

# 大规模细粒度 SAR 车辆目标数据集

## ATRNet-STAR 数据手册

2025 年 4 月 2 日

# 目录

一、 使用手册 .....	3
二、 研究背景 .....	6
三、 采集流程 .....	8
四、 数据集特色 .....	9
五、 数据集价值 .....	13
六、 相关链接 .....	14

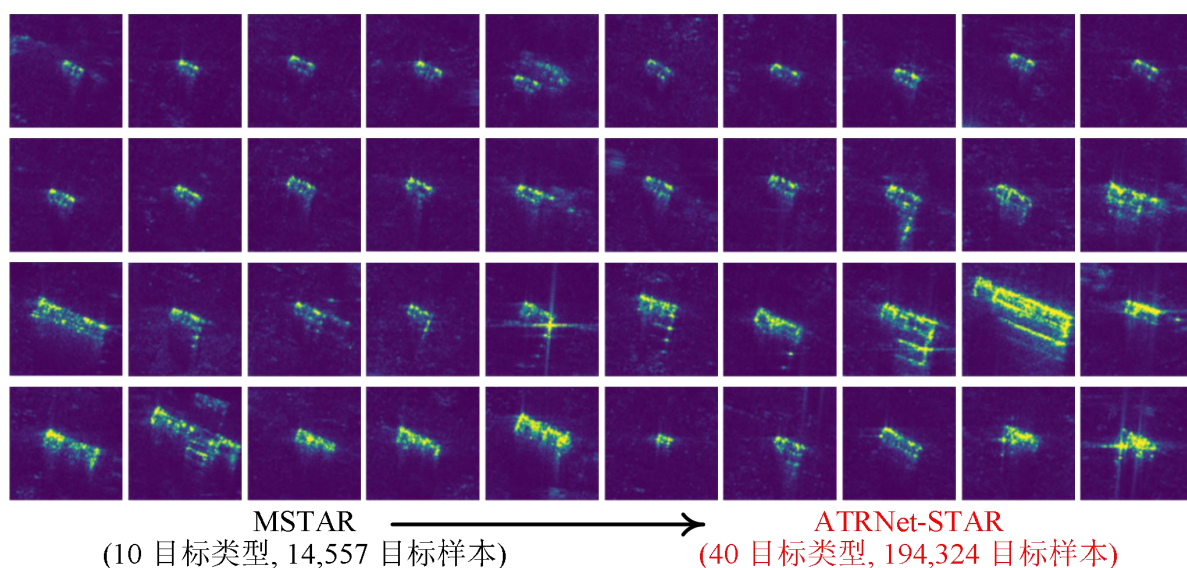


图 1. ATRNet-STAR 数据集包含 40 种不同的目标类型，创建该数据集的目的是取代过时但被广泛使用的 MSTAR 数据集，进一步推动 SAR ATR 领域研究。

ATRNet-STAR 数据集作为团队建立大规模 SAR 目标特性数据库的第一步，完成对之前车辆目标基准数据集 MSTAR 的新突破。团队花费了近两年的时间完成了方案设计、数据采集与处理以及方法基准构建。ATRNet-STAR 收集了来自 40 种**目标类型**（涵盖 4 车辆大类、21 种车辆子类、40 种车辆型号，包括轿车、SUV、皮卡、客车、货车、罐车等绝大部分民用车辆类型）、**丰富场景**（包括城区、工厂、林地、裸土和沙地）、**各种成像条件**（包括不同角度、波段和极化方式）和**多种格式**（包括浮点型复数原始数据和处理后的 8 位幅度数据）近 20 万幅目标图像，附有详细目标尺寸、目标位置、成像角度、分辨率等标注。它是目前**最大的公开 SAR 车辆识别数据集**，超出以往任何车辆数据集的 10 倍。其充足的目标样本可以支撑**生成、检测和分类**等各方面的研究。同时，为了便于研究创新和方法比较，团队建立了一个精心设计的分类和检测方法基准 ATRBench，包括面向鲁棒识别、少样本识别和迁移学习等 7 种实验设置和 15 种代表性方法。实验结果表明，复杂条件下的 SAR ATR 仍然极具挑战，同时大规模预训练模型表现出了相对优秀的性能，基于该数据集预训练将有助于识别不同地面目标。该数据集全面的目标样本和实验基准可为 SAR ATR 提供一个新的研究平台，将进一步促进 SAR ATR 领域发展。

## 一、使用手册

ATRNet-STAR 数据集包括 8 位地距幅度图像和 32 位复数图像。具体采集条件见下表，相关代码见 GitHub 项目主页，将根据需求继续上传相关数据和权重。

表 1. ATRNet-STAR 的开源数据采集参数。采用固定大小的切片和随机偏移对目标进行分割，以研究目标特征，并力求在不同的采集条件下实现鲁棒的识别。采集过程中改变了城市和工厂场景中的目标位置，并

多次在工厂场景中采集数据，然而有些目标由于严重遮挡而无法标记。

场景	目标类别	平台	体制	波段	分辨率 (m)	极化	擦地角	方位角间隔	切片大小	图像数量
城市	40	机载	条带	X	0.12~0.15	全极化	15, 30, 45, 60	5	128	83,465
工厂	40	机载	条带	X/Ku	0.12~0.15	全极化	15, 30, 45, 60	30	128	63,597
沙地	40	机载	条带	X/Ku	0.12~0.15	全极化	15, 30, 45, 60	30	128	30,720
林地	11	机载	条带	X/Ku	0.12~0.15	全极化	15, 30, 45, 60	30	128	8,094
裸土	11	机载	条带	X/Ku	0.12~0.15	全极化	15, 30, 45, 60	30	128	8,448

表 2. 基于 ATRNet-STAR 的 ATRBench 的 SOC 和 EOC 设置。SOC 中的成像条件是相似的，而 EOC 则考虑单一成像条件的变化。简单场景为沙地和裸土，复杂场景为城市、工厂和林地。地距图像和斜距图像的单独标注导致它们的标注数量并不完全对应。

设置	划分	类别数量	场景	擦地角	方位角	波段	极化	地距图数量	斜距图数量
SOC-40	训练	40	所有	15, 30, 45, 60	0~360	X/Ku	全极化	68,091	67,780
	测试	40	所有	15, 30, 45, 60	0~360	X/Ku	全极化	29,284	29,169
SOC-50	训练	50	所有	15, 17, 30, 45, 60	0~360	X/Ku	全极化	18,071	18,071
	测试	50	所有	15, 30, 45, 60	0~360	X/Ku	全极化	17,603	17,613
EOC-Scene	训练	40	简单	15, 30, 45, 60	0~360	X/Ku	全极化	19,584	19,584
	测试	40	复杂	15, 30, 45, 60	0~360	X/Ku	全极化	77,791	77,365
EOC-Depression	训练	40	所有	15	0~360	X/Ku	全极化	24,361	22,206
	测试	40	所有	30, 45, 60	0~360	X/Ku	全极化	73,014	74,743
EOC-Azimuth	训练	40	所有	15, 30, 45, 60	0~60	X/Ku	全极化	18,636	18,592
	测试	40	所有	15, 30, 45, 60	60~360	X/Ku	全极化	78,739	78,357
EOC-Band	训练	40	除城市外	15, 30, 45, 60	0~360	X	全极化	27,711	27,653
	测试	40	除城市外	15, 30, 45, 60	0~360	Ku	全极化	27,763	27,732

设置	划分	类别数量	场景	擦地角	方位角	波段	极化	地距图数量	斜距图数量
EOC-Polarization	训练	40	所有	15, 30, 45, 60	0~360	X/Ku	HH	24,361	24,246
	测试	40	所有	15, 30, 45, 60	0~360	X/Ku	其他	73,014	72,703

本次开源数据集主要包括两种数据集样式地距幅度 8 位数据和复数斜距 float 数据。每个压缩包里面包括 ATRBench 中的 7 种实验设置划分好的训练集和测试集，例如，实验设置（SOC-40）→训练集和测试集（train）→目标类型（Buick\_Excelle\_GT）→图像文件和标注 xml（以波段\_极化\_擦地角\_目标方位角\_编号命名），其中 SOC-40 的训练集和测试集合并即为 ATRNet-STAR 本次开源的数据。同时，为了便于检测任务使用，额外提供了 COCO 格式的转换代码和结果。

表 3. xml 记录信息。

字段			实例
filename	文件名		KU_HH_15_0_253993.tif
image	height	图像高度	128
	width	图像宽度	128
	depth	位深	1
	format	格式	ground_range_uint8
	range_dimension	距离维对应	1_height
	cross_range_dimension	方位维对应	2_width
object	target_id	目标编号	13
	class	大类	Car
	subclass	子类	Medium_SUV
	type	型号	Changfeng_Cheetah_CFA6473C
	length	目标尺寸	4.8m
	width		1.79m
	height		1.88m
	xmin	目标位置	25

字段			实例
	xmax		65
	ymin		26
	ymax		69
scene	scene_name	场景名字	sandstone
sensor	platform	平台	airborne
	imaging_mode	成像模式	strimap
	band	波段	KU
	polarization	极化	HH
	range_resolution	距离维分辨率	0.15m
	cross_range_resolution	方位维分辨率	0.15m
	depression_angle	擦地角	15°
	target_azimuth_angle	目标方位角	0°

## 二、研究背景

合成孔径雷达（Synthetic Aperture Radar, SAR）能够生成高分辨率遥感图像，且不受光照条件影响，是地球观测中不可或缺的工具。作为遥感图像解译中的一个基础而具有挑战性的领域，SAR 自动目标识别（Automatic Target Recognition, ATR），即检测和分类感兴趣的物体（例如车辆、船舶、飞机和建筑物），是几十年以来长期活跃的研究领域。SAR ATR 具有广泛的民用和军事应用，包括全球监视、军事侦察、城市管理、灾害评估和紧急救援。尽管 SAR ATR 领域取得了令人瞩目的成就，但在开放世界中准确、稳健、高效地识别任何目标的问题仍未得到解决。

**ATRNet 的必要性**—团队旨在建立一个大规模、多样化的标准 SAR ATR 数据集基准，用于 SAR 目标建模、分析和识别。大数据时代正在推动遥感预训练基础模型的快速发展，大规模预训练模型可实现高效的跨任务适应。然而，大规模标准化数据集的匮乏限制了强泛化数据驱动 SAR ATR 模型发展。SAR 的数据敏感、获取成本、注释难度和复杂性阻碍了开放大规模数据生态系统的建立：50% 以上的 SAR ATR 研究仍依赖于 20 世纪 90 年代的移动与静止目标采集与识别

(Moving and Stationary Target Acquisition and Recognition, MSTAR) 数据集。此外, 现有数据集的非标准化评估设置阻碍了客观的算法比较。因此, 有必要建立一个大型 SAR ATR 数据基准, 以充分探索该领域的新方法和新能力。

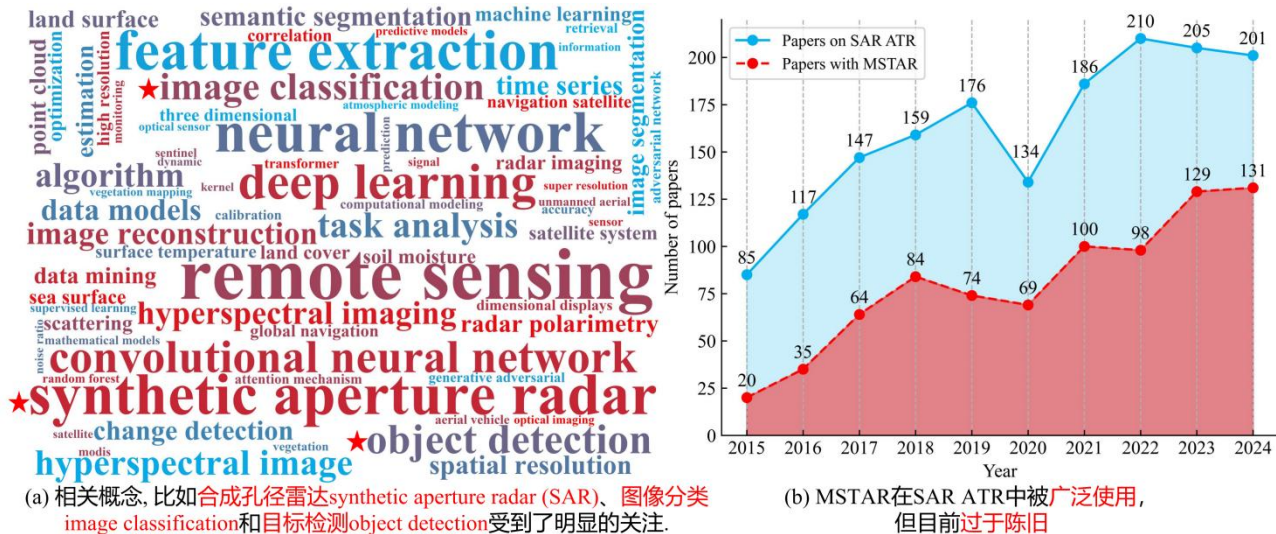


图 3. ATRNet-STAR 动机。子图 (a) 展示近五年发表的 21,780 篇遥感领域期刊论文 (TGRS、JSTARS、GRSL、ISPRS Journal 和 JAG) 中的高频关键词, 每个词的大小与其出现频率成正比。这说明合成孔径雷达 (synthetic aperture radar)、图像分类 (image classification) 和目标检测 (object detection) 等概念已获得大量关注。子图 (b) 侧重于 SAR 自动目标识别 (Automatic Target Recognition, ATR) 相关的出版物数量, 是子图 (a) 中突出概念的交叉领域。作为 SAR 目标分类的先驱数据集, MSTAR 凭借其独特的数据多样性和长期积累的方法基准, 一直以来是最主要的基准数据集。然而, 目前大规模数据集的缺乏极大地限制了这一研究领域的发展。

**ATRNet-STAR 的必要性**—研究人员一直在努力为 ATR 任务构建多样化 SAR 目标数据集, 特别是, 新的 SAR 检测数据集, 例如 SARDet-100K 和 FAIR-CSAR, 数据量已经达到 100,000 张量级。然而, 团队之前有关 SAR ATR 基础模型 SARATR-X 的研究发现, 由于严重的样本不平衡 (主要是船舶检测数据集居多), 收集公共数据集得到的可用目标样本仍少于 200,000 个。

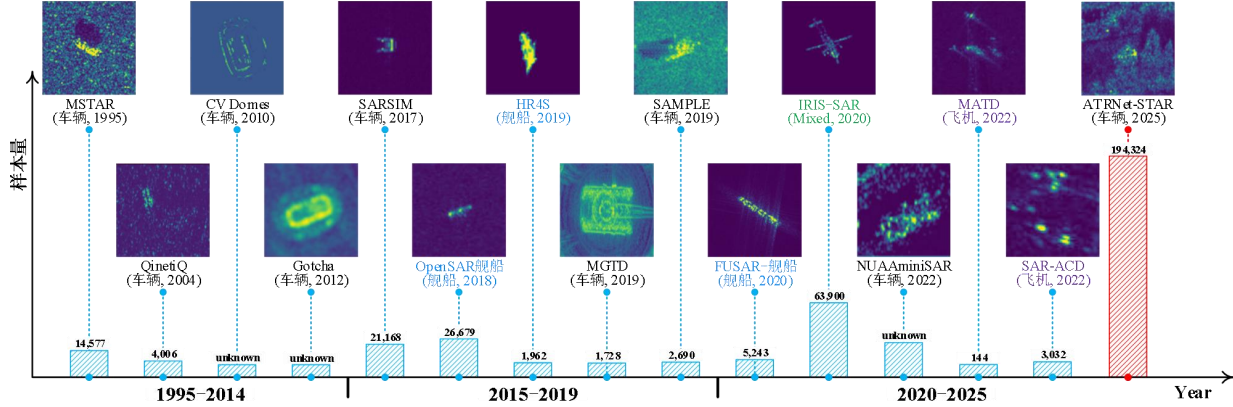


图 4. SAR 目标分类数据集时间线。与其他侧重于简单场景中目标切片的数据集相比, 该数据集提供了一个更大规模的 SAR ATR 数据集, 收集了来自不同场景和成像条件的大量目标样本。

作为 ATRNet 的起步, ATRNet-STAR 将重点放在车辆目标上, 原因如下



(1) 最近的数据集主要是基于星载 SAR 传感器，其成像几何受到限制，而机载 SAR 平台在复杂场景中具有更高的分辨率（0.1~0.3 米）和灵活的成像条件。

(2) 自 20 世纪 90 年代的 MSTAR 发布三十年以来，车辆识别一直推动 SAR ATR 研究，具有成熟的研究系统。

(3) 尽管 MSTAR 发挥了开创性作用，但其理想化的采集条件和饱和的性能，无法反映现实世界的复杂性，也难以持续支持方法创新。

### 三、采集流程

从成像、标注和产品三个方面介绍该数据集数据采集流程。

**成像**—基于利用无人机（UAV）平台携带传感器设备并收集数据。两个天线获取 X 波段和 Ku 波段的全极化雷达回波。此外，定位和定向系统（POS）设备提供全球定位系统（GPS）和惯性测量单元（IMU）信息，用于运动补偿。经过成像处理后，得到了斜距复图像。根据斜距幅度图像和 POS 信息，经过地面投影获得地距数据。

**标注**—根据光学参考图像和部署记录，使用矩形框标签标注目标类别和坐标。由于重点放在单个目标特征上，所有目标在放置过程中都保持了指定距离。除采集车辆外，场景中的其他车辆标记为“其他”。标记完成后，分割获取目标切片并添加随机偏移。

**产品**—提供两种坐标系下的的数据产品。斜测数据的距离维为视线方向，提供原始浮点复数数据。地测图像为投影到地面真实距离，并经过非线性量化处理的图像。相应的注释文件包括基本图像信息以及目标、场景和传感器参数。

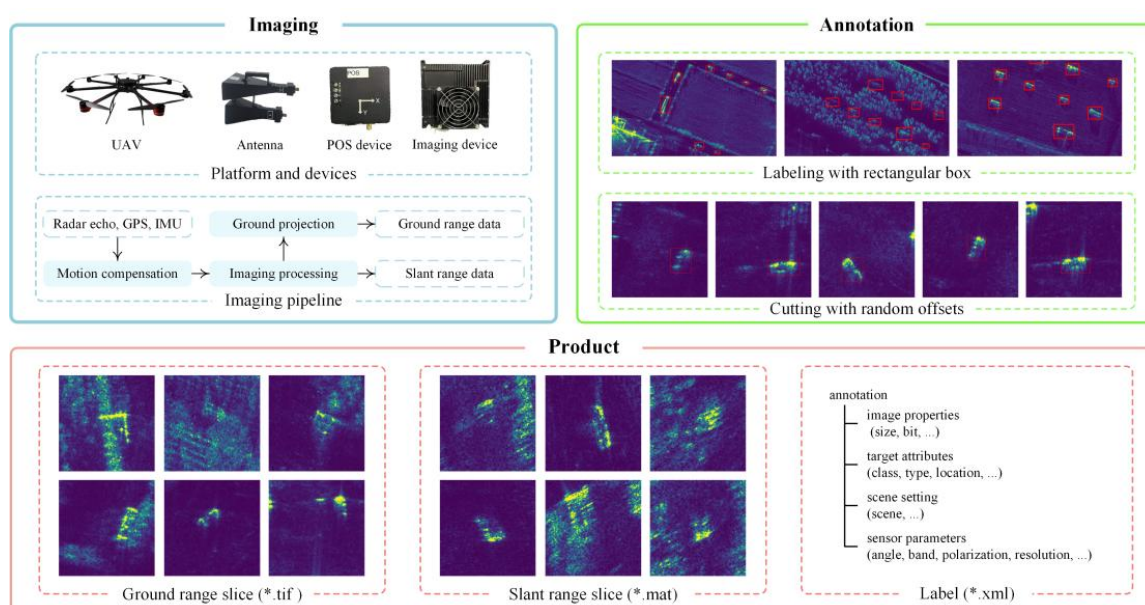


图 2 数据采集流程。通过标注和分割来建立带有相应元数据信息的目标切片。斜距的复数据的距离维在视线方向上，这会导致目标形状在该维度上发生投影变形。因此，还提供地面投影后的地距图像。



## 四、数据集特色

ATRNet-STAR 相比其他 SAR 目标数据集具有**丰富的目标类型、具有挑战性的场景设置、多样化成像条件和不同数据格式**特点。

**类别分布**—如图 4 所示，ATRNet-STAR 数据集包括 4 个类别、21 个子类别和 40 种类型的车辆，且样本均衡。与其他 SAR 目标数据集相比，该数据集具有更强的多样性，为 SAR 目标细粒度识别研究带来了新的严峻挑战。而充足的样本保证了在各种条件下都能获得大量的目标类别，从而促进多样化研究。

**物体尺寸**—图 5 中列出了目标的长度、宽度和高度，具有不同的结构、不同的尺寸和相似的比例。与另一个民用车辆数据集 Gotcha 相比，该数据集具有更广泛的目标类别和尺寸分布。

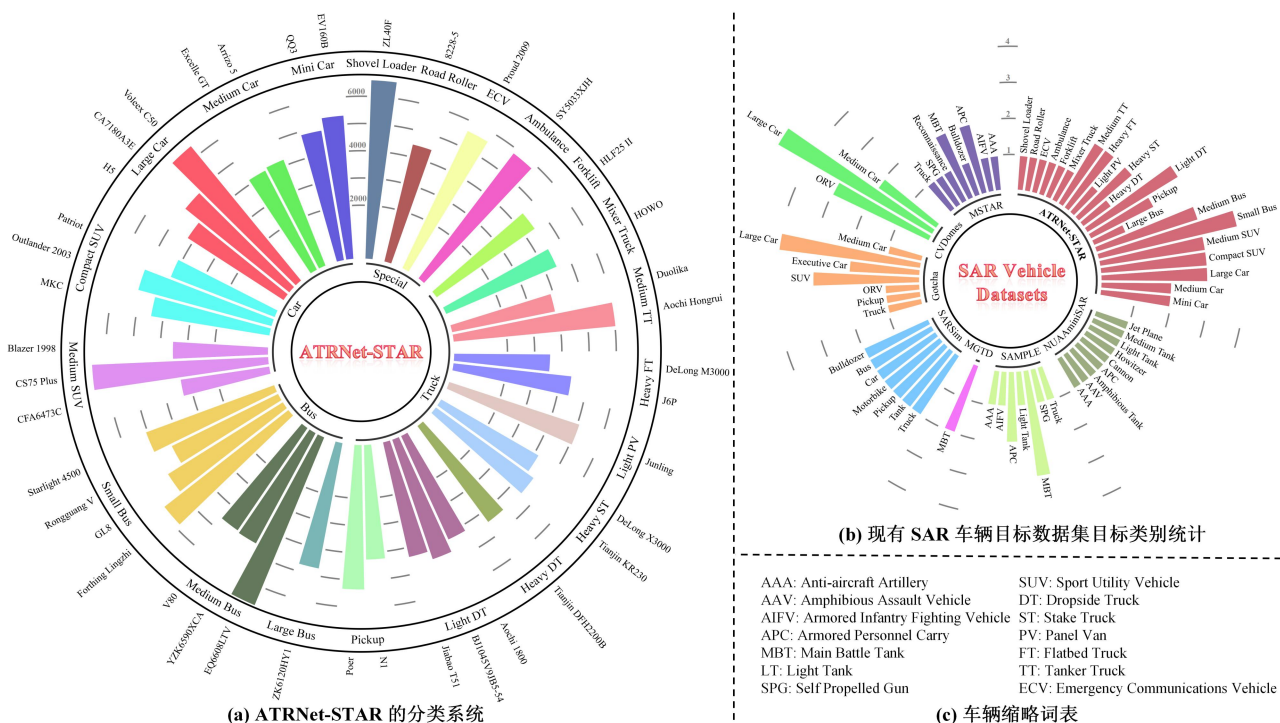


图 5. 目标分类分级系统。对于民用车辆，分类标准以中国和欧洲的车辆分类标准为基础，根据车辆的用途、结构、尺寸和质量。对于军用车辆，采用了 MSTAR 分类系统。（a）ATRNet-STAR 的分类分级系统。包括一个全面的民用车辆系统，涵盖 4 个类别、21 个子类别和 40 个类型。对这 40 种车辆类型的直方图分布进行了绘制，展示了该数据集的广度和深度。其均衡而充足的样本，可满足各种实验和研究的需要。（b）现有 SAR 车辆目标数据集目标类别统计。对 SAR 车辆数据集中的民用和军用车辆类别和类型的数量进行了统计分析。与实测数据集 Gotcha 以及仿真数据集 CVDomes 和 SARSim 相比，该数据集大大提高了 SAR ATR 的民用车辆丰富度。（c）车辆缩略词表。

SAR Imagery	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Original Object										
Class	Mini Car	Mini Car	Medium Car	Medium Car	Large Car	Large Car	Large Car	Compact SUV	Compact SUV	Compact SUV
Brand	Hawtai	Chery	Chery	Buick	Great Wall	Hongqi	Hongqi	Jeep	Mitsubishi	Lincoln
Type	EV160B	QQ3	Arrizo 5	Excelle GT	Voleex C50	CA7180A3E	H5	Patriot	Outlander 2003	MKC
Size (m)	3.52*1.57*1.49	3.56*1.49*1.53	4.57*1.82*1.48	4.58*1.79*1.46	4.67*1.77*1.45	4.79*1.81*1.42	4.98*1.87*1.47	4.42*1.76*1.64	4.55*1.75*1.62	4.55*1.86*1.65
SAR imagery	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Original Object										
Class	Medium SUV	Medium SUV	Medium SUV	Small Bus	Small Bus	Small Bus	Small Bus	Medium Bus	Medium Bus	Medium Bus
Brand	Chevrolet	Chang'an	Changfeng	Buick	Wuling	Buick	Dongfeng	MAXUS	Yangzi	Dongfeng
Type	Blazer 1998	CS75 Plus	CFA6473C	Starlight 4500	Rongguang V	GL8	Forthing Lingzhi	V80	YZK6590XCA	EQ6608LTV
Size (m)	4.65*1.72*1.63	4.67*1.85*1.70	4.80*1.79*1.88	4.39*1.65*1.93	4.41*1.66*1.85	5.10*1.84*1.72	5.13*1.72*1.96	5.70*2.38*2.55	5.95*2.02*2.70	5.99*2.25*2.83
SAR imagery	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Original Object										
Class	Large Bus	Pickup	Pickup	Light DT	Light DT	Light DT	Heavy DT	Heavy ST	Heavy ST	Light PV
Brand	Yutong	Great Wall	Huanghai	FAW	Foton	WAW	Dongfeng	Dongfeng	SHACMAN	JAC
Type	ZK6120HY1	Poer	N1	Jiabao T51	BJ1045V9JB5-54	Aochi 1800	Tianjin DFH2200B	Tianjin KR230	DeLong X3000	Junling
Size (m)	11.67*2.50*3.69	5.60*1.88*1.88	5.35*1.79*1.73	3.99*1.51*1.85	5.44*1.92*2.18	5.99*2.20*2.44	7.47*2.35*2.73	9.00*2.55*3.77	16.85*2.49*3.98	5.45*1.91*2.83
SAR imagery	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Original Object										
Class	Heavy FT	Heavy FT	Medium TT	Medium TT	Mixer Truck	Forklift	Ambulance	ECV	Road Roller	Shovel Loader
Brand	FAW	SHACMAN	WAW	Dongfeng	CNHTC	Hyundai	JINBEI	Lveco	Changlin	SDLG
Type	J6P	DeLong M3000	Aochi Hongmi	Duolika	HOWO	HLF25 II	SY5033XJH	Proud 2009	8228-5	ZL40F
Size (m)	9.00*2.50*2.85	15.20*3.00*3.65	6.50*1.88*2.30	7.10*2.10*2.40	9.75*2.49*3.95	2.25*1.06*2.13	5.07*1.69*1.93	4.90*2.00*2.50	6.46*2.41*3.33	6.84*2.75*2.24

图 6. ATRNet-STAR 中 40 车的示例图像、类别、类型和尺寸。可以看到，SAR 图像中车辆之间的明显区别在于尺寸和结构造成的散射特征变化。因此，根据车辆的尺寸和结构对其进行分类。它们的尺寸长\*宽\*高（length \* width \* height）测量值以米（m）为单位。

**非中心位置**——大多数 SAR 目标分类数据集都将目标置于图像中心或仅包含目标区域。但遥感与人眼视图不同，人眼视图通常以感兴趣的目标为中心，而遥感视图需要搜索在更多干扰下搜索目标。因此随机添加了位置偏移，以增加检测非中心目标位置的识别难度。

**场景中的遮挡**——以往的车辆数据集都是在较为理想环境中采集目标样本，而该数据集在不同场景中系统地采集样本。图 6 显示了不同场景区域的遮挡和停留所产生的不同影响。工厂中建筑物和路边树木的阴影可能会遮挡目标，减少目标散射，而附近林地中的树木遮挡更明显，增加了非目标散射。

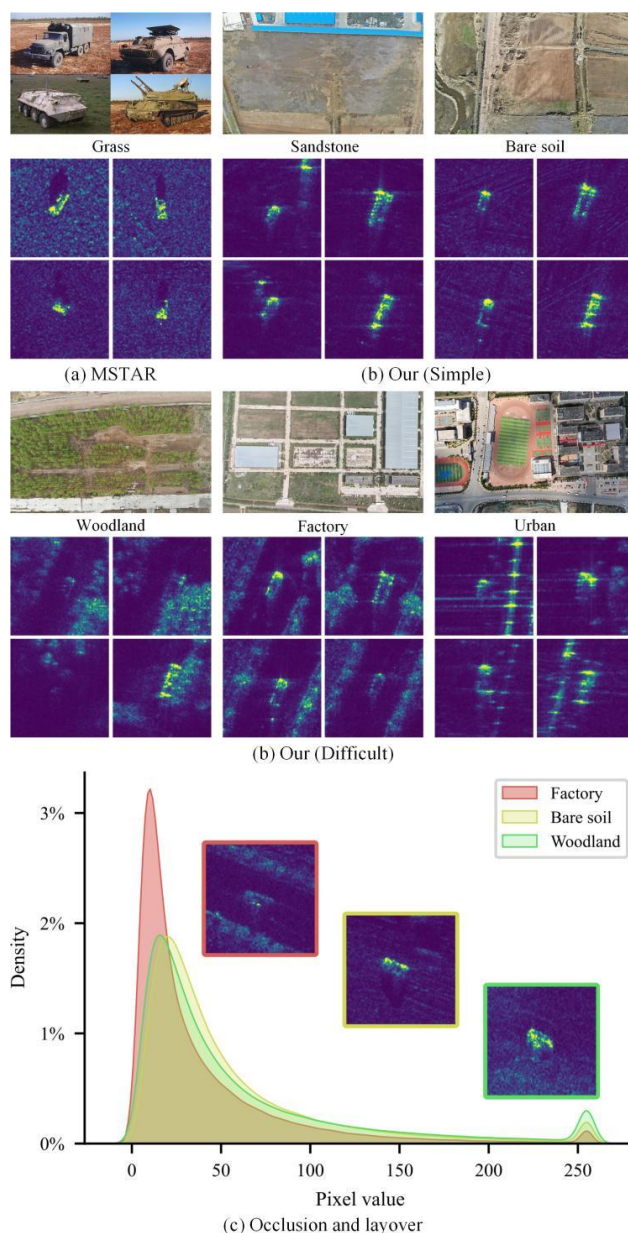


图 7. 不同场景对 SAR 图像中目标特征的影响。目前大多数 SAR 目标分类数据集都是在简单场景中收集的。

(a) MSTAR 是在背景干净的平坦草地场景中采集的，目标与背景之间存在伪相关性。而 (b) ATRNet-STAR 在不同场景的不同位置下采集的样本。从图 (b) 中可以明显看出，同一目标在同一成像角度下会因场景不同而产生明显的特征变化。例如，目标前后较高的其他物体会造成遮挡和分层，降低反射能量，增加非目标散射。此外，复杂场景中的目标阴影也不像 MSTAR 数据那样明显。(c) 遮挡和停留 (Occlusion and layover)。与没有干扰物体的裸土场景相比，工厂和林地场景显示出遮挡和停留现象。遮挡和停留是目标、干扰和成像几何的综合结果，前者中干扰物体的阴影可能会遮挡目标，而后者中的树木可能会增加非目标散射。我们以各场景中同一角度的单一目标 demo 来说明这一问题，这些统计数据来自一辆长安 CSCS 75 Plus SUV (车辆 12) 在 3 个场景的地距图像中的不同图像角度。

**成像角度**—不同的成像角度会显著影响目标散射特性，成像几何关系也会改变场景中的干扰。如图 7 所示，该数据集具有不同的成像角度，并在不同场景中平衡分布于不同的擦地角。然而，由于条带模式的成本限制，方位角采样密度与场景有关。



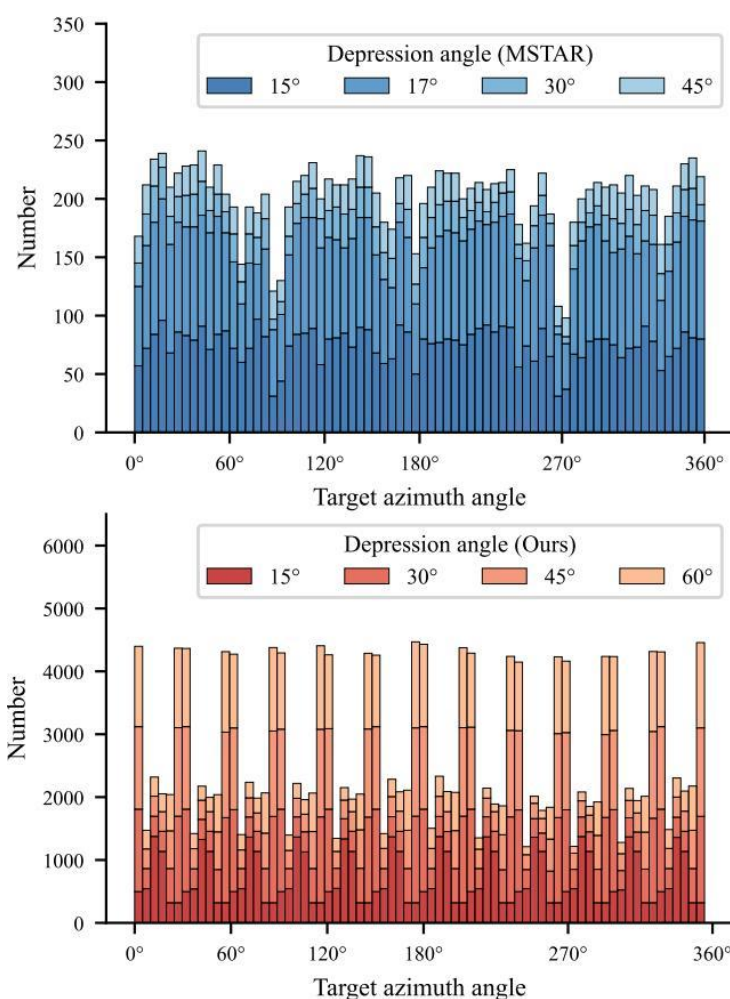


图 8. (a) MSTAR 和 (b) ATRNet-STAR 的采集角度分布情况。MSTAR 数据集主要公开了 17°和 15°下的目标样本，大多数目标类别的角度不完整，而 ATRNet-STAR 数据集为所有目标提供了平衡而全面的角度。不过，由于条带成像的原因，目标方位角的采样间隔较为稀疏。

**波段和极化**—大多数车辆数据集都使用了 MSTAR 数据集的 X 波段和 HH 极化设置。然而，图 8 这表明这种设置并不是唯一需要考虑的，因为波段和极化对目标散射也有明显的影响。该数据集提供了两个波段和四种偏振，以支持对这些传感器参数的讨论。

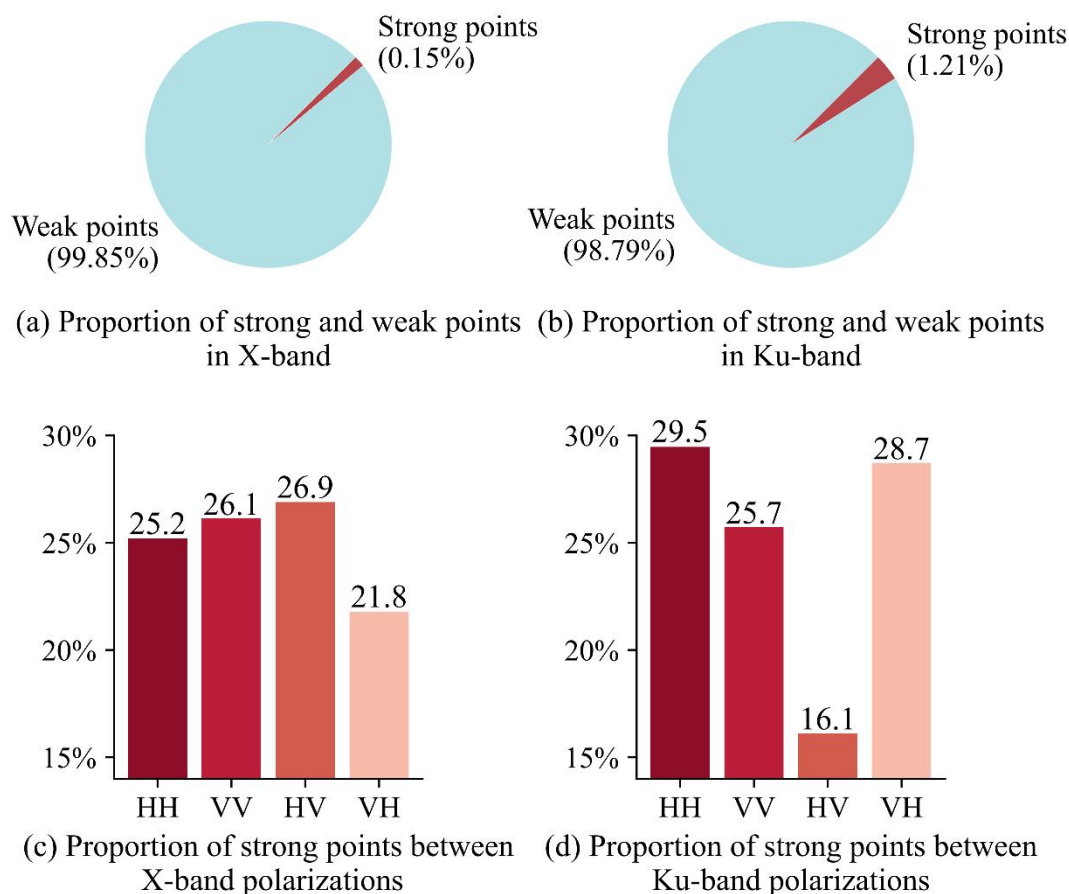


图 9. 不同波段和极化的强弱点比例。可以发现，波段和极化对目标特征有显著的统计影响。统计数据来自沙地场景的目标矩形框区域。像素值大于或等于 128 的点被视为 8 位地距图像的强散射点。

**复数据**—基于复数数据的特征提取是一个研究热点，因此该数据集提供了以.mat 格式存储的斜距坐标的复数据。

**图像位数**—RGB 图像以 8 位格式存储，而 SAR 图像的数据值范围更大。因此，该数据提供了不同的位格式，以研究目标强弱散射点的量化方法。

## 五、数据集价值

基于目标类别、场景、成像条件以及带有详细注释的数据格式的多样性，团队建议将该数据集用于以下 SAR 领域研究。

**鲁棒识别**—该数据集包含多种采集场景，每幅图像都附有详细的采集元数据。因此，可详细讨论 SAR 识别算法在训练集和测试集的采集条件不同时的鲁棒性。如果将来自不同采集条件的数据视为域，那么训练集就可以包含多个域，从而学习域不变特征，即域泛化。

**少样本学习**—除了采集条件的变化外，由于 SAR 采集成本高，训练样本有限这一固有挑战也带来了重要的研究机会。该数据集具有大量的目标类型，可以丰富现有少样本和元学习的任务构建。

**迁移学习**—该数据集包含大量不同的样本，可用于研究预训练模型与不同

SAR 目标数据集的迁移问题。此外，大量的样本还能进一步增加 SAR 目标样本的数量，从而推进自监督学习和基础模型研究。

**增量学习**—该数据集的多样性可支持对域增量学习和类增量学习的研究。域增量学习可以通过动态过程提高算法的鲁棒性，而类增量学习可以逐步提高识别或拒绝新类别的能力。这些增量能力对于开放环境中的 SAR ATR 至关重要。

**物理深度学习**—SAR 图像具有复数相位和极化等独特属性。该数据集提供了多格式数据，有助于利用这些特有属性进行识别研究，而不是仅仅依赖量化的 SAR 幅度图像。此外，详细的元数据也能为 SAR ATR 提供更多信息。

**生成模型**—除了识别任务外，该数据集还能在各种成像条件下可控地生成目标样本，以及在不同采集场景下对目标参数的估计。

团队鼓励研究人员根据本数据集提出新的实验设置和研究课题。如果您有新的想法，请随时联系我们。

## 六、相关链接

题目: ATRNet-STAR: A Large Dataset and Benchmark Towards Remote Sensing Object Recognition in the Wild

论文: <https://arxiv.org/abs/2501.13354>

代码: <https://github.com/waterdisappear/ATRNet-STAR>

年份: 2025

单位: 国防科技大学

作者: 刘永祥、李玮杰、刘丽、周洁、彭渤文、宋娅菲、熊旭颖、杨威、刘天鹏、刘振、黎湘