



# 第十届 全国雷达学术年会 论文集 (上册)

2008年10月31日 - 11月2日 北京

中国电子学会无线电定位技术分会主办  
中国航天科工集团二院二十三所承办



国防工业出版社

National Defense Industry Press

# 第十届全国雷达学术年会论文集

2008年10月31日-11月2日 北京

## 上册

主办单位:中国电子学会无线电定位技术分会

承办单位:中国航天科工集团二院二十三所

协办单位:航天长峰朝阳电源有限公司

安捷伦科技有限公司

泰克科技(中国)有限公司

北京镭航世纪科技有限公司

北京凌天科技有限公司

安立有限公司

北京科立信控制技术有限公司

国防工业出版社

· 北京 ·

## 内 容 简 介

本论文集是为第十届全国雷达学术年会编辑出版,包括上、下两册(含光盘),分为雷达系统、信号/数据处理、雷达分系统、SAR/ISAR、结构工艺及其它五个专题,共收录了 352 篇文章。论文集整体反映了近年来我国雷达技术领域取得的丰硕成果,相信能够为广大科技工作者提供参考和借鉴。

### 图书在版编目(CIP)数据

第十届全国雷达学术年会论文集/中国航天科工集团  
二院二十三所编. —北京:国防工业出版社,2008.10  
ISBN 978-7-118-05949-6

I. 第... II. 中... III. 雷达—学术会议—文集  
IV. TN95—53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 140271 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

四季青印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 889×1194 1/16 插页 4 印张 45¼ 字数 1980 千字

2008 年 10 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—730 册 定价 360.00 元(上、下册)

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

## 序 言

全国雷达学术年会是由中国电子学会无线电定位技术分会定期主办的国内雷达技术水平最高、范围最广、规模最大的学术性会议。本届年会由中国航天科工集团二院二十三所在北京承办。

本届雷达年会共收到 52 个单位的 440 篇投稿,经过程序委员会专家的认真审查筛选,录用了其中的 352 篇,投稿和录用数量是历届年会最多的一次。论文涉及雷达系统、雷达分系统、信号处理、数据处理、SAR/ISAR、电子对抗、结构与工艺等各个方面。这些论文分别从不同角度展现了我国雷达技术的发展现状,提出了技术研究过程中的实际问题 and 解决方法,具有较高的理论水平和工程实践指导意义,也具有一定的创新性。

本论文集由国防工业出版社编辑出版,该文集整体反映了近年来我国雷达技术领域取得的丰硕成果,相信能够为广大科技工作者提供参考和借鉴。

在论文集出版过程中,得到了指导委员会、学会各成员单位领导的悉心指导,程序委员会专家和承办单位付出了辛勤劳动,协办单位给予了大力支持,在此表示衷心感谢!

我们也希望年会为科技人员提供一个信息共享的交流平台,来自各方的同行可以广泛交流,共同提高,并以此为契机,推动我国雷达科技事业的持续发展。

大会主席



2008 年 9 月

## 第十届全国雷达学术年会组织机构

### 大会主席团

|     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 主 席 | 贺瑞龙 |     |     |     |     |     |     |
| 副主席 | 程 臻 | 彭应宁 | 万晓援 | 何 友 | 沈 齐 | 吴顺君 | 马 林 |
|     | 张修社 | 喻光正 | 黄金杰 | 陶 然 |     |     |     |
| 秘书处 | 朱庆明 | 王武庆 | 赵玉洁 | 俞祖安 | 黄昭华 |     |     |

### 大会指导委员会

|     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 委 员 | 保 铮 | 郭桂蓉 | 刘永坦 | 张履谦 | 毛二可 | 王小谟 | 张光义 |
|     | 陈敬熊 | 黄培康 | 周孟奇 | 郇能敬 | 陈定昌 | 谢良贵 | 吴曼青 |
|     | 黄 槐 |     |     |     |     |     |     |

### 大会程序委员会

|     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 主 席 | 彭应宁 |     |     |     |     |     |     |
| 副主席 | 鲁耀兵 | 童天爵 | 华海根 | 黄金杰 | 杨建宇 |     |     |
| 委 员 | 王永良 | 王松山 | 王国宏 | 龙 腾 | 刘国岁 | 朱道光 | 吴仁彪 |
|     | 吴顺君 | 吴剑旗 | 吴铁平 | 肖顺平 | 许 稼 | 季 节 | 金 林 |
|     | 陆林根 | 杨宇华 | 杨晨阳 | 杨 健 | 周金铭 | 屈晓光 | 陶 然 |
| 秘书处 | 董智文 | 李春霞 |     |     |     |     |     |

### 大会组织委员会

|     |         |     |     |     |     |  |  |
|-----|---------|-----|-----|-----|-----|--|--|
| 主 席 | 程 臻     |     |     |     |     |  |  |
| 副主席 | 鲁耀兵(常务) | 刘培民 | 秦丽华 | 宋晓明 |     |  |  |
| 委 员 | 王武庆     | 徐 科 | 马效泉 | 刘国才 | 刘 淳 |  |  |
| 秘 书 | 鲍新华     | 许 洁 | 贺 民 | 胡云菲 | 陈 昊 |  |  |
| 编 辑 | 董智文     | 李春霞 | 范好为 | 刘 敏 | 高 珊 |  |  |
|     | 高春宝     |     |     |     |     |  |  |

# 目 录

## 特邀报告

宽带相控阵雷达一些问题的研究  
空间目标 ISAR 成像技术  
雷达探测技术发展需求分析  
数字技术在雷达中的应用  
舰载预警探测系统发展综述  
制导雷达技术的发展

毛二可 (略)  
保铮 邢孟道 (略)  
沈齐 (略)  
吴曼青 (略)  
邢文革 (略)  
鲁耀兵 (略)

## 上 册

## 雷 达 系 统

星载降水测量雷达发展现状与趋势  
毫米波有源相控阵雷达  
天基预警雷达信号处理频段选择分析研究  
GPS 导航系统对抗技术研究  
直升机载预警雷达系统设计  
某型机载雷达自动测试系统设计  
机载下视成像雷达跨航向分辨特性分析  
8mm 机动式车载测云雷达  
干涉仪系统误差分析和校正  
雷达带宽对检测性能影响分析  
一种新体制雷达——“泛探”雷达的关键技术研究  
一种低成本的基于单频连续波雷达的车辆检测系统  
基于 RWG 基函数的有限阵列结构电磁特性分析  
多相时钟距离跟踪  
基于 Viterbi 算法的 TBD 微弱目标预警研究  
米波雷达低仰角测高方法试验研究  
基于 STK 的战术弹道导弹拦截仿真  
MIMO 雷达信道、时延和多普勒频率的联合估计  
雷达目标空频域瞬态极化特性及几何结构反演应用  
一种雷达目标全极化瞬时测量波形及其应用  
目标探测系统低空探测效能评估方法研究  
PD 雷达变 PRF 线性调频测距技术研究  
多波束辐射计的跟踪测角技术  
一维频/相扫描脉冲压缩三坐标雷达最小作用距离与零公里分析  
一种调频步进雷达目标的速度估计方法  
实时信号分析仪进行线性调频雷达线性度的测量

明文华 刘志学 (2)  
彭祥龙 李一民 石星 宋万忠 喻光正 (6)  
刘颖 岳兵 (10)  
陈超 侯辉 王坚 代红 (14)  
朱勇 刘志学 (17)  
钟辉 (22)  
杜磊 王彦平 洪文 吴一戎 (26)  
冯胜 贺德焕 车仁泉 (31)  
李玉星 李艳杰 汪沛 (35)  
肖建峰 黄培康 文树梁 (39)  
汤小为 汤俊 彭应宁 王秀坛 (43)  
刘大海 张颖 房建新 (47)  
齐丹丹 高铁 王侃 潘宇虎 (51)  
阮锋 陈矛 (56)  
付合山 孔令讲 杨建宇 邓晓波 (59)  
胡坤娇 吴剑旗 (63)  
黄鹤 盛景泰 徐晋 (67)  
王伟 屈金佑 张剑云 (71)  
徐牧 邢世其 王雪松 肖顺平 (74)  
刘勇 李永祯 王雪松 (79)  
陈世国 刘勇 焦淑瑜 (85)  
孙国梁 于文 (89)  
黄建 (92)  
陈春林 (96)  
袁昊天 文树梁 程臻 (100)  
张鹏 (104)

|                           |     |     |     |               |
|---------------------------|-----|-----|-----|---------------|
| 任意波形产生——提高现代雷达反侦察的重要手段    | 田钢  | 王建明 | 邢文革 | (107)         |
| 自由波位在对空三坐标雷达中的应用          |     |     | 刘延峰 | (111)         |
| 无源定位技术                    |     | 王蕾  | 孙伟  | 吴剑锋 (115)     |
| 米波段下海面多径模型研究              | 董玫  | 赵永波 | 张守宏 | (119)         |
| 三站时差定位的精度分析和图形描述          |     | 陆捷  | 孙文峰 | (123)         |
| 线性调频脉冲频率步进信号在警戒雷达中的应用研究   |     |     | 杨广玉 | (127)         |
| 雷达组网探测信息记录系统的设计           | 董鹏曙 | 张朝伟 | 卢浩  | 金加根 谢幼才 (131) |
| 雷达组网控制系统的设计与实现            | 程子光 | 吴宁生 | 高效  | 甘少武 方维华 (134) |
| 海杂波特性分析及短期预测              |     |     | 刘国华 | (138)         |
| 压制性干扰下组网雷达定位精度分析          |     | 张会林 | 邵锡军 | (143)         |
| 步进频率波形合成高分辨力的速度补偿分析       |     | 刘波  | 丛力田 | (147)         |
| 基于航迹合成的相控阵制导雷达辅助跟踪性能研究    | 张学义 | 郑学合 | 卓志敏 | (150)         |
| 噪声调频连续波与线性调频连续波空间目标探测性能比较 | 吕婧  | 顾红  | 苏卫民 | (154)         |
| 一种雷达回波信号的模拟技术研究           |     | 张秋玲 | 文树梁 | (159)         |
| 基于多特征综合的弹道目标雷达识别方法        | 冯德军 | 马梁  | 丹梅  | 王伟 (164)      |
| 岸—舰双/多基地地波超视距雷达网络探测系统     |     | 许世荣 | 陈伯孝 | (169)         |
| 高分辨率交通监控雷达系统设计与实现         | 范威  | 毕欣  | 曹云侠 | 马钺 陈帅 (173)   |
| 测量雷达及其发展                  |     | 张中升 | 董智文 | (177)         |
| 米波雷达对海面目标探测性能分析           | 徐晋  | 陆鹏程 | 付启众 | (181)         |
| 一种综合体制米波反隐身雷达系统的设想        |     |     | 蔡琳洁 | (184)         |
| 毫米波末制导的关键技术及发展趋势          | 常军  | 杨勇  | 任培宏 | 黄秀琼 (189)     |
| 国外一维电扫描三坐标雷达现状及发展趋势       |     |     | 陈春林 | (193)         |
| 毫米波雷达在车辆前向防撞系统中的应用        | 魏軼旻 | 孟华东 | 王希勤 | (199)         |
| 基于凸优化的最佳抗干扰超宽带波形设计        |     | 刘翼鹏 | 万群  | (204)         |
| 稀布阵综合脉冲孔径雷达多干扰对消          | 付启众 | 徐晋  | 陆鹏程 | (207)         |
| 雷达抗压制式干扰性能检验方法            |     | 闫海  | 李建勋 | (211)         |
| 基于天线空域极化特性的噪声压制干扰抑制方法     | 罗佳  | 王雪松 | 李永祯 | 戴幻尧 肖顺平 (215) |
| 基于神经网络的杂波抑制               |     | 窦泽华 | 李明  | 张仕元 (221)     |
| 高性能距离旁瓣抑制技术研究             | 奚玮  | 宁军  | 俞卞章 | 王松山 (225)     |
| 基于微多普勒的干扰方法研究             | 孙光才 | 白雪茹 | 周峰  | 邢孟道 (229)     |
| 旁瓣对消对单脉冲跟踪雷达测角精度影响分析      |     | 韦杉  | 吴路刚 | (233)         |
| 分布式雷达交通流检测系统              |     | 王冰  | 孟华东 | 张颖 (236)      |
| 双基地 SAR 模糊散射点的单纯形检测算法     | 王金根 | 张长耀 | 王燕飞 | 葛家龙 王燕宇 (240) |
| 有限尺寸金属 FSS 传输特性的研究        |     | 汪书娜 | 陈如山 | 丁大志 (245)     |
| X 波段三级低噪声放大器 CAD 设计与实现    | 赵菲  | 肖科  | 柴舜连 | 毛钧杰 (249)     |
| 频率分集技术在雷达低角跟踪中的应用         |     | 刘晓宏 | 文树梁 | (253)         |
| 开发内核式军用地理信息系统             |     | 刘扬  | 孙永良 | (256)         |
| 神经网络建模在雷达抗噪声调制干扰中的应用方法    |     | 李建勋 | 闫海  | (261)         |
| 雷达诱饵合成场对反辐射导弹的诱偏作用        | 周伟光 | 罗积润 | 王华彬 | (265)         |
| 天波雷达中基于信标的方位坐标配准改进方法      | 史磊  | 卢琨  | 韩蕴洁 | (269)         |
| 基于 KA 海杂波分布模型的雷达性能分析      |     | 徐艳国 | 胡学成 | (273)         |
| 基于气球载平台的雷达情报传输系统方案探讨      | 张朝伟 | 董鹏曙 | 徐鹏程 | 谢幼才 (277)     |
| 极化技术在雷达抗干扰中的应用            |     | 曹蕾  | 周峰  | 才长帅 (280)     |
| 一种基于恒虚警率的门限判决系数寻优方法       |     |     | 孙清泉 | 赵有 (283)      |
| 单脉冲二次监视雷达测量精度的提高          |     |     | 张虹  | (287)         |
| 基于累积量和模式识别的雷达抗欺骗式干扰方法     |     | 李建勋 | 闫海  | 吕强 (290)      |

图形电磁计算在雷达组网中的应用  
 基于相位分割的警戒雷达风速反演技术  
 天波超视距雷达抗蓄意干扰措施研究  
 对组网雷达的欺骗干扰方法  
 舰载激光雷达动态跟踪精度评定方法研究  
 综合导航误差对舰载雷达定位精度的影响  
 基于 LFM CW 体制的雷达实验系统研究  
 软件化雷达的一种软件体系结构  
 汽车防撞雷达抗干扰方法研究  
 中脉冲重复频率应用研究  
 相控阵雷达俯仰固定配相误差影响分析  
 UT 变换在 GDOP 分析中的应用研究  
 舰载雷达隐身技术研究  
 一种用于改善相控阵雷达低空探测性能的方法研究  
 诱偏抗反辐射导弹时空同步技术研究  
 宽带相控阵角度测量性能分析  
 AN/SPY-1D 雷达反导探测性能分析  
 再入段弹道导弹目标跟踪方法研究  
 编队目标跟踪综述  
 防空雷达面临的复杂电磁环境及对抗措施  
 防空制导雷达反隐身性能分析  
 雷达工作模式图研究

王晓莉 才长帅 张君 (294)  
 熊涛 张卫杰 杨健 (298)  
 卢琨 康蓬 李国成 宋培茗 (302)  
 赵志超 杨建华 肖顺平 (306)  
 刘勇 李兴民 (311)  
 韩丕强 车任泉 (314)  
 潘胜 (318)  
 赖俊杰 李宁 汤俊 彭应宁 (322)  
 蒋铁珍 孙晓玮 金林 (327)  
 刘晓宏 文树梁 (331)  
 李艳杰 文树梁 秦忠宇 费青松 (335)  
 王国宏 曾庆和 (338)  
 栾铸徽 刘国华 (342)  
 张友益 (346)  
 胥辉旗 贾慧 张林 (350)  
 刘丹 陆荣 齐涛 (354)  
 沈丽艳 王治国 朱可炎 (358)  
 陈映 文树梁 (362)  
 耿文东 (367)  
 屈晓光 董智文 (372)  
 董智文 屈晓光 (376)  
 程子光 甘少武 吴宁生 高效 (380)

## 信号 / 数据处理

匹配傅里叶变换快速计算及在信号检测中的应用  
 基于电磁散射建模的雷达回波半实物仿真方法研究  
 步进变频雷达回波信号谱特性分析  
 伪随机二相 MAC 编码序列雷达信号的性能分析  
 单个宽频带信号的 DOA 估计  
 复合调频-调相合成孔径雷达信号性能分析  
 VDK 及其通信机制在多处理器雷达信号处理系统的实现  
 一种双偏振天气雷达信号处理系统设计  
 线性调频-COSTAS 跳频雷达信号分析与处理  
 金属目标的电磁散射在半空间环境中的快速计算  
 一种改进的目标径向速度精确测量技术  
 基于抽象层信息的多分类器证据建模方案  
 基于杂波统计特征的舰船目标检测  
 海杂波背景下基于 FRFT 的低速动目标检测方法  
 一种基于盒维数的距离扩展目标检测方法  
 MIMO 雷达的目标模型和检测性能研究  
 高分辨率雷达距离扩展目标检测研究进展  
 雷达射频仿真技术在外场运动目标仿真中的应用  
 基于起伏 RCS 模型的机载相控阵雷达地杂波模拟  
 雷达组网系统信息传输能力建模与分析  
 复杂微动的微多普勒建模与仿真  
 采用调频连续波的高速动目标检测研究

李家强 黄志强 王盛利 (386)  
 鲍庆龙 杜琳琳 湛蓝 陈曾平 (390)  
 孔令讲 崔国龙 杨建宇 杨晓波 (394)  
 张杰 (398)  
 刘晓莉 廖桂生 (402)  
 尹灿斌 贾鑫 (405)  
 余吉 韦文 汤俊 王秀坛 彭应宁 (410)  
 朱子平 王明 洪一 (415)  
 晏行伟 张军 (419)  
 陈华 陈如山 樊振宏 (423)  
 刘京 (427)  
 杨威 贾宇平 付耀文 (431)  
 牛蕾 (436)  
 李宝 关键 (440)  
 顾新锋 何友 简涛 方少军 (444)  
 汤俊 伍勇 彭应宁 王秀坛 (449)  
 顾新锋 何友 简涛 张博 (454)  
 江志平 周洪宇 (458)  
 朱桂芹 常建平 朱根才 (461)  
 芦珊珊 邵锡军 (465)  
 高红卫 谢良贵 文树梁 (468)  
 江凯 梁毅 邢孟道 郑陶冶 (472)

|                                  |                    |       |
|----------------------------------|--------------------|-------|
| 一种混合调制信号雷达高度计面目标回波建模与仿真          | 李佳威 黄钰林 李中云 杨建宇    | (478) |
| 雷达识别模板可分度分析                      | 刘宇轩 柳征 姜文利         | (482) |
| 基于 FPGA 的实时脉内调制类型识别              | 刘俊 傅有光 王峰          | (487) |
| 一种改进的低信噪比时的信号源个数估计方法             | 李南君 魏平             | (491) |
| 相偏去相关抑制 DAR 中非线性失真的影响            | 李彭飞 张会林 熊慎伟        | (495) |
| 弹道目标的微多普勒研究                      | 孙照强 李宝柱 鲁耀兵        | (499) |
| 调频步进频制导系统中矩阵转置的设计与实现             | 郭鹏程 蔡兴雨 陈矛         | (504) |
| 一种基于分数阶 Fourier 变换的脉压方法          | 黄桂根 傅有光 孟兵         | (508) |
| 基于 Keystone 变换长时间相参积累的多普勒模糊问题研究  | 余吉 许稼 彭应宁          | (512) |
| 机载正侧视 PD 雷达杂波谱分析                 | 范明意                | (517) |
| 基于迎风格的飞机尾流 RCS 求解                | 沈淳 周彬 李盾 王涛 王雪松    | (520) |
| 基于 PolInSAR 数据分布统计的植被高度反演方法研究    | 韦顺军 张晓玲            | (524) |
| 最小二乘法解速度模糊研究                     | 孟飞 谢良贵 李饶辉         | (528) |
| 基于多模型数据融合方法的目标跟踪处理               | 杜鑫                 | (531) |
| 穿墙雷达三维合成孔径成像算法研究                 | 崔国龙 孔令讲 杨建宇 杨晓波    | (535) |
| 自适应—自适应波束形成算法的干扰零陷加宽处理           | 赵士锋 李荣锋            | (539) |
| 基于非均匀线阵的极化—MUSIC 联合谱估计算法研究       | 刘帅 金铭 乔晓林          | (543) |
| 基于瞬时自相关的信号识别与参数估计算法              | 陈明建 刘春生 刘双全        | (546) |
| 一种基于协方差矩阵特征值分析的盲信噪比估计算法          | 杨鹏 彭耿 柳征 吴京        | (550) |
| 一种 PD 雷达解模糊改进算法                  | 张晓东 张涛             | (554) |
| 一种密集杂波环境下多目标航迹起始算法               | 孟藏珍 闫抒升 王晓军 袁俊泉    | (557) |
| 多功能相控阵雷达在正常与非正常条件下的自适应调度算法研究     | 何金新 邱杰             | (561) |
| 主模式抑制算法在正交解调误差阵列系统中的应用           | 李宁 汤俊 许稼 彭应宁       | (565) |
| 复杂雷达信号环境模拟算法的设计与实现               | 袁秀丽 陈杰 朱小娟         | (569) |
| 低轨双星定位算法及精度分析                    | 杜亚平 万群 吕泽均         | (572) |
| 基于 CLEAN 技术的调频步进雷达目标抽取算法         | 高昭昭 熊涛 邢孟道 张守宏     | (576) |
| 基于时频分析算法的脱靶量测量                   | 黄鹏刚 徐映和            | (581) |
| 一种多假目标欺骗条件下的弹道导弹跟踪算法             | 饶彬 王雪松 王涛 丹梅       | (584) |
| LFMICW 雷达高度表的高度提取算法              | 李姗姗 黄钰林 李中云 杨建宇    | (589) |
| 无源毫米波雷达共轭梯度超分辨算法                 | 李良超 杨建宇 郑鑫 姜正茂     | (593) |
| 弹载雷达舰船编队 DBS 成像算法研究              | 仇启明 张林让 易予生        | (596) |
| 基于 ECEF 坐标系的雷达组网实时误差配准算法         | 宋强 熊伟 何友           | (600) |
| 基于加权直接数据域的米波雷达低空目标俯仰角跟踪算法        | 舒汀 刘兴钊             | (604) |
| 用投影算子提高自适应波束形成的稳健性               | 余继周                | (609) |
| 基于 RCB 的曲线 SAR 成像算法              | 苏志刚 刘桂英 彭应宁 吴仁彪    | (612) |
| 调频步进频信号自适应包络对齐算法研究               | 李宝柱 袁起 何佩琨 毛二可 贺吉峰 | (616) |
| 机载双基地雷达 DPCA 技术                  | 李国刚 王盛利            | (620) |
| 双基地雷达信号处理系统设计要点                  | 高新成                | (623) |
| 相干信号源自适应波束形成                     | 刘张林                | (627) |
| LMS 自适应波束形成                      | 张骅 郭卫展             | (631) |
| 一种基于两点量测的 Viterbi 数据互联算法研究       | 王海鹏 熊伟 何友          | (633) |
| 多通道多目标雷达仿真建模                     | 彭峰 邓新蒲             | (637) |
| 基于 m-Capon 算法的 MIMO 雷达高分辨方位角估计方法 | 陈金立 顾红 苏卫民 刘炳奇     | (640) |
| 基于 RWT 的调频参数采样与输出信噪比统计分析         | 李文臣 杨伟宏 王国玉 肖顺平    | (645) |
| 被动雷达多目标数据处理软件的设计与实现              | 李志淳 张艳 贾艳玲         | (649) |
| 高速运动目标多脉冲相干积累算法                  | 王珊 孔令讲 杨建宇         | (653) |

|                                |                                 |
|--------------------------------|---------------------------------|
| 模糊函数的算法及性能分析                   | 李俊杰 宋杰 朱洪伟 何友 (657)             |
| 一种基于圆锥向角和相位差变化率的运动单平台定位算法      | 王强 钟丹星 邓新蒲 周一宇 (660)            |
| 基于近空间平台的空变模式双站 SAR 成像算法        | 尹宛洁 蔡竟业 (664)                   |
| 基于圆柱几何的人体微波三维成像处理算法研究          | 谭维贤 林赞 洪文 王彦平 吴一戎 (668)         |
| 一种变形的单脉冲角误差提取算法                | 曹哲 魏焕旨 (673)                    |
| 网络化作战系统被动航迹同一性识别算法研究           | 卓志敏 郑学合 张学义 (677)               |
| 两次取样 AFC 系统的 Z 域解法             | 杜定波 (682)                       |
| MIMO 雷达的信号处理方法研究               | 赵永波 董玫 张守宏 (685)                |
| 基于运动一致性的广义概率数据关联算法             | 金术玲 潘泉 (689)                    |
| 基于移变双基地 SAR 时变的 R-D 成像算法       | 韩云 张晓玲 钱忠清 (693)                |
| 一种改进的非线性目标跟踪滤波算法               | 曲洪权 李少洪 (697)                   |
| 基于 ArcObjects 的组网雷达探测范围三维可视化系统 | 杨林三 陈勇军 许稼 王秀坛 杜永进 高效 彭应宁 (701) |

## 下 册

### 雷 达 分 系 统

|                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|
| 大型强迫馈电单脉冲相控阵天线           | 匡勇 申伯勇 于春国 郭林 王小林 (708)  |
| 一种新型星载 SAR 宽带双极化微带天线阵的研究 | 李迎林 李建新 (713)            |
| 几种薄膜天线单元形式的研究            | 于大群 朱瑞平 (717)            |
| 复合振子在相控阵天线中的应用研究         | 王茂彬 (721)                |
| 基于模拟退火算法的阵列天线布阵优化        | 王哲 赵永波 黄敬芳 (725)         |
| 液晶相控阵组件扫描精度分析            | 易伟 孔令讲 杨建宇 张翠玉 (728)     |
| 有源可扩充阵列天线可重构方案设计         | 王周海 王小陆 杨星华 张轶江 (733)    |
| 双波段双极化单脉冲馈源              | 孙文玲 姜新发 聂晓初 张铁柱 闫颂 (738) |
| 改进的交替投影法在相控阵方向图综合中的应用    | 陈云 何炳发 (741)             |
| 有源相控阵天线监测系统的应用           | 施长海 章传芳 郝志梅 徐志 陈振中 (746) |
| 并行合元极技术在电磁散射问题中的应用       | 陈明 陈如山 朱剑 樊振宏 (750)      |
| 圆极化移相器极化散射参量测量方法的比较分析    | 杨建新 罗宏 (754)             |
| 合成孔径雷达双极化有源相控阵天线研究       | 李磊 汪伟 张智慧 (759)          |
| 一种宽带宽波束双圆极化天线            | 万笑梅 (762)                |
| 有源相控阵天线中场测量方法及其关键技术      | 施长海 章传芳 陈振中 (765)        |
| 基于圆阵的 Watson-Watt 测向算法   | 黄志忠 (769)                |
| 基于数字阵列雷达的两种宽带通道均衡方法研究    | 唐伟伟 张月 陈曾平 (773)         |
| Anritsu 分布式频率转换天线测量系统    | 李勇 傅德民 李青凤 柯建武 (777)     |
| 一种共形阵列的波束方向图设计迭代方法       | 唐猛 汤俊 彭应宁 王秀坛 (780)      |
| 基于行波耦合馈线的相控阵幅相校正算法比较     | 彭祥龙 石星 刘茁 (785)          |
| 基于 FPGA 的导引头相控阵波束控制器设计   | 李相平 张刚 赵腊 (789)          |
| 新型 S 波段固态发射机设计           | 周斌 商坚钢 (792)             |
| 坐标变换在机载雷达显示系统中的应用        | 刘扬 孙永良 (796)             |
| 3mm 波段雷达高稳定激励器技术         | 高文英 (800)                |
| 毫米波雷达发射机的轻小型化设计          | 袁同山 束峰涛 (803)            |
| 基于某型雷达发射机脉冲调制器的设计        | 吴光旭 (807)                |
| 高功率宽带多波形多注速调管发射机的设计      | 罗忠省 陈雪宇 郭越红 贺磊 (810)     |

|                                |                   |       |
|--------------------------------|-------------------|-------|
| C波段高功率超大脉宽固态发射机系统的研制           | 罗忠省 臧新梅 张丽琴       | (814) |
| DBF体制雷达中多通道高速数字化接收系统的设计与实现     | 房爽                | (818) |
| 固态雷达发射组件测试方法研究                 | 肖小锋 任敏 李静         | (822) |
| 雷达主控双机热备份系统                    | 朱良勇               | (826) |
| 基于常规雷达的分布式检测系统设计               | 刘向阳 许稼 彭应宁        | (830) |
| 软件化雷达中的分层通用化                   | 韦文 汤俊 彭应宁 王秀坛     | (834) |
| 基于MCU和FPGA技术的脉冲功率计设计           | 黄琿                | (839) |
| MIMO分集检测系统自由度的优化选择             | 戴喜增 许稼 彭应宁 刘炳齐    | (842) |
| 基于数字锁相环的宽带捷变频信号设计              | 何川 赵军             | (846) |
| 相控阵雷达时序控制和数据传输模拟器的设计实现         | 蒋薇                | (850) |
| 一种可扩充有源天线模块的研制和测试              | 王小陆 王周海 曹军 李雁 陈之涛 | (855) |
| 并行区域分解方法在电磁散射问题中的应用            | 易真 叶建 陈明 陈如山 樊振宏  | (859) |
| 6-18GHz四通道T/R组件的设计             | 陈兴国 韩军 胡俊 马勇 杨扬   | (863) |
| 酉矩阵与相控阵天线的监测                   | 李磊 汪伟             | (868) |
| 用统计过程控制技术控制铁氧体移相器零场性能一致性研究     | 张立春 匡轮 包淑玲        | (872) |
| 新型发夹带通滤波器的设计                   | 高宁 高勇 邢小明         | (875) |
| 基于带通采样的无需抽取器的数字正交变换方法          | 刘高辉 张修社 许世荣 李英军   | (879) |
| 简单多支路功率分配器技术分析                 | 吕植明 侯耀清           | (884) |
| 基于高频方法分析电大尺寸目标的散射              | 娄瑜雅 陈如山 丁建军 徐侃    | (887) |
| 脊波导本征值的MOM/BI-RME分析            | 徐晓霖 张强            | (891) |
| 液晶相控阵组件动态测试系统波控数据获取方法研究        | 陈君 孔令讲 杨建宇 张翠玉    | (895) |
| 基于局部观测信噪比的分布式N-P检测融合规则设计       | 杨大志 陈国祥 丁建江       | (900) |
| 利用ADS的调谐和优化功能设计四分支耦合器          | 孔德武               | (904) |
| MEMS开关器件在相控阵雷达中的应用             | 金铃                | (910) |
| 基于NiosII嵌入式系统的高速CPCI图形显示板设计与研制 | 张聚                | (914) |
| 基于多站定位的机场场面监视系统的分析             | 朱子平 潘勇先 赵洪立       | (917) |
| 射频半实物SAR雷达模拟器的研究               | 王强 井应忠            | (921) |
| 铁氧体移相单元群的分布式驱动控制技术             | 谢国杰 李宝柱 匡轮 魏明达    | (925) |
| 实时操作系统VxWorks下VXI模块开发          | 龙庆华               | (928) |
| 微波有源组件盒类零件自动检测系统研究             | 齐浩军               | (932) |
| 基于ADSP-TS201的自适应滤波器的实现         | 许德刚               | (936) |
| 基于MUX层的雷达分系统同步实现               | 朱良勇               | (940) |
| 惯性技术在雷达系统姿态测量中的应用              | 韩延明 凌钢            | (943) |

## SAR/ISAR

|                           |                  |       |
|---------------------------|------------------|-------|
| 一种提高带限SAR距离分辨力的方法         | 张学磊 肖健华          | (947) |
| 基于粒子群优化算法星载SAR波束展宽        | 齐美清 汪伟           | (951) |
| 0.1m高分辨力SAR距离带宽合成         | 党红杏 郭伯才 辛师勃      | (954) |
| 机载全极化SAR系统幅相误差补偿方法研究      | 王志锐 胡庆荣 吴靖巍      | (959) |
| 基于混合PCA/ICA的SAR图像特征提取方法   | 卢晓光 韩萍 吴仁彪       | (964) |
| 同时GMTI/SAR雷达系统的实现         | 龚晓凌 张卫华 方志红 邓海涛  | (968) |
| 多波段多极化机载SAR系统研制           | 郭伯才 江凯 陈仁元       | (972) |
| 基于变速变重频的SAR反对抗技术研究        | 于明成 张中民 许稼 彭应宁   | (977) |
| 基于PCI总线的SAR运动目标信号模拟源设计和实现 | 夏斌 左渝 许稼 王秀坛 彭应宁 | (981) |
| 基于弹射线法的复杂目标SAR图像仿真        | 张锐 洪峻 明峰         | (985) |
| 一种频域外推SAR超分辨算法            | 张平 胡风明 杨汝良       | (989) |

|                                           |                       |        |
|-------------------------------------------|-----------------------|--------|
| 基于余弦调相和相干噪声的 SAR 压制干扰                     | 刘阳 王涛 代大海 张文明 王雪松     | (993)  |
| 旋转目标微多普勒提取方法研究                            | 刘进 李金梁 马梁 丹梅 王国玉      | (998)  |
| Ku 波段 0.1m 分辨力机载 SAR 系统的实现                | 邬伯才 党红杏 江凯 辛师勃        | (1002) |
| 噪声连续波干扰信号数字相关检测分析                         | 黄桂根 傅有光 夏映玲 龚享铤       | (1007) |
| 雷达扫描模式下海杂波多重分形特性分析                        | 刘宁波 王捷 关键 李秀友         | (1011) |
| 圆柱内腔合成孔径雷达成像仿真及特征分析                       | 张月婷 王卫延 丁赤飏 尤红建       | (1015) |
| 一种新型双站稀疏线阵三维成像 SAR 系统模型                   | 王银波 张晓玲               | (1020) |
| 一种改进的极化 SAR 地表参数反演方法                      | 陈炯 杨健                 | (1025) |
| 一种机载 SAR 通信控制卡设计                          | 吴创新 李悦丽 黎向阳           | (1030) |
| 机载 SAR 运动补偿技术研究                           | 赵云仙 刘瑞华               | (1034) |
| 一种基于图像对比度的高分辨力 SAR 自聚焦算法研究                | 夏文文 刘振华               | (1038) |
| 一种联合的极化干涉 SAR 植被高度反演方法                    | 韩迪 张晓玲                | (1042) |
| SAR 图像域运动目标参数估计性能                         | 左渝 许稼 彭应宁             | (1046) |
| 极化干涉 SAR 系统设计                             | 湛金童 郑陶冶 汪洋            | (1050) |
| 弹载大斜视 条带 SAR 成像算法分析                       | 周强 曲长文 王颖             | (1055) |
| SIFT 与 Harris 特征提取算法在 SAR 图像自动配准中的应用及性能分析 | 孙艳丽 周伟 关键             | (1059) |
| 机载下视三维成像合成孔径雷达                            | 王彦平 杜磊 谭维贤 洪文 吴一戎     | (1063) |
| 基于多小波变换的 SAR 原始数据压缩算法                     | 李霆 袁礼海                | (1067) |
| 基于 UWB SAR 单通道单航过子孔径图像序列的地面运动目标变化检测方法     |                       |        |
| 一种基于平流层飞艇的低速 SAR 系统设计                     | 周红 黄晓涛 常玉林 周智敏        | (1070) |
| C 波段多极化星载 SAR 系统样机及机载校飞                   | 胡庆荣 武玉刚 吴靖巍 王志锐       | (1074) |
| 直升机毫米波阵列天线 SAR 真三维成像系统及其性能分析              | 王立刚 张卫华 邓海涛 阮祥伟       | (1079) |
|                                           | 洪文 李道京 谭维贤 王彦平 乔明 吴一戎 | (1084) |
| 基于多普勒中心估计的星载 SAR 波束指向分析                   | 来驰攀 穆冬 胡学成 林幼权        | (1089) |
| 稀布阵综合脉冲孔径雷达的阵列优化设计分析                      | 陆鹏程 徐晋 付启众            | (1093) |
| 结合合成带宽的高分辨力 SAR 成像算法                      | 杨俊刚 黄晓涛               | (1097) |
| SAR/ATR: 基于目标多尺度概率密度特征                    | 张新征 黄培康               | (1101) |
| 对 SAR 的分段步进移频干扰研究                         | 吴晓芳 王雪松 丹梅 肖顺平        | (1105) |
| 星载 SAR 内定标技术与内定标精度研究                      | 梁淮宁                   | (1109) |
| MIMO-SAR 与 MPC-SAR 成像系统性能分析               | 王力宝 许稼 皇甫堪 彭应宁        | (1113) |
| 用分形特征对 SAR 图像目标检测方法的研究                    | 胡风明 杨汝良 商建            | (1118) |
| 多通道 SAR-GMTI 系统参数设计                       | 吕孝雷 齐飞林 邢孟道 张守宏       | (1122) |
| 三通道聚束式 SAR-GMTI 算法研究                      | 熊涛 高昭昭 邢孟道            | (1127) |
| SAR 辐射定标中角反射器的研究                          | 袁礼海 张长耀 葛家龙 李霆 汪洋     | (1131) |
| 极化 SAR 数据的定标精度应用分析                        | 汪洋 鲁加国 袁礼海            | (1136) |
| 基于改进 Z-Buffer 算法的 SAR 地面运动目标建模研究          |                       |        |
|                                           | 孙祥玺 许稼 左渝 王力宝 叶春茂 彭应宁 | (1140) |
| SAR 自然地面场景原始回波数据仿真                        | 王新民                   | (1145) |
| 波束同步误差对编队卫星 InSAR 系统性能的影响研究               | 来驰攀 穆冬 胡学成 林幼权        | (1150) |
| ESPRIT 超分辨方法在大转角目标 ISAR 成像中的应用            | 詹武平 肖同林 黄顺东 梁建国       | (1154) |
| ISAR 成像中散射点越多普勒单元走动的校正                    | 黄雅静 曹敏 付耀文 姜卫东        | (1158) |
| ISAR 成像中一种改进的距离对准方法                       | 许人灿 高磊 陈曾平            | (1162) |
| 高速运动目标的 ISAR 成像方法                         | 张焕颖 张守宏 李强            | (1166) |
| 改进的 ISAR 最小熵包络对齐快速算法                      | 唐波 汤俊 彭应宁 王秀坛         | (1171) |
| 一种 ISAR 方位向定标的新方法                         | 苏军海 钱江 邢孟道            | (1175) |

基于双基地 ISAR 配置的目标转速估计  
 宽带相控阵雷达孔径渡越时间补偿技术  
 利用超分辨技术实现 ISAR 包络对齐  
 一种 ISAR 目标运动补偿的新方法  
 平稳运动目标的干涉 ISAR 成像  
 基于 MSKM 方法的雷达目标一维距离像识别  
 粗糙集特征选择在高分辨距离像识别中的应用  
 一种基于神经网络的天线方向图快速生成算法及其在毫米波无源成像技术中的应用  
 一种新型 0.2THz 成像系统  
 单脉冲三维成像系统通道不一致性分析及补偿  
 基于三维散射中心模型的雷达目标距离像识别  
 基于频分 MIMO 雷达的一维高分辨距离像合成  
 弹头微运动实验室模拟测量研究  
 基于微多普勒特征的轮式车辆和履带式车辆识别  
 宽带高分辨距离像用于高精度测速的方法  
 幂变换提高雷达高分辨距离像识别性能的实验研究  
 ISAR 成像干扰研究综述  
 一种解速度模糊的多通道干涉 SAR/GMTI 实现方法  
 应用于 ISAR 干扰效果评估的多级模糊综合评判模型  
 方位多相位中心 SAR 解模糊重构  
 MRF 和 C 均值法在 SAR 图像分类的性能比较  
 基于高分辨 SAR 图像统计特征的抗干扰方法  
 分布式 SAR 小卫星阵列杂波秩分析  
 多舰船目标的 SAR/ISAR 成像方法研究  
 静止轨道星载 SAR 参数设计  
 合成孔径雷达有源欺骗干扰仿真及效果评估  
 调频连续波 SAR 系统设计  
 微多普勒分析在弹头微动特征提取中的适用范围  
 一种基于航迹的机载 SAR 图像自适应定位算法  
 C 波段机载全极化 SAR 系统及实时成像算法设计  
 基于三天线 InSAR 的高精度测速测高方法  
 一种基于多发多收的虚拟阵列的三维 SAR 成像模型  
 机载 SAR 图像量化及去噪声算法的工程应用研究  
 车载前视地表穿透合成孔径雷达图像背景均衡技术  
 基于精确去除平地相位的 InSAR 高程重建方法  
 双基地合成孔径雷达方位多普勒频率特性研究  
 无人机载合成孔径雷达的小型化发展  
 一种 SAR 图像的变化检测算法  
 基于非参数估计方法的水平集 SAR 图像分割

叶春茂 许稼 彭应宁 王秀坛 (1179)  
 文树梁 鲁耀兵 (1184)  
 郭少南 张晓玲 师君 (1188)  
 肖建峰 黄培康 文树梁 (1192)  
 王明明 刘宏伟 李丽亚 (1196)  
 王贞 冯健 杨万麟 (1200)  
 胡磊 周剑雄 赵宏钟 付强 (1204)  
 姜正茂 杨建宇 李良超 郑鑫 (1208)  
 朱万华 李超 张国庆 方广有 (1212)  
 高磊 杜琳琳 黄小红 陈曾平 (1215)  
 秦敬喜 周剑雄 赵宏钟 付强 (1220)  
 戴喜增 许稼 彭应宁 刘炳齐 (1225)  
 宁超 周平 (1230)  
 丁苏颖 刘宏伟 (1234)  
 刘丹 陆荣 (1238)  
 彭聪 刘宏伟 (1240)  
 刘红娅 贾鑫 (1244)  
 李纯厚 梁波 武昕伟 (1248)  
 王振楠 贾鑫 吴彦鸿 李云涛 (1252)  
 党红杏 (1255)  
 王晓军 宾亚 马宁 孟藏珍 王鹤磊 (1259)  
 李江源 王建国 (1263)  
 党雅文 张毅 潘洁 (1266)  
 马瑜杰 张龙 邢孟道 (1271)  
 钱江 苏军海 吕孝雷 邢孟道 (1275)  
 孙龙 张宏荣 唐月生 张长耀 靳学明 (1279)  
 梁毅 王虹现 邢孟道 保铮 (1284)  
 王涛 王雪松 马梁 李盾 冯德军 (1289)  
 于俊朋 孙俊 金林 (1294)  
 吴靖巍 胡庆荣 王志锐 (1299)  
 汪沛 李艳杰 曹哲 (1304)  
 李伟华 张晓玲 (1308)  
 姜明 (1312)  
 王玉明 宋千 张汉华 杨延光 (1315)  
 向征 刘兴钊 (1319)  
 蔡复青 何友 宋杰 (1323)  
 何均 任培宏 (1327)  
 王彦光 刘瑞华 (1331)  
 冯籍澜 曹宗杰 皮亦鸣 (1335)

## 结构工艺及其它

X 波段 LTCC 多芯片陶瓷封装  
 雷达毁伤分析方法研究  
 微波通路的工艺集成设计与制造  
 微组装技术及其在固态有源相控阵雷达中的应用

刘德志 宗敬群 (1340)  
 卢彦庭 (1343)  
 徐向阳 杜战峰 (1347)  
 严伟 (1349)

|                        |                    |        |
|------------------------|--------------------|--------|
| 雷达景象匹配寻的制导目标参考模板制备技术研究 | 董巍 祝明波 张东兴         | (1352) |
| 雷达装备腐蚀与防护对策研究          | 冉仕勇 任敏 沈震          | (1355) |
| 模块化多通道旋转关节的设计          | 丁雨亭                | (1359) |
| 雷达末级组件的先进制造技术          | 林伟成                | (1362) |
| 雷达导引头伺服稳定回路研究          | 吴鹏                 | (1366) |
| 某机动式雷达 6.2m 抛物面天线结构设计  | 王新军 智国平 戴非 申伯勇 王春艳 | (1370) |
| 雷达海杂波反演大气波导研究          | 王波 赵振维 吴振森 王红光     | (1373) |
| VXI 机箱的热仿真             | 吴志辉                | (1377) |
| 舰载雷达波束指向稳定方法研究         | 李冬伍 李素珍            | (1380) |
| 无线数字式倾角测量系统设计          | 王志辉 康绍崧 李宁 张兴唐     | (1385) |
| 项目管理中资源冲突预警、分析和解决的初步研究 | 孙建英 于洪霖            | (1388) |
| 雷达升降机构力学特性实时仿真分析       | 李宜筠 刘继鹏            | (1392) |
| 相控阵天线关键件研制中的质量控制方法及应用  | 邢瑾琪                | (1396) |
| 碳纤维天线的材料设计及试验研究        | 薛伟锋 鞠金山 陈该青        | (1399) |
| 喷雾冷却现状及影响因素综述          | 杨静                 | (1402) |
| 一种新的液晶相控阵组件扫描角度筛选方法    | 朱颖 孔令讲 杨建宇 张翠玉     | (1406) |
| 一种电磁传播中大气衰减的工程计算方法     | 韩向清 付林             | (1411) |
| 浅析敌我识别雷达的电子配件与维修系统     | 胥科                 | (1415) |
| 某机动型气象雷达天线车总体结构设计      | 廖晓容                | (1418) |
| 一种新型的交流伺服控制技术          | 贺银平                | (1421) |
| 某型号批产总装及集成工艺优化设计       | 金锡钢 王健             | (1425) |
| 矩形有源相控阵天线的结构与电磁耦合建模与分析 | 王从思 李昕桢 张福顺 冯昕罡    | (1429) |

# 雷达系统

# 星载降水测量雷达发展现状与趋势

明文华 刘志学

华东电子工程研究所,合肥,230031

**【摘要】**为了扩大降水测量雷达(PR)的观测范围,新的发展趋势是将该类型雷达安装在卫星上,由此从太空观测全球的降水分布,这种雷达称为星载降水测量雷达(SPR)。本文介绍了国外 SPR 的发展现状,总结了 SPR 关键技术,并对 SPR 的发展趋势进行了预测。

**【关键词】**星载;降水测量雷达;发展趋势

## The State and Development Trend of SPR

Ming Wen-hua, Liu Zhi-xue

East China Research Institute of Electronic Engineering, Hefei 230031, China

**【Abstract】** In order to extend the observation field of precipitation radar(PR), new trend is placing it to a satellite and observing precipitation from space. In this paper, development state of foreign SPR is introduced and key technologie of SPR are conluded and development trend of SPR is forecasted.

**【Key words】** spaceborne; precipitation radar; development trend

### 1 引言

降水测量雷达(Precipitation Radar, PR)通常以地基雷达为主,但地基 PR(GPR)无法实现全球覆盖,且存在山脉阻挡、地物杂波干扰、PR 图像拼接效果差以及强降水产生的“V”形缺口等问题。

机载 PR(APR)可以方便地跟踪观测对象,并且可以观测 GPR 较难探测的区域(如海洋)。但无论使用 GPR 还是 APR,对全球降水探测都存在地域局限性。因此新的发展趋势是把 PR 安装在卫星上,从太空观测全球降水分布,这种雷达称为星载降水测量雷达(SPR)。与其它被动测量手段相比,SPR 优势在于:①能提供与地面或海面背景辐射无关的降水估计(而被动传感器对背景辐射很敏感);②能提供暴风雨垂直结构的测量数据,对估计潜在的热剖面和各种不同的大气科学研究很重要;③提供的暴风雨结构和降雨特性可用于订正被动降雨测量数据的准确性。

### 2 国外 SPR 发展现状

SPR 的研究设计开始于 20 世纪 70 年代中后期,在 20 世纪 80 年代期间提出了一些 SPR 的任务。20 世纪 90 年代中期,人们在空间用航天飞机的成像雷达

SIR-C、X-SAR 以及 TOPEX 高度计来观测降雨。虽然这些试验是初步的,但是这些试验结果预示了用 SPR 测量降雨的可行性。许多国际性大气科学实验计划中也把全球降水遥感列为重点,如美日合作的热带降水测量计划(TRMM)中把全球降水测量,特别是利用微波雷达(主动)和多波段微波辐射计(被动)联合反演降水分布的研究,列为科研主攻目标。法国的热带系统能量收支测量(BEST)等试验计划中也把全球降水测量列为重要科学问题加以研究。

下面介绍国外几个主要的 SPR 发展现状,并由此总结 SPR 的关键技术和预测其发展趋势。

#### 2.1 TRMM PR

TRMM 卫星是美日联合研制的世界上第一颗载有 PR 的热带降水测量卫星,也是迄今唯一上天的 SPR。TRMM 卫星于 1997 年 11 月发射,轨道高度为 350km,倾角为 35°,能覆盖地球大部分热带地区。在 TRMM 卫星中用于降雨测量的传感器有三个:PR、VIS/IR 扫描仪(VIRS)和 TRMM TMI(微波成像仪)。图 1 是 TRMM 观测降雨的示意图。

TRMM PR 工作频率选在 Ku 波段,扫描方式是沿飞行向垂直的方向交叉扫描,使用了频率分集技术以保证足够的独立采样数。其固态有源相控阵天线口径

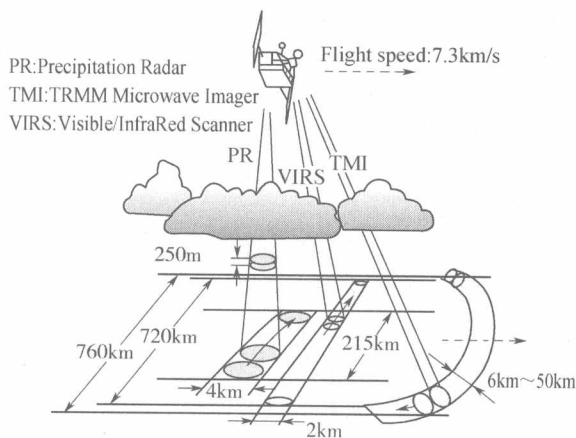


图1 TRMM观测降雨示意图

为  $2.1\text{m} \times 2.1\text{m}$ , 波束宽度为  $0.71^\circ$ , 增益为  $47.4\text{dB}$ , 采用了水平线极化方式和  $2776\text{Hz}$  的固定重频。最小可探测降雨强度为  $0.5\text{mm/h}$ , 能提供降水和台风的三维强度分布图, 但不具备多普勒能力。

TRMM PR 校正采用了内部环路校正 + 外部校正两种校正模式, 其中外部校正利用放置在日本神户地面的有源雷达校正器 (ARC) 完成的。为了降低数据率, TRMM PR 采用了一种称为表面跟踪技术的算法来实时跟踪卫星与地表的距离。为了改善回波的信杂比, 2001 年 TRMM PR 进行了阵面倾斜。为了延长卫星寿命, 2001 年 8 月, TRMM 提升了轨道高度, 由  $350\text{km}$  提高到现在的  $402\text{km}$ 。

TRMM 卫星设计预期寿命是 3 年, 但该卫星及星上设备超期运行一直表现良好, 目前仍在超期服役。

## 2.2 DPR

为了提供更大覆盖区域和更快的降水资料更新, NASA 已开展了一项名为 GPM (全球测雨任务) 的计划来接替 TRMM。其设计目标是能够每 3h 更新一次全球任意地点的测雨数据。GPM 科学仪器中最关键的设备之一是一部先进的双频 (Ku/Ka) 降水测量雷达, 即 DPR (双频测雨雷达)。出于成本考虑, 打算使用 8 颗安装微波辐射计 (MWR) 的星座卫星和 1 颗安装有一个 DPR 和一个 MWR 的核心卫星。GPM 核心卫星仍由美日联合开发, 星座卫星将由不同的国家来完成。

与 TRMM PR 相比, DPR 增加了一个  $35.5\text{GHz}$  的 Ka 波段 PR, 主要目的是利用 KaPR 来测云和微雨, 使用双频反演算法提高测雨的精度。KaPR 测雨指标最小是  $0.2\text{mm/h}$ , 考虑到其更容易受到副瓣杂波干扰而减小了其扫描角到  $\pm 8.5^\circ$ 。为了增加积累脉冲数, DPR 项目组正在研究一种称为可变重频的技术 (VPRF)。其基本原理是: 随卫星同地表的距离变化而实时改变

重频, 这需要使用高精度星上 GPS。

DPR 的概念研究从 2001 年已经开始, 原计划在 2007 年底发射运行。然而由于 NASA 预算局限, 该项目运行至少被推迟到 2010 年。

## 2.3 PR2

为了进一步减轻 SPR 重量和提高精度、增加功能, NASA 开展了 DPR 的改进型 PR2 的研究。

同 DPR 相比, PR2 技术特点在于: ①采用了双极化 (HH/HV) 方式; ②增加了多普勒处理模式; ③天线口径增加, 达  $5.3\text{m} \times 5.3\text{m}$ 。增益提高到了  $55\text{dB}$ ; 波束宽度下降到  $0.14^\circ$ ; ④采用轻质、卷曲、充气可展开、薄膜天线; ⑤ KuPR/KaPR 宽角扫描, 同时达到  $\pm 37^\circ$ ; ⑥采用数字波形产生和实时数字脉压技术, 脉压距离副瓣小于  $-60\text{dB}$ ; ⑦采用自适应天线扫描方式; ⑧雷达参数和时序控制参数可更新; ⑨观测区域全部采用双频波束匹配。PR2 天线外形示意图见图 2。

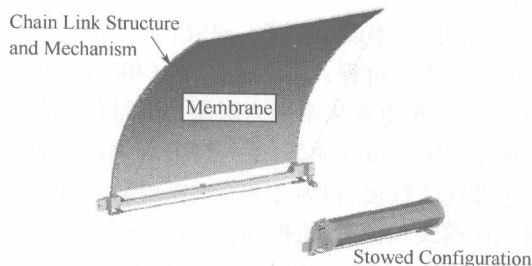


图2 PR2天线外形示意图

PR2 研制的难度相当大, 很可能需要在 DPR 发射运行之后利用 DPR 的技术成果进行调整和改进。PR2 的可展开充气薄膜天线是该雷达的关键技术之一, 目前正在进行原尺寸一半大小的机械卷筒式天线的研制。

## 2.4 NIS

与 PR2 研究进行的同时, NIS (下一代空间雷达) 的概念研究已由 NASA 启动。NIS 的设计目的是仅用一颗 PR 提供小时级的飓风和热带风暴监视。预计 NIS 任务完成还要在 PR2 之后, 因为该项目要借用 PR2 的技术成果。NIS 工作频率为  $35\text{GHz}$ , 使用地球同步轨道, 天线口径达  $35\text{m}$ , 增益为  $77\text{dB}$ , 波束宽度是  $0.02^\circ$ 。NIS 采用了新的扫描方式: 天线和卫星平台保持不动, 让馈源从视轴向螺旋扫描。最大扫描倾角到  $4^\circ$ , 覆盖地表面积为  $5300\text{km}^2$ 。这个面积相当于在经度和纬度上覆盖  $\pm 24^\circ$ 。为了提高信噪比, NIS 使用了收发分离的双馈源体制。

NIS 设想了两种天线形式, 第一种使用了三个天线杆支架, 一个圆形天线托的形式。圆形天线托架和三个支架都是由膜材料制成, 在展开时在空间硬化, 提供对反射体的结构支持。第二种圆盘天线, 使用了“天