Resonance Effect in Signal Detection: Part I-Fixed Detectors[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2007, 55 (7): 3172-3184.
- [26] GALY J, CHAUMETTE E, LARZABAL P. Joint detection estimation problem of monopulse angle measurement[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2010, 46 (1): 397-413.
- [27] 郑乐. 宽频带雷达目标跟踪理论与算法研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2014.
- [28] RUTTEN M, GORDON N, MASKELL S. Recursive track-before-detect with target amplitude fluctuations[J]. IEE Proceedings-Radar, Sonar and Navigation, 2005, 152 (5): 345-352.
- [29] MORELANDE M, RISTIC B. Signal-to-noise ratio threshold effect in track before detect[J]. IET Radar, Sonar and Navigation. 2009, 3 (6): 601-608.

论文引用格式

宋志勇, 回丙伟, 范红旗, 等. 雷达回波序列中弱小飞机目标检测跟踪数据集[J/OL]. 中国科学数据, 2020, 5(3). (2020-03-04). DOI: 10.11922/csdata.2019.0075.zh.

数据引用格式

宋志勇, 回丙伟, 范红旗, 等. 雷达回波序列中弱小飞机目标检测跟踪数据集[DB/OL]. Science Data Bank, 2019. (2019-10-29). DOI: 10.11922/sciencedb.908.

A dataset for detection and tracking of dim aircraft targets through radar echo sequences

Song Zhiyong¹, Hui Bingwei¹, Fan Hongqi^{1*}, Zhou Jianxiong¹, Zhu Yongfeng¹, Da Kai¹, Zhang Xiaofeng², Su Hongyan², Jin Wei², Zhang Yongjie², Yang Caixia², Lin Zhen², Fan Rundong²

1. ATR Key Laboratory, College of Electronic Science and Technology, National University of Defense Technology, 410073, P.R. China

2. 25th Institute in 2nd Academy of China Aerospace Science and Technology Group, 100010, P.R. China

*Email: fanhongqi@nudt.edu.cn

Abstract: Radar detection and tracking of dim targets under clutter has been a hot yet difficult issue in the fields of military and civilian applications, such as low-altitude security prevention and control, regional situation monitoring, long-range precision strike, battlefield intelligence and reconnaissance. However, there has been problems related to existing radar data, such as poor pertinence of data scenarios, insufficient authenticity of simulation data, nonstandard formatting of measured data, incomplete scene description and calibration information, etc. To meet the data requirements for studies on the radar target detection and tracking technologies under clutter, we took the fixed-wing UAV under clutter as detection object for radar outfield data acquisition and data processing, through which to generate a standard dataset for the radar detection and tracking of dim targets under clutter. This dataset covers typical scenarios such as strong clutter, low signal-to-noise ratio, high dynamics, strong maneuvering, and changing target number. It consists of 15 radar echo sequences in total, and each echo sequence contains a number of pulse signals of a certain temporal duration, a corresponding gate file and a true-value labeling file. With standardized format and accurately labeled information, the dataset can provide basic data for the design and verification of radar dim target detection and tracking algorithms and for studies of clutter characteristics.

Keywords: dim target; target detection; target tracking; radar echo sequence; dataset

Dataset Profile

Title	A dataset for detection and tracking of dim aircraft targets through radar echo sequences
Data corresponding author	Hongqi Fan (fanhongqi@nudt.edu.cn)
Data authors	Song Zhiyong, Hui Bingwei, Fan Hongqi ¹ , Zhou Jianxiong, Zhu Yongfeng, Da Kai, Zhang Xiaofeng, Su Hongyan, Jin Wei, Zhang Yongjie, Yang Caixia, Lin Zhen, Fan Rundong
Time range	2017–2019
Geographical scope	China
Clutter background	Land
Radar carrier frequency	35 GHz
Pulse repetition rate	32 KHz

Distance unit sampling interval	1.875 m
Data volume	8.76 GB
Data format	*.mat, *.txt
Data service system	< http://www.sciencedb.cn/dataSet/handle/908 >
Source of funding	National Natural Science Foundation of China (61401475)
Dataset composition	<p>The dataset consists of 15 subsets. The subsets are named as data1.zip, data2.zip, ... data15.zip. Each subset comprises three parts: (1) data[N].mat is an radar echo sequence for Segment N with the presence of target aircraft ; (2) data[N]_gate.mat is a radar range gate information sequence corresponding to the echo sequence; (3) data[N]_value.txt is the corresponding label file of data[N].mat. The label information includes the total target number, target serial number, target velocity and target range corresponding to every time interval of 50 ms in the radar echo sequence.</p>