

[首页](#) > [从业机构和产品查询](#) > [查询结果](#)

### 期刊/期刊社查询

机构名称	计算机科学
单位地址	
刊号	50-1075/TP
联系电话	
类别	期刊
主管单位	重庆西南信息有限公司
主办单位	重庆西南信息有限公司
语种	未知语言

文章目录

- 1 引言
- 2 基于仿真的SAR成像算法验证
  - 2.1 SAR回波数据的生成
  - 2.2 点目标仿真
  - 2.3 分布式场景目标仿真
- 3 实验验证
  - 3.1 SAR回波数据验证
  - 3.2 点目标仿真验证

计算机科学 . 2019,46(S1) 北大核心 CSCD

“ ☆ 分享 打印 提醒 记笔记

# 基于仿真的合成孔径雷达 (SAR) 成像算法验证

曾乐天<sup>1,2</sup> 杨春晖<sup>1</sup> 李强<sup>1</sup> 陈平<sup>1</sup>

1. 工业和信息化部电子第五研究所 2. 华南理工大学计算机科学与工程学院

**摘要:** 成像算法是影响合成孔径雷达 (SAR) 成像性能的关键因素。现有测试方法须借助实际设备、雷达数据和测试环境,且缺乏对成像效果的合理评估,严重影响了测试工作的效率和有效性。针对上述问题,提出了一种基于仿真的SAR成像算法验证方法。首先,采用改进的同心圆法独立生成回波数据,摆脱对实际雷达回波数据的依赖性;然后,结合点目标成像和分布式场景目标成像,采用量化的指标科学评估成像算法的正确性与适用性,提高了算法测试工作的有效性;最后,利用仿真实验验证了所提方法的正确性和有效性。

**关键词:** 合成孔径雷达 (SAR); 仿真; 成像算法验证;

**基金资助:** 中国博士后科学基金资助项目 (2017M622621) 资助;

**专辑:** 信息科技

**专题:** 电信技术

**分类号:** TN957.52

手机阅读 HTML阅读 CAJ下载 PDF下载

下载手机APP  
用APP扫此码  
同步阅读该篇文章

下载: 301 页码: 287-290  
页数: 4 大小: 824K

《软件学报》

学习索引:  
现状与研究展望

点击查看 >>

好文推荐





期刊导航 ▼

刊名(曾用刊名) ▼

请输入检索词

出版来源检索

文献检索 >

📍 期刊导航

👁 关注📡 RSS订阅✉ 投稿🔗 分享到 ▼



## 计算机科学

Computer Science

🏆 核心期刊🏆 JST🏆 CSCD扩展版

### 基本信息

曾用刊名: 计算机应用与应用数学  
主办单位: 重庆西南信息有限公司  
出版周期: 月刊  
ISSN: 1002-137X  
CN: 50-1075/TP  
出版地: 重庆市  
语种: 中文;  
开本: 大16开  
邮发代号: 78-68  
创刊时间: 1974

### 出版信息

专辑名称: 信息科技  
专题名称: 电子信息科学综合  
出版文献量: 20646篇  
总下载次数: 4175961次  
总被引次数: 191414次

### 评价信息

(2020)复合影响因子: 1.511  
(2020)综合影响因子: 0.93  
该刊被以下数据库收录:  
JST 日本科学技术振兴机构数据库(日)(2018)  
CSCD 中国科学引文数据库来源期刊(2021-2022年度)(扩展版)  
北京大学《中文核心期刊要目总览》来源期刊:  
1992年(第一版),1996年(第二版),2000年版,2004年版,2008年版,2011年版,2014年版,2017年版,2020年版  
期刊荣誉:  
中科双效期刊;

收起 ≈



ISSN 1002-137X  
CN 50-1075/TP  
CODEN JKIEBK

# 计算机科学

COMPUTER SCIENCE

ISSN 1002-137X



9 771002 137193

2019

第46卷 第6A期  
Vol.46 No.6A

# 计 算 机 科 学

## (JISUANJI KEXUE)

第 46 卷 第 6A 期 2019 年 6 月

### 目 次

#### 综述研究

- |                            |               |
|----------------------------|---------------|
| 1 分布式消息系统研究综述              | 吴 璨 王小宁 肖海力 等 |
| 6 面向大数据应用的区块链解决方案综述        | 王 震 周 颖 黄赅东 等 |
| 11 视觉群智感知应用综述              | 翟书颖 李 茹 李 波 等 |
| 16 实时嵌入式系统的 WCET 分析与预测研究综述 | 王颖洁 周宽久 李明楚   |
| 23 仿真模型可信度评估研究综述及难点分析      | 杨小军 徐忠富 张 星 等 |
| 30 步态识别现状与发展               | 金 堃 陈少昌       |
| 35 城市空气质量感知方法综述            | 王鹏跃 郭茂祖 赵玲玲 等 |
| 41 屏幕防窃拍方法综述               | 王晓媛 张文涛       |
| 45 面向生产管控的工业大数据研究及应用       | 赵 颖 侯俊杰 于成龙 等 |

#### 智能计算

- |                                 |               |
|---------------------------------|---------------|
| 52 基于改进的人工神经网络对存储系统性能进行预测的方法    | 郭 佳           |
| 56 利用整数线性规划自动抽取多样性关键短语          | 李珊珊 陈 黎 唐裕婷 等 |
| 60 基于投资者情感倾向的 P2P 市场成交量预测模型     | 张 帅 傅湘玲 后 羿   |
| 66 基于 SOM-PNN 神经网络的城市环境风险预测算法研究 | 刘 娜 雷 鸣       |
| 71 一种基于梯度提升回归树的系外行星宜居性预测方法      | 朱维军 王 鑫 钟英辉 等 |
| 74 基于 LSTM 和多特征组合的电影评论专业程度分类    | 吴 璠 李寿山 周国栋   |
| 80 蛋白质结构从头预测多级个体筛选进化算法          | 李章维 郝小虎 张贵军   |
| 85 混沌烟花算法求解旅行商问题                | 蔡延光 陈厚仁 戚远航   |
| 89 基于动态自适应权重和柯西变异的蝙蝠优化算法        | 赵青杰 李 捷 于俊洋 等 |
| 93 基于情绪特定词向量的情绪分类算法             | 张 璐 沈忱林 李寿山   |
| 98 一种求解子图同构问题的改进遗传算法            | 项英倬 魏 强 游 凌 等 |
| 102 基于 D-S 证据理论的直觉模糊群决策信息集结方法   | 臧翰林 李艳玲       |
| 106 一种阶段性策略自适应差分进化算法            | 倪洪杰 彭春祥 周晓根 等 |
| 111 基于注意力机制的命名实体识别模型研究          | 单义栋 王衡军 黄 河 等 |
| 115 不协调目标信息系统中基于改进差别信息树的分布属性约简  | 龙柄翰 徐伟华 张晓燕   |
| 120 动态信息系统中基于序贯三支决策的属性约简方法      | 李 艳 张 丽 陈俊芬   |
| 124 一种高效动态自适应差分进化算法             | 肖 鹏 邹德旋 张 强   |
| 133 压缩感知问题的目标罚函数交替随机搜索方法        | 蒋 敏 孟志青 沈 瑞   |

138 面向燃气调压应用的 RBF 人工智能控制策略

何 进 仲元昌 孙利利 等

142 基于加权 TextRank 的文本关键词提取方法

徐 立

## 模式识别与图像处理

146 基于 AlexNet 模型和自适应对比度增强的乳腺结节超声图像分类

陈思文 刘玉江 刘 冬 等

153 基于移动端的“非受控”物体识别算法的实现

庞 宇 刘 平 雷印杰

158 基于加权质量评价函数的 K-means 图像分割算法

刘长齐 邵 堃 霍 星 等

161 结合 SFS 和双目模型的单幅图像深度估计算法

赵子阳 蒋慕蓉 黄亚群 等

165 基于混合卷积神经网络的静态手势识别

石雨鑫 邓洪敏 郭伟林

169 纹理细节保持的图像插值算法

宋 刚 杜宏伟 王 平等

177 基于多特征融合的彩色图像声呐目标检测

王 晓 邹泽伟 李勃勃 等

182 深度学习在驾驶员安全带检测中的应用

霍 星 费志伟 赵 峰 等

188 一种自适应稀疏表示和非局部自相似性的图像超分辨率重建算法

张福旺 苑会娟

192 基于半监督聚类分析的无人机故障识别

王 楠 孙善武

196 基于深度学习和同生矩阵的 SAR 图像纹理特征检索方法

彭金喜 苏远歧 薛笑荣

200 单帧图像超分辨中的自适应正则约束算法

黎海雪 林海涛 陈 津

205 基于深度特征的足底曲面三角剖分重构

孟文权 武利生

208 基于分数阶傅里叶变换的隧道低对比度裂缝检测

周丽军 刘 晓

211 基于白平衡修正的室外光照估计算法

方 靖 张 锐 崔 巍 等

215 结合卷积神经网络多层特征融合和 K-Means 聚类的服装图像检索方法

侯媛媛 何儒汉 李 敏 等

222 一种联合 Canny 边缘检测和 SPIHT 的图像压缩方法

王亚鸽 康晓东 郭 军 等

226 Delaunay 三角网生成的改进算法

青文星 陈 伟

230 图像超分辨率全局残差递归网络

张 雷 胡博文 张 宁 等

234 一种基于叶脉形状函数的叶片形态模拟改进方法

王 华

239 一种轻量级的车牌字符识别算法

马李昕 李凤坤

242 基于视觉感知的二维线积分卷积矢量场可视化算法

马颖异 李洪平 郭艺峰

246 基于手势几何分布特征的手势识别

韩 笑 张 晶 李月龙

250 基于深度学习的人脸表情迁移方法

刘 剑 金泽群

254 基于卷积神经网络多特征联合的车辆识别模型

刘泽康 孙华志 马春梅 等

259 基于 PCNN 内部活动项的彩色图像增强算法

徐敏敏 寇光杰 马云艳 等

263 基于高斯-椒盐噪声的滤波算法

张旭涛

266 一种基于多特征结合的三维模型检索方法

李月峰

270 基于半直接方法的序列影像直线特征跟踪匹配算法

朱世昕 杨泽民

274 基于 SPCA 和 HOG 的单样本人脸识别算法

韩 旭 湛海云 王 溢 等

279 基于上下文以及多尺度信息融合的目标检测算法

吕培建 陈佳鹏 袁 飞 等

284 基于动静态特征的监控视频火灾检测算法

肖 潇 孔凡芝 刘金华

## 网络与通信

287 基于仿真的合成孔径雷达(SAR)成像算法验证

曾乐天 杨春晖 李 强 等

291 基于改进蚁群算法的 SDN 网络负载均衡研究	郑本立	李跃辉
295 基于博弈论的云资源调度算法	徐 飞	王少昌 杨卫霞
300 中国航空复杂网络的结构特征与应用分析	陈航宇	李慧嘉
305 一种基于能量捕获无线传感网的三维地理机会路由	王晨阳	林 辉
309 一种空间信息网络体系架构的设计	杨 柳	王 闯 王俊毅
312 基于 SDN 的负载均衡网络控制器算法	窦浩铭	姜 慧 陈思光
317 多通信半径与角度修正的凸规划改进定位算法	叶 娟	陈元琰 王 明 等
321 一种 UWB 稀疏阵列天线虚拟中心阵元到达角估计方法	于 涛	郭文强 朱晓章
325 基于权值与平均连接度的导弹组网设计	刘春玲	施玉鑫 张 然
329 基于可靠性调度的 LDPC 码比特翻转译码算法	张 旋	李晓强 燕 莎
332 基于信道评估的 IEEE 802.15.4e TSCH 快速接入方案	许 勇	张晓荣 祝玉军
336 基于协作 MIMO 的 UWSN 三维动态分簇路由算法研究	梁平元	李 杰 彭 娇 等

## 信息安全

343 一种基于 NFV 的检测 OSPF 双 LSA 攻击的方法	李鹏飞	陈 鸣 邓 理 等
348 基于神经网络和 NLP 的软件需求安全分析研究	孙宝华	胡 楠 李东洋
353 JPEG 图像文件头取证	邢文博	杜志淳
358 一种改进的高效的代理盲签名方案	王兴威	侯书会
362 基于混沌和 WEP 的无线传感器网络加密研究		卢政桥
365 基于多步攻击场景的攻击预测方法		胡 倩
370 带 TTP 的多所有者内部权重变化所有权转换协议	甘 勇	王 凯 贺 蕾
375 考虑网络拓扑结构变化的 SIRS 模型的建立与稳定性分析	刘晓东	魏海平 曹 宇
380 数字图像复制粘贴篡改取证	邢文博	杜志淳

## 大数据与数据挖掘

385 基于时空循环卷积网络的城市区域人口流量预测	郭晟楠	林友芳 金文蔚 等
392 基于 GBDT 的电力计量设备故障预测	刘金硕	刘必为 张 密 等
397 异构信息网络中基于元结构的协同过滤算法	王 旭	庞 巍 王 喆
402 带关系属性的空间关键词并行查询处理算法	徐 哲	刘 亮 秦小麟 等
407 基于数据分布特征的线性孪生支持向量机	宋瑞阳	孟 华 龙治国
412 系统数据迁移常见问题及案例分析		陆叶杉
417 时态文本数据流特征流行趋势模型及算法	孟志青	许微微
423 基于随机矩阵理论的高维数据线性判别分析方法	刘 鹏	叶 宾
427 基于领域关联冗余的教务数据关联规则挖掘	陆鑫赟	王兴芬
431 基于灰色预测和径向基网络的人口预测研究	徐丽丽	李 洪 李 劲
436 基于智能电表运行故障数据的纵向分析模型	刘紫熠	刘 卿 王 崇 等
439 基于 Kmeans++ 聚类的朴素贝叶斯集成方法研究	钟 熙	孙祥娥
442 基于 KD-Tree 聚类的社交用户画像建模	万家山	陈 蕾 吴锦华 等

446 Prophet-LSTM 组合模型的销售量预测研究	葛 娜 孙连英 石晓达 等
452 一种基于超图 Markov 链松弛的聚类学习方法	郭 鹏 李仁发 胡 慧
457 基于网格数据中心的密度峰值聚类算法	李晓光 邵 超
461 基于三维特征协同支配的个性化学习资源推荐方法	李浩君 张 征 张鹏威
468 基于 SVD 填充的混合推荐算法	刘晴晴 罗永龙 汪逸飞 等
473 在线学习非负矩阵分解	何孝文 胡一飞 王海平等
478 基于频繁项特征扩展的短文本分类方法	靳一凡 傅颖勋 马 礼
482 一种确定滑动窗口规模的边界距离算法	彭 成 贺 婧 池 昊
488 基于自适应样本权重的矩阵分解推荐算法	石晓玲 陈 芷 杨立功 等
493 基于 Seq2seq 模型的推荐应用研究	陈俊航 徐小平 杨恒泓
497 基于实时 GPS 的公交短时动态调度算法	张澍裕 宫 达 谢 兵 等
502 基于情景感知的用户兴趣推荐模型	李建军 侯 跃 杨 玉
507 面向知识推荐服务的选课决策	张维国

## 综合、交叉与应用

511 考虑软件运行的软-硬件退化系统剩余寿命估计	韩佳佳 张德平
518 非结构网格下稀疏下三角方程求解器众核优化技术研究	倪 鸿 刘 鑫
523 基于多智能体的复杂工程项目进度风险评估仿真建模	颜功达 董 鹏 文昊林
527 基于高斯扩散模型的垃圾焚烧废气排放可视化	郑红波 吴 斌 徐 菲 等
532 基于云计算的地理信息服务技术	张 新 胡晓东 魏嘉伟
537 基于小波降噪的振动传感器数据分析	张阳峰 韦仕鸿 邓娜娜 等
540 面向实体标注的军事语料库建设	周彬彬 张宏军 张 睿 等
547 基于三角模糊多属性决策的企业绩效评估模型	张 彪 董梦雨 樊蓓蓓
550 基于深度学习的智能教学系统的设计与研究	陈晋音 王 桢 陈劲聿 等
555 改进深度确定性策略梯度算法及其在控制中的应用	张浩昱 熊 凯
558 三维全景图像显示专利分析	张 林
562 图像处理在风电叶片法兰端面特征尺寸检测中的应用	韩克堃 胡桂川 任 静 等
566 基于智能可穿戴设备的个性化健康监管平台的构建	贾 宁 李瑛达
571 保留格式加密技术在民航信息系统数据处理中的应用研究	刘 俊 李泽昊 苏国宇 等
577 基于 PCA 的人脸识别系统的设计与改进	李梦潇 姚仕元
580 基于微服务架构的物联网中间件设计	吴斌烽
585 一种巡航导弹动力学仿真通用类库的研究与设计	赵鑫业 杨 光 王义涛 等
589 多协议融合 LPWAN 能源物联网云平台的设计	白若琛 庞成鑫 贾 佳 等
593 聚类分析算法在不确定性决策中的应用	黄海燕 刘晓明 孙华勇 等
598 用户生成性学习资源知识顺序自动识别方法	肖 奎 陈志雄 刘国君 等
601 基于改进型混沌粒子群优化算法的 FIR 高通数字滤波器设计	胡鑫楠
605 基于人工神经网络的钻井机械钻速预测模型的分析与建立	刘胜娃 孙俊明 高 翔 等



# COMPUTER SCIENCE

Vol. 46 No. 6A June 2019

## CONTENTS

### Review

1	Survey on Distributed Message System	WU Can et al.
6	Survey on Blockchain Solution for Big Data	WANG Zhen et al.
11	Survey on Applications of Visual Crowdsensing	ZHAI Shu-ying et al.
16	Survey of WCET Analysis and Prediction for Real-time Embedded Systems	WANG Ying-jie et al.
23	Overview and Difficulties Analysis on Credibility Assessment of Simulation Models	YANG Xiao-jun et al.
30	Status and Development of Gait Recognition	JIN Kun et al.
35	Review on Urban Air Quality Perception Methods	WANG Peng-yue et al.
41	Overview of Preventing Candid Photos Methods for Electronic Screens	WANG Xiao-yuan et al.
45	Study and Application of Industrial Big Data in Production Management and Control	ZHAO Ying et al.

### Intelligent Computing

52	Method of Predicting Performance of Storage System Based on Improved Artificial Neural Network	GUO Jia
56	Automatic Extraction of Diversity Keyphrase by Utilizing Integer Linear Programming	LI Shan-shan et al.
60	Prediction Model of P2P Trading Volume Based on Investor Sentiment	ZHANG Shuai et al.
66	Study of Urban Environmental Risk Prediction Algorithm Based on SOM-PNN	LIU Na et al.
71	Habitability Prediction of Exoplanets Based on GBRT Algorithm	ZHU Wei-jun et al.
74	Movie Review Professionalism Classification Using LSTM and Features Fusion	WU Fan et al.
80	Multi-layer Screening Based Evolution Algorithm for De Novo Protein Structure Prediction	LI Zhang-wei et al.
85	Chaotic Fireworks Algorithm for Solving Travelling Salesman Problem	CAI Yan-guang et al.
89	Bat Optimization Algorithm Based on Dynamically Adaptive Weight and Cauchy Mutation	ZHAO Qing-jie et al.
93	Emotion Classification Algorithm Based on Emotion-specific Word Embedding	ZHANG Lu et al.
98	Improved Genetic Algorithm for Subgraph Isomorphism Problem	XIANG Ying-zhuo et al.
102	Intuitionistic Fuzzy Group Decision Making Information Aggregation Method Based on D-S Evidence Theory	ZANG Han-lin et al.
106	Differential Evolution Algorithm with Stage-based Strategy Adaption	NI Hong-jie et al.
111	Study on Named Entity Recognition Model Based on Attention Mechanism	SHAN Yi-dong et al.
115	Distribution Attribute Reduction Based on Improved Discernibility Information Tree in Inconsistent System	LONG Bing-han et al.
120	Attribute Reduction Method Based on Sequential Three-way Decisions in Dynamic Information Systems	LI Yan et al.
124	Efficient Dynamic Self-adaptive Differential Evolution Algorithm	XIAO Peng et al.
133	Alternate Random Search Algorithm of Objective Penalty Function for Compressed Sensing Problem	JIANG Min et al.
138	RBF Artificial Intelligence Control Strategy for Gas Pressure Regulating Application	HE Jin et al.

**Pattern Recognition & Image Processing**

- 146 AlexNet Model and Adaptive Contrast Enhancement Based Ultrasound Imaging Classification CHEN Si-wen et al.
- 153 Realization of “Uncontrolled” Object Recognition Algorithm Based on Mobile Terminal PANG Yu et al.
- 158 K-means Image Segmentation Algorithm Based on Weighted Quality Evaluation Function LIU Chang-qi et al.
- 161 Single Image Depth Estimation Algorithm Based on SFS and Binocular Model ZHAO Zi-yang et al.
- 165 Static Gesture Recognition Based on Hybrid Convolution Neural Network SHI Yu-xin et al.
- 169 Texture Detail Preserving Image Interpolation Algorithm SONG Gang et al.
- 177 Target Detection in Colorful Imaging Sonar Based on Multi-feature Fusion WANG Xiao et al.
- 182 Application of Deep Learning in Driver’s Safety Belt Detection HUO Xing et al.
- 188 Image Super-resolution Reconstruction Algorithm with Adaptive Sparse Representation and Non-local Self-similarity ZHANG Fu-wang et al.
- 192 UAV Fault Recognition Based on Semi-supervised Clustering WANG Nan et al.
- 196 SAR Image Feature Retrieval Method Based on Deep Learning and Synchronic Matrix PENG Jin-xi et al.
- 200 Self-adapting Regular Constraint Algorithm in Super-resolution of Single-frame Images LI Hai-xue et al.
- 205 Triangulation Reconstruction of Plantar Surface Based on Depth Feature MENG Wen-quan et al.
- 208 Low-contrast Crack Detection Method Based on Fractional Fourier Transform ZHOU Li-jun et al.
- 211 Outdoor Lighting Estimation Algorithm Based on White Balance Correction FANG Jing et al.
- 215 Clothing Image Retrieval Method Combining Convolutional Neural Network Multi-layer Feature Fusion and K-Means Clustering HOU Yuan-yuan et al.
- 222 Image Compression Method Combining Canny Edge Detection and SPIHT WANG Ya-ge et al.
- 226 Delaunay Triangular Mesh Optimization Algorithm QING Wen-xing et al.
- 230 Global Residual Recursive Network for Image Super-resolution ZHANG Lei et al.
- 234 Improved Method for Blade Shape Simulation Based on Vein Shape Function WANG Hua
- 239 Light-weight Recognition Algorithm of Vehicle License Plate Characters MA Li-xin et al.
- 242 Visualization of Wind Vectors Using Line Integral Convolution with Visual Perception MA Ying-yi et al.
- 246 Gesture Recognition Based on Hand Geometric Distribution Feature HAN Xiao et al.
- 250 Facial Expression Transfer Method Based on Deep Learning LIU Jian et al.
- 254 Vehicle Recognition Model Based on Multi-feature Combination in Convolutional Neural Network LIU Ze-kang et al.
- 259 Color Image Enhancement Algorithm Based on PCNN Internal Activities XU Min-min et al.
- 263 Filtering Algorithm Based on Gaussian-salt and Pepper Noise ZHANG Xu-tao
- 266 3D Retrieval Algorithm Based on Multi-feature LI Yue-feng
- 270 Line Tracking and Matching Algorithm Based on Semi-direct Method in Image Sequence ZHU Shi-xin et al.
- 274 Face Recognition Using SPCA and HOG with Single Training Image Per Person HAN Xu et al.
- 279 Object Detection Algorithm Based on Context and Multi-scale Information Fusion LV Pei-jian et al.
- 284 Monitoring Video Fire Detection Algorithm Based on Dynamic Characteristics and Static Characteristics XIAO Xiao et al.

**Network & Communication**

- 287 Validation of Synthetic Aperture Radar(SAR) Imaging Algorithm Based on Simulation ZENG Le-tian et al.

291	Study on SDN Network Load Balancing Based on IACO	ZHENG Ben-li et al.
295	Cloud Resource Scheduling Algorithm Based on Game Theory	XU Fei et al.
300	Analysis of Characteristics and Applications of Chinese Aviation Complex Network Structural	CHEN Hang-yu et al.
305	Three-dimensional Geographic Opportunistic Routing Based on Energy Harvesting Wireless Sensor Networks	WANG Chen-yang et al.
309	System Design of Space Information Network Architecture	YANG Liu et al.
312	SDN-based Network Controller Algorithm for Load Balancing	DOU Hao-ming et al.
317	Optimized Convex Localization Algorithm Using Multiple Communication Radius and Angle Correction	YE Juan et al.
321	UWB Sparse Array Antenna Virtual Center Element Arrival Angle Estimation Method	YU Tao et al.
325	Design of Missile Networking Based on Weights and Average Connectivity	LIU Chun-ling et al.
329	Reliability-based Scheduling for Bit-flipping Decoding Algorithm of LDPC Codes	ZHANG Xuan et al.
332	High Speed Joining Scheme Based on Channel Evaluation for IEEE 802.15.4e TSCH	XU Yong et al.
336	Research on 3D Dynamic Clustering Routing Algorithm Based on Cooperative MIMO for UWSN	LIANG Ping-yuan et al.

## Information Security

343	NFV Based Detection Method Against Double LSAs Attack on OSPF Protocol	LI Peng-fei et al.
348	Analysis Research of Software Requirement Safety Based on Neural Network and NLP	SUN Bao-hua et al.
353	JPEG Image File Header Forensics	XING Wen-bo et al.
358	Improved Efficient Proxy Blind Signature Scheme	WANG Xing-wei et al.
362	Encryption of Wireless Sensor Networks Based on Chaos and WEP	LU Zheng-qiao
365	Attack Prediction Method Based on Multi-step Attack Scenario	HU Qian
370	Ownership Transfer Protocol for Multi-owners Internal Weight Changes with Trusted Third Party	GAN Yong et al.
375	Modeling and Stability Analysis for SIRS Model with Network Topology Changes	LIU Xiao-dong et al.
380	Digital Image Forensics for Copy and Paste Tampering	XING Wen-bo et al.

## Big Data & Data Mining

385	Citywide Crowd Flows Prediction Based on Spatio-Temporal Recurrent Convolutional Networks	GUO Sheng-nan et al.
392	Fault Prediction of Power Metering Equipment Based on GBDT	LIU Jin-shuo et al.
397	MetaStruct-CF: A Meta Structure Based Collaborative Filtering Algorithm in Heterogeneous Information Networks	WANG Xu et al.
402	Distributed Spatial Keyword Query Processing Algorithm with Relational Attributes	XU Zhe et al.
407	Linear Twin Support Vector Machine Based on Data Distribution Characteristics	SONG Rui-yang et al.
412	Common Issues and Case Analysis of System Data Migration	LU Ye-shan
417	Temporal Text Data Stream Feature Trend Model and Algorithm	MENG Zhi-qing et al.
423	Linear Discriminant Analysis of High-dimensional Data Using Random Matrix Theory	LIU Peng et al.
427	Educational Administration Data Mining of Association Rules Based on Domain Association Redundancy	LU Xin-yun et al.
431	Research on Population Prediction Based on Grey Prediction and Radial Basis Function Network	XU Li-li et al.
436	Vertical Analysis Based on Fault Data of Running Smart Meter	LIU Zi-yi et al.
439	Research on Naive Bayes Ensemble Method Based on Kmeans++ Clustering	ZHONG Xi et al.
442	Persona Based Social User Modeling Using KD-Tree	WAN Jia-shan et al.
446	Research on Sales Forecast of Prophet-LSTM Combination Model	GE Na et al.

452 Clustering Method Based on Hypergraph Morkov Relaxation	GUO Peng et al.
457 Density Peak Clustering Algorithm Based on Grid Data Center	LI Xiao-guang et al.
461 Personalized Learning Resource Recommendation Method Based on Three-dimensional Feature Cooperative Domination	LI Hao-jun et al.
468 Hybrid Recommendation Algorithm Based on SVD Filling	LIU Qing-qing et al.
473 Online Learning Nonnegative Matrix Factorization	HE Xiao-wen et al.
478 Method of Short Text Classification Based on Frequent Item Feature Extension	JIN Yi-fan et al.
482 Boundary Distance Algorithm for Determining Sliding Window Size	PENG Cheng et al.
488 Matrix Factorization Recommendation Algorithm Based on Adaptive Weighted Samples	SHI Xiao-ling et al.
493 Research on Recommendation Application Based on Seq2seq Model	CHEN Jun-hang et al.
497 Bus Short-term Dynamic Dispatch Algorithm Based on Real-time GPS	ZHANG Shu-yu et al.
502 User Interest Recommendation Model Based on Context Awareness	LI Jian-jun et al.
507 Decision Making of Course Selection Oriented by Knowledge Recommendation Service	ZHANG Wei-guo

## Interdiscipline & Application

511 Remaining Useful Life Estimation Model for Software-Hardware Deteriorating Systems with Software Operational Conditions	HAN Jia-jia et al.
518 Many-core Optimization for Sparse Triangular Solver Under Unstructured Grids	NI Hong et al.
523 Simulation Modeling of Complex Engineering Project Schedule Risk Assessment Based on Multi Agent	YAN Gong-da et al.
527 Visualization of Solid Waste Incineration Exhaust Emissions Based on Gaussian Diffusion Model	ZHENG Hong-bo et al.
532 Cloud Computing Based Geographical Information Service Technologies	ZHANG Xin et al.
537 Vibration Sensor Data Analysis Based on Wavelet Denoising	ZHANG Yang-feng et al.
540 Construction of Military Corpus for Entity Annotation	ZHOU Bin-bin et al.
547 Enterprise Performance Evaluation Model Based on Triangular Fuzzy Multi-attribute Decision Making	ZHANG Biao et al.
550 Design and Research on Intelligent Teaching System Based on Deep Learning	CHEN Jin-yin et al.
555 Improved Deep Deterministic Policy Gradient Algorithm and Its Application in Control	ZHANG Hao-yu et al.
558 Patent Analysis on Picture Display of Three Dimensional Panorama	ZHANG Lin
562 Application of Image Processing in Feature Size Detection of Wind Turbine Blade's Flange Face	HAN Ke-kun et al.
566 Construction of Personalized Health Monitoring Platform Based on Intelligent Wearable Device	JIA Ning et al.
571 Application of Reserved Format Encryption Technology in Information Processing of Civil Aviation Information System	LIU Jun et al.
577 Design and Improvement of Face Recognition System Based on PCA	LI Meng-xiao et al.
580 Design of IoT Middleware Based on Microservices Architecture	WU Bin-feng
585 Research and Design of General Class Library for Cruise Missile Dynamic Simulation	ZHAO Xin-ye et al.
589 Design of Cloud Platform for Energy Internet of Things Based on LPWAN Multi-protocol	BAI Ruo-chen et al.
593 Application of Clustering Analysis Algorithm in Uncertainty Decision Making	HUANG Hai-yan et al.
598 Approach for Discovering Prerequisite Relationships Between User Generated Learning Resources	XIAO Kui et al.
601 FIR High Pass Digital Filter Design Based on Improved Chaos Particle Swarm Optimization Algorithm	HU Xin-nan
605 Analysis and Establishment of Drilling Speed Prediction Model for Drilling Machinery Based on Artificial Neural Networks	LIU Sheng-wa et al.



中国计算机学会会刊  
中国期刊方阵双效期刊  
中国科学引文数据库 (CSCD) 来源期刊  
《中文核心期刊要目总览》( GCJC) 收录期刊  
中国科技核心期刊  
RCCSE 中国核心学术期刊  
中文科技期刊数据库收录期刊  
中国核心期刊( 遴选 ) 数据库收录期刊  
中国学术期刊网络出版总库收录期刊  
美国剑桥科学文摘 ( CSA ) 收录期刊  
美国乌利希期刊指南 ( UPD ) 收录期刊  
日本科学技术振兴机构数据库 ( JST ) 收录期刊  
2017 中国国际影响力优秀学术期刊  
重庆市出版专项资金资助期刊

## 计 算 机 科 学

1974 年 1 月创刊  
第 46 卷 第 6A 期  
2019 年 6 月 15 日出版

## COMPUTER SCIENCE

Started in January,1974  
Vol.46 No.6A  
Publication Date:June 15th,2019

主管 / 主办: 重庆西南信息有限公司  
(原科技部西南信息中心)  
编辑出版:《计算机科学》编辑部  
重庆市渝北区洪湖西路 18 号  
邮 政 编 码: 401121  
电 话: (023) 63500828  
E-mail : jsjcx12@163.com  
社 长: 陈 伟  
总 编: 徐书令  
主 编 助 理: 李亚辉  
印 刷: 重庆紫石东南印务有限公司  
总 发 行: 重庆市邮政局  
国外总发行: 中国国际图书贸易总公司  
(北京 399 信箱)  
邮 发 代 号: 78-68  
国 外 代 号: 6210-MO

**Competent Department:** Chongqing Southwest Information Co.,Ltd.  
(Southwest Information Center of Ministry of  
Science and Technology)  
**Edited & Published by:** Editorial Board of Computer Science  
**Address:** 18#,Honghu West Rd.,Yubei District,Chongqing,China  
**Post Code:** 401121  
**Tel:** (023)63500828  
**Website:** <http://www.jsjcx.com>  
**Proprieter:** CHEN Wei  
**Editor-in-chief:** XU Shu-ling  
**Assistant Editor-in-chief:** LI Ya-hui  
**Printed by:** Chongqing Purplestone Southeast Printing Co.,Ltd.  
**Distributor:** Post Office,Chongqing  
**Overseas Distributor:** China International Book Trading Corporation  
(P.O.Box 399,Beijing,China)  
6210-MO

ISSN 1002-137X CN 50-1075/TP

# 基于仿真的合成孔径雷达(SAR)成像算法验证

曾乐天<sup>1,2</sup> 杨春晖<sup>1</sup> 李 强<sup>1</sup> 陈 平<sup>1</sup>

(工业和信息化部电子第五研究所 广州 510610)<sup>1</sup> (华南理工大学计算机科学与工程学院 广州 510640)<sup>2</sup>

**摘 要** 成像算法是影响合成孔径雷达(SAR)成像性能的关键因素。现有测试方法须借助实际设备、雷达数据和测试环境,且缺乏对成像效果的合理评估,严重影响了测试工作的效率和有效性。针对上述问题,提出了一种基于仿真的 SAR 成像算法验证方法。首先,采用改进的同心圆法独立生成回波数据,摆脱对实际雷达回波数据的依赖性;然后,结合点目标成像和分布式场景目标成像,采用量化的指标科学评估成像算法的正确性与适用性,提高了算法测试工作的有效性;最后,利用仿真实验验证了所提方法的正确性和有效性。

**关键词** 合成孔径雷达(SAR),仿真,成像算法验证

中图分类号 TP311 文献标识码 A

## Validation of Synthetic Aperture Radar(SAR) Imaging Algorithm Based on Simulation

ZENG Le-tian<sup>1,2</sup> YANG Chun-hui<sup>1</sup> LI Qiang<sup>1</sup> CHEN Ping<sup>1</sup>

(The Fifth Electronic Research Institute of MIIT, Software Quality Engineering Research Center, Guangzhou 510610, China)<sup>1</sup>

(School of Computer Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)<sup>2</sup>

**Abstract** Imaging algorithm is crucial to the performance of the synthetic aperture radar (SAR). Existing testing method not only needs to use real equipment, radar data and testing environment, but also lacks a reasonable evaluation for the imaging result, which greatly affect the efficiency and effectiveness of the software testing. To solve these problems, this paper presented a novel testing method based on simulation for the validation of SAR imaging algorithms. Firstly, the echo data are generated independently via improved concentric circle method, eliminating the real echo data constraint. Then, the correctness and feasibility of imaging algorithms are evaluated scientifically by quantitative indicators combined with point target imaging as well as distributed scene target imaging. The proposed method greatly improves the effectiveness of the testing work. Finally, the correctness and the effectiveness of the proposed method were verified by simulation experiments.

**Keywords** Synthetic aperture radar(SAR), Simulation, Validation of imaging algorithm

## 1 引言

合成孔径雷达(SAR)<sup>[1-3]</sup>通过发射宽频带线性调频信号获得距离向高分辨率,通过较长的方位积累时间获得方位向高分辨率,从而得到关于照射场景电磁信息的高分辨二维 SAR 图像。成像算法包括频域成像算法和时域成像算法,是 SAR 信号处理模块的核心和关键。对成像算法进行测试<sup>[4-7]</sup>是保障 SAR 算法性能、提高 SAR 系统可靠性、促进 SAR 系统效能正常发挥的重要手段。

目前,针对 SAR 成像算法测试的研究还较少。在实际工作中,测试人员常借助实际设备、雷达数据和测试环境,而软件测试、研制调试往往同步进行,影响了测试工作的效率,造成测试不能按节点完成,且测试、开发混用,无法确保测试工作的独立性<sup>[8-11]</sup>。此外,在进行系统测试时,测试人员往往通过直观观察目标成像结果来判断算法的成像性能,且对于最终 SAR 图像的分辨率、聚焦效果、聚焦位置等信息缺乏有效

的测试手段,难以做出科学合理的评价,致使许多情况下只能对 SAR 成像算法进行一定程度的验证,对算法的测试不够深入,降低了测试工作的有效性。

针对上述问题,本文从 SAR 回波数据仿真<sup>[12-13]</sup>、点目标仿真、分布式场景目标仿真 3 个方面来验证小斜视 SAR 成像算法的正确性,提高测试工作的独立性和有效性。首先,采用改进的同心圆法<sup>[12-13]</sup>快速生成所需的回波数据,摆脱对实际雷达回波数据的依赖性。然后,通过点目标仿真,分析不同算法在实现过程中可能出现的问题;结合分布式场景目标仿真,以进一步发掘点目标仿真未发现的问题。采用科学、量化的评价指标对 SAR 成像结果的性能做出合理评价,而不再仅通过观察的方式来粗略估计成像结果的性能,提高了测试工作的有效性。最后,通过仿真实验验证了所提方法的正确性和有效性。

## 2 基于仿真的 SAR 成像算法验证

本文提出一种基于仿真的 SAR 成像算法验证方法,从

本文受中国博士后科学基金资助项目(2017M622621)资助。

曾乐天(1988—),男,博士,工程师,主要研究方向为雷达成像、雷达软件测试、质量与可靠性,E-mail:zengletian@cepri.com(通信作者);杨春晖(1965—),女,博士,研究员级高级工程师,主要研究方向为质量与可靠性;李 强(1990—),男,硕士,工程师,主要研究方向为质量与可靠性;陈 平(1985—),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为质量与可靠性。

SAR 回波数据生成、点目标仿真、分布式场景目标仿真 3 个方面对小斜视 SAR 成像算法的性能进行验证。其中,小斜视表示斜视角小于  $10^\circ$ ,在斜平面<sup>[1,3]</sup>上,波束视线方向与垂直于速度的方向之间的夹角为斜视角。

### 2.1 SAR 回波数据的生成

点目标回波生成是基于简单场景模型定义的,只需给出场景中对对应点的坐标,而不考虑该点目标的电磁特性以及几何位置关系。分布式场景目标是指场景目标数达到几万甚至几百万的点目标集合,其回波生成需要考虑各点目标的电磁散射特性及相互的几何位置关系,且能够反映场景特性和 SAR 图像之间的内在联系,大大扩展了仿真研究的领域<sup>[13]</sup>。雷达软件的测试,需要相应的测试环境和测试数据。在实际测试工作中,常需借助实际的调试环境和雷达回波数据,而软件测试、研制调试往往同步进行,造成测试不能按节点完成,且测试、开发混用,不能保证测试的独立性。为了对 SAR 成像算法进行有效验证,摆脱以往测试工作依赖实际 SAR 回波数据这一限制,可通过仿真生成回波信号。本文拟采用改进的同心圆算法来极大地提高回波仿真的运算效率,以精确、高效地生成点目标回波和分布式场景目标回波<sup>[12-13]</sup>。

传统 SAR 点目标回波仿真方法(时域逐点扫描法)<sup>[12]</sup>的计算量会随着点目标数量的增加而快速增加,在实时性上存在问题。改进的同心圆算法,是指在同心圆的处理基础上对采样点的幅度值进行多倍插值处理,从而得到点目标的真实主瓣峰值,并将主瓣峰值点对应新的斜距作为计算点目标相位的新斜距历程。虽然插值操作会带来额外的计算量,但整体运算效率还是非常高的。回波仿真是验证成像算法的基础,只有回波仿真正确了,才能利用回波数据对成像算法进行有效验证。

鉴于后向投影(BP)算法的成像结果具有无畸变、大景深等优点,本文采用 BP 算法对目标回波数据进行处理,并根据成像结果判定 SAR 回波仿真数据的正确性。点目标成像结果的性能验证将在 2.2 节详细介绍。分布式场景目标的成像性能可从图像的整体性能和局部场景中某一强散射目标的成像结果两个方面进行分析。图像的熵值和对比度是反映图像整体聚焦性能的指标,熵值越小,图像的聚焦效果越好;对比度越大,图像的聚焦效果越好。局部场景中强散射目标的成像性能将在 2.3 节中详细介绍。

### 2.2 点目标仿真

在无运动误差的情况下,对于 SAR 成像算法的验证,点目标仿真具有非常重要的作用和意义,能够有效地发现问题,并准确反映算法可能存在的缺陷。此时,可在算法程序中设置节点,待算法进行特定操作和处理后,根据点目标的处理效果进行初步判断。

对时域成像算法的验证,需注意成像网格的间距在数值上必须小于最终 SAR 图像在距离向和方位向的分辨率,且成像网格在距离向和方位向的间隔分别与图像距离向理论分辨率 and 方位向理论分辨率相差多少并无定论,而是需要进行多次的取值尝试。同时,需要考虑成像网格覆盖的成像场景范围,确保所有点目标均被包含在成像场景中且位置误差较小。

对频域算法的验证,应确保信号的二维频谱不能发生混叠,即信号的多普勒带宽必须小于脉冲重复频率(PRF),尤其是在进行插值操作时,需要注意插值前后的信号不能发生距离向和方位向的信号频谱混叠现象。由于插值后信号相应维

的采样频率发生变化,图像像素的间隔也会发生变化,需重新计算插值后的图像像素间隔和成像场景范围。对有效成像场景范围的确定,除了通过在远离场景中心的位置布置点目标,对成像效果进行评估之外,还可根据一些常用算法对有效成像场景范围的计算公式进行验证,这就需要对算法有一定程度的了解,并结合实际情况对算法的近似程度进行测算。

点目标成像性能的评估主要包括两个方面:1)点目标的聚焦效果;2)点目标的聚焦位置。无论是采用频域算法还是时域算法,场景中心点的聚焦效果都是标准的。在小斜视 SAR 成像模式下,点目标的仿真结果在距离向和方位向均呈现出 sinc 函数的形状,其质量指标包括脉冲响应宽度(IRW)、归一化峰值旁瓣比(PSLR)和归一化积分旁瓣比(ISLR)。其中,IRW 是指冲激响应函数的 3 dB 主瓣宽度,即图像分辨率;PSLR 表示最大旁瓣能量与主瓣能量之比,以分贝(dB)表示,即:

$$PSLR = 10 \lg [P_{\text{side1}} / P_{\text{main}}] \quad (1)$$

其中, $P_{\text{side1}}$ 表示第一副瓣能量,即最大旁瓣能量; $P_{\text{main}}$ 表示主瓣能量。ISLR 表示所有旁瓣能量与主瓣能量之比,即:

$$ISLR = 10 \lg [(P_{\text{total}} - P_{\text{main}}) / P_{\text{main}}] \quad (2)$$

其中, $P_{\text{total}}$ 表示总能量。在小斜视 SAR 成像模式下,脉冲响应函数(IRF)是关于主瓣中心线对称的,归一化 PSLR 和归一化 ISLR 的理论值分别为 -13.25 dB 和 -9.98 dB 左右,变化范围为  $\pm 0.2$  dB。对于场景中心点目标,如果其 IRF 非主瓣中心线对称或者归一化 PSLR、归一化 ISLR 严重偏离理论值,则说明成像算法必然存在问题。

### 2.3 分布式场景目标仿真

在点目标仿真未发现问题的基础上,通常进行分布式场景目标仿真,以进一步发掘点目标仿真未发现的、可能隐藏的深层次问题。分布式场景目标仿真可看作点目标仿真的补充,其验证主要从最终 SAR 图像的整体聚焦效果和场景中强散射点的聚焦效果两个方面来判定。

对于分布式场景目标仿真结果,需计算最终 SAR 图像的熵值与对比度,并分别与原 SAR 图像的熵值和对比度进行比较。一般来说,原 SAR 图像与最终 SAR 图像的熵值之间的差别、对比度之间的差别越小,分布式场景目标仿真效果越好。

对于最终 SAR 图像中含强散射点的场景,通过选取相应散射点所在距离单元的部分区域进行插值操作,得到该散射点的方位向 IRF,计算 IRW、归一化 PSLR 以及归一化 ISLR 的数值,并与原 SAR 图像对应散射点的 IRW、归一化 PSLR、归一化 ISLR 进行比较。相应数值之间的差别越小,说明分布式场景目标仿真中强散射点的聚焦性能越好。

## 3 实验验证

本节通过仿真实验分别对 SAR 回波数据生成、点目标仿真、分布式场景目标仿真结果进行定量分析和评价,以验证本文所提测试方法的正确性和有效性。

### 3.1 SAR 回波数据验证

为了验证 SAR 回波数据仿真的正确性,我们设计了分布式场景目标仿真实验。

图 1 表示原始 SAR 图像,根据该图的灰度信息和表 1 所列仿真参数,采用改进同心圆法生成分布式场景目标回波数据,距离向点数和方位向点数分别为 1638 和 2500(垂直方向

表示距离向,水平方向表示方位向),成像场景范围为  $369\text{m} \times 565\text{m}$  (距离向  $\times$  方位向)。为验证该回波数据的正确性,采用 BP 算法进行处理,所得分布式场景目标成像结果如图 2 所示。

表 1 仿真参数 1

参数	波长/cm	带宽/MHz	脉冲重复频率/Hz	斜距/km
数值	3.13	360	1000	12



图 1 原始 SAR 图像



图 2 采用改进同心圆法所得分布式场景目标的成像结果

经测算,图 2 的成像场景范围为  $369\text{m} \times 565\text{m}$  (距离向  $\times$  方位向)。图 1 的熵值为 14.38,对比度为 0.77;图 2 的熵值为 14.39,对比度为 0.76。显然,采用改进同心圆法生成回波的成像结果与原始 SAR 图像的成像场景范围相同,且熵值和对比度均较为接近。因此,采用改进同心圆法生成分布式场景目标的效果良好。

### 3.2 点目标仿真验证

根据表 2 中的仿真参数,按图 3(a)所示圆周形状在地平面上布置点目标,圆的半径为  $100\text{m}$ ,6 个点目标均匀分布在圆周上,位于圆心的点目标为场景中心点  $O$ 。利用线性调频变标算法(CSA)<sup>[14]</sup>对点目标回波进行成像处理,得到图 3(b)所示的点目标成像结果。点目标距离向分辨率和方位向分辨率的理论值分别为  $0.83\text{m}$  和  $0.74\text{m}$ 。

表 2 仿真参数 2

参数	波长/cm	带宽/MHz	脉冲重复频率/Hz	斜视角/(°)
数值	3.13	180	1667	5

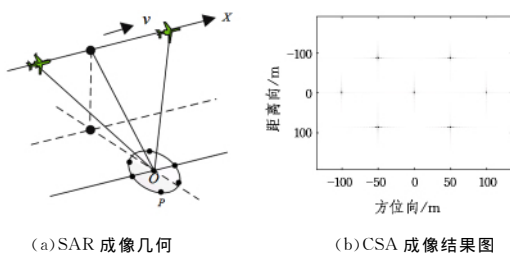
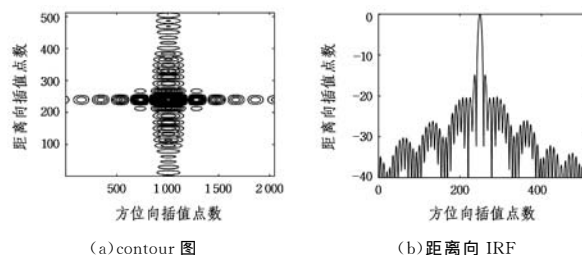
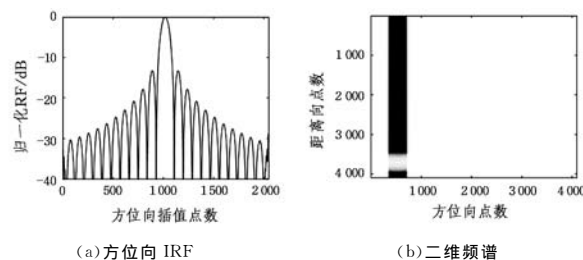


图 3 SAR 成像几何和 CSA 成像结果图

为了验证 CSA 的成像性能,首先选取场景中心点  $O$ ,对其成像结果进行二维插值操作,得到两个点目标的等高线(contour)图、距离向 IRF 和方位向 IRF,分别如图 4(a)、图 4(b)和图 5(a)所示。显然,场景中心点  $O$  的聚焦效果不佳,且

距离向 IRF 异常。经计算,可得  $O$  点距离向的归一化 PSLR 和归一化 ISLR 分别为  $-14.85\text{dB}$  和  $-9.12\text{dB}$ 。在频域算法中,信号的距离脉压一般不存在问题,信号的二维频谱在频域成像中占有很重要的地位。对成像结果进行进一步分析,我们画出  $O$  点二维频谱图,如图 5(b)所示, $O$  点的二维频谱在距离向发生混叠。

图 4 场景中心点  $O$  的 contour 图和距离向 IRF图 5 场景中心点  $O$  的方位向 IRF 和二维频谱

根据表 2,信号的距离向采样率  $F_s$  和信号带宽  $B$  分别为  $200\text{MHz}$  和  $180\text{MHz}$ ,  $F_s/B \approx 1.1$ ,参数设置合理。为避免信号的二维频谱在距离向发生混叠,需要在距离向操作之前对信号进行距离升采样处理,以信号处理的方法代替实际系统距离向采样频率的提高。图 6(a)、图 7(a)分别给出了在距离频域进行 1 倍补零操作后,场景中心点  $O$  和场景边缘点  $P$  的信号二维频谱,相应的点目标 contour 图分别如图 6(b)和图 7(b)所示。可见,经线性调频变标操作,信号的二维频谱不再在距离向发生混叠。此时, $O$  点和  $P$  点的距离向、方位向归一化 PSLR、归一化 ISLR 和 IRW 分别如表 3、表 4 所列,可见距离向和方位向的归一化 PSLR、归一化 ISLR 均在标准值附近,点目标聚焦效果良好。

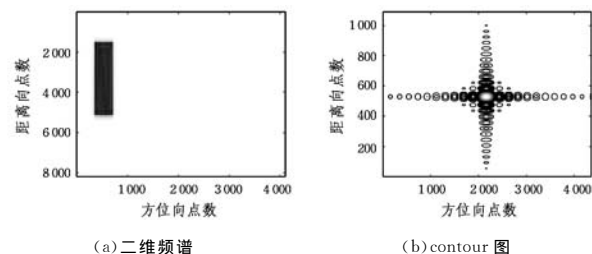
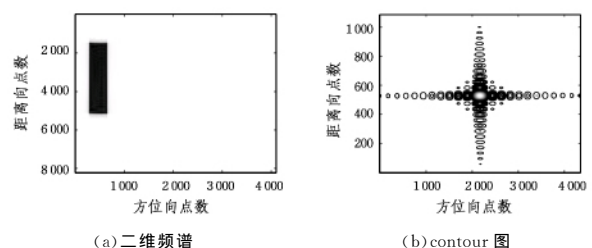
图 6 升采样后场景中心点  $O$  的二维频谱和 contour 图图 7 升采样后场景边缘点  $P$  的二维频谱和 contour 图



表 3 点目标距离向成像质量分析

指标	归一化 PSLR/dB	归一化 ISLR/dB	IRW/m
O 点	-13.27	-10.01	0.70
P 点	-13.24	-10.01	0.70

表 4 点目标方位向成像质量分析

指标	归一化 PSLR/dB	归一化 ISLR/dB	IRW/m
O 点	-13.26	-10.11	0.65
P 点	-13.26	-10.11	0.64

**结束语** 该文提出了针对小斜视 SAR 成像算法的验证方法,从 SAR 回波数据生成、点目标仿真和分布式场景目标仿真 3 个方面验证了小斜视 SAR 成像算法的正确性,提升了算法测试工作的独立性和有效性。需要说明的是,以上 SAR 成像结果的质量验证对于小斜视窄带 SAR 成像算法是适用的,在斜视模式下,信号的距离徙动更大,算法本身的特性更为复杂,需要考虑更多的影响因素。斜视模式下 SAR 成像算法的验证是下一步需要研究的内容。

### 参 考 文 献

- [1] CUMMING I G, WONG F H. Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data: Algorithm and Implementation [M]. Boston, MA: Artech House, 2005: 113-168.
- [2] CARRARA W G, GOODMAN R S, MAJEWSKI R M. Spotlight Synthetic Aperture Radar: Signal Processing Algorithm [M]. Boston, MA: Artech House, 1995: 13-80.
- [3] 曾乐天. 机载高分辨聚束 SAR 成像及运动补偿算法研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2016.
- [4] GAROUSHI V, FELDERER M, HACALOGLU T. What We Know about Software Test Maturity and Test Process Improvement [J]. IEEE Software, 2018, 35(1): 84-92.
- [5] PAUL C J. Software Testing: A Craftsman's Approach (4th Edition) [M]. Boca Raton, CRC Press, 2013: 221-228.
- [6] TARLINDER A. Developer Testing: Building Quality into Software [M]. Boston, MA: Addison-Wesley Professional, 2016: 21-36.
- [7] KASSAB M, DEFRANCO J F, LAPLANTE P A. Software Testing: The State of The Practice [J]. IEEE Software, 2017, 34(5): 46-52.
- [8] JIANG H, TANG K, PETKE J, et al. Search Based Software Engineering [J]. IEEE Computational Intelligence Magazine, 2017, 12(2): 23-71.
- [9] BIANCHI F, MARGARA A, PEZZE M. A Survey of Recent Trends in Testing Concurrent Software Systems [J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 2017, PP(99): 1-40.
- [10] ITKONEN J, MANTYLA M V, LASSENIUS C. The Role of The Tester's Knowledge in Exploratory Software Testing [J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 2013, 39(5): 707-724.
- [11] SPINELLIS D. State-of-The-Art Software Testing [J]. IEEE Software, 2017, 34(5): 4-6.
- [12] 景国彬, 张云骥, 李震宇, 等. 基于 GPU 的 SAR 回波仿真高效实现方法 [J]. 系统工程与电子技术, 2016, 38(11): 2493-2498.
- [13] 王伯岭, 孙进平, 吴双力, 等. 扩展场景的 SAR 回波信号快速仿真算法 [J]. 遥测遥控, 2005, 26(6): 33-38.
- [14] RANEY R K, RUNGE H, BAMLER R, et al. Precision SAR Processing Using Chirp Scaling [J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 1994, 32(4): 786-799.
- [15] (上接第 273 页)
- [16] 然后, 利用反向合成图像对齐算法估计邻帧间的运动参数, 并得到直线特征点的跟踪结果; 最后, 由特征点跟踪结果对序列影像邻帧进行直线匹配。两组序列影像实验表明提出的算法能够准确跟踪匹配直线特征, 同时能够计算得到摄像机的运动轨迹; 但是, 该算法存在累积误差, 需要进一步处理。
- [17] 文贡坚. 一种基于特征编组的直线立体匹配全局算法 [J]. 软件学报, 2006, 17(12): 2471-2484.
- [18] 梁艳, 盛业华, 张卡, 等. 利用局部仿射不变及核线约束的近景影像直线特征匹配 [J]. 武汉大学学报 (信息科学版), 2014, 39(2): 229-233.
- [19] 胡海霞, 李钢. 几何特性二元关系的直线匹配 [J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(9): 1338-1348.
- [20] FORSTER C, PIZZOLI M, SCARAMUZZA D. SVO: Fast Semi-Direct Monocular Visual Odometry [C] // IEEE International Conference on Robotics & Automation (ICRA), 2014: 15-22.
- [21] RUBLEE E, RABAU D V, KONOLIGE K, et al. ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF [C] // IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), Barcelona, Spain, 2011: 2564-2571.
- [22] ROSTEN E, PORTER R, DRUMMOND T. Faster and better: a machine learning approach to corner detection [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010, 32(1): 105-119.
- [23] CALONDER M, LEPETIT V, STRECHA C, et al. BRIEF: Computing a local binary descriptor very fast [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2012, 34(7): 1281-1298.
- [24] 张振杰, 郝向阳, 刘松林, 等. 基于 Hough 一维变换的直线检测算法 [J]. 光学学报, 2016, 36(4): 1-8.
- [25] 张跃强, 苏昂, 朱遵尚, 等. 结合局部描述符合拓扑约束的直线段匹配算法 [J]. 国防科技大学学报, 2014, 36(6): 25-30.
- [26] 张聪炫, 陈震, 黎明. 点线光流预测机制的图像序列运动直线跟踪 [J]. 中国图象图形学报, 2015, 20(9): 1177-1187.
- [27] BAY H, FERRARIS V, VAN GOOL L. Wide-baseline stereo matching with line segments [C] // Proceedings of the 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington DC, USA: IEEE, 2005: 329-336.
- [28] LOPEZ J, FUCINOS M, FDEZVIDAL X R, et al. Detection and matching of lines for close-range photogrammetry [C] // Proceedings of the 6th Iberian Conference on Pattern Recognition and Image Analysis. Madeira, Portugal: Springer, 2013: 732-739.
- [29] ZHANG L L, KOCH R. An efficient and robust line segment matching approach based on LBD descriptor and pairwise geometric consistency [J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2013, 24(7): 794-805.

### 参 考 文 献