

文章编号:1004-9037(2014)04-0483-03

雷达信号处理专刊前言

贲 德^{1,2} 张 弓¹ 刘彦东²

(1. 南京航空航天大学电子信息工程学院, 南京, 210016; 2. 《数据采集与处理》编辑部, 南京, 210016)

近几年来, 雷达系统出现了许多新体制, 如无源雷达、分布式雷达、MIMO 雷达、超宽带合成孔径及逆合成孔径雷达等。而在雷达发展中应用了许多新技术, 如相控阵技术、协同抗欺骗式干扰技术、数字阵技术、一体化技术、OFDM 技术、雷达的组网技术、多传感器融合技术、自动检测和跟踪技术以及信号处理新技术和提高可靠性的新技术等。随着科学技术的不断发展, 双/多基地雷达相控阵雷达、毫米波雷达、合成孔径雷达、MIMO 雷达等将是主要发展的体制, 分布式组网技术、数字阵技术、多功能一体化技术、多传感器的综合化融合技术将是主要发展方向。

本期专刊旨在收录国内雷达研究领域中具有创新性和突破性的高水平研究成果, 并展望雷达系统发展的方向。本期专刊既有近年来雷达领域理论成果的荟萃, 也有一些雷达工程领域的新探索, 基本上能反映我国雷达技术发展的新情况、新进展。本文从新体制雷达、雷达成像技术、雷达跟踪、定位及抗干扰技术、气象雷达以及雷达工程技术 5 个方面对本期专刊分类进行导读。

1 新体制雷达

近年来, 雷达领域不断应用新技术, 如恒虚警处理、大动态线性检测技术、多普勒滤波技术, 低截获概率技术, 极化信息处理技术, 超低旁瓣天线技术, 多种发射波形设计技术等; 并在采用新技术的基础上, 开发研究出了多种先进的雷达系统, 如新型脉冲多普勒雷达、稀布阵综合孔径(米波)雷达、毫米波雷达、双/多基地雷达、组网雷达、数字阵列雷达、统计多输入多输出(MIMO)雷达、OFDM 雷达等。

这些新体制雷达拓展了雷达应用领域。研究这些新体制雷达对于弄清其工作原理、找到其薄弱环节、采用有针对性的雷达对抗技术和方法尤为必要。本期专刊的一些论文涉及上述的一些关键技术, 现分述如下。

何友院士的论文“无源双基地雷达广义相参检

测性能分析”研究了外辐射源发射信号的带宽未能准确已知时, 无源双基地机会探测系统的广义相参检测性能。首先构建了无源双基地雷达系统中双通道接收信号的模型, 并给出了无源双基地雷达恒虚警检测统计量的构造思路, 然后推导得到了基于互模糊函数检测统计量的特征函数、概率密度函数与检测概率及虚警概率的解析表达式, 并详细分析了不同系统输入参数条件下的相参检测性能。

禹卫东研究员的论文“MIMO-SAR 回波分离方法分析”介绍了 MIMO-SAR 的工作原理及其应用, 对目前已有的回波分离方法进行分析, 指出其原理和约束条件, 最后针对回波分离问题, 探讨了一些新的解决方法。

张卫的论文“OFDM 雷达信号源设计与实现”在研究信号产生原理和波形设计方法的基础上, 提出了一种基于现场可编程门阵列技术和快速傅里叶变换算法的雷达信号实时产生方案。该方案采用数字可编程技术实现正交多载波调制, 信号参数和调制方式具有可重配置的特点, 满足多种场合的应用要求。

李小波的论文“基于四元数和增广矩阵束的 MIMO 雷达角度估计算法”通过研究多输入多输出雷达的角度估计算法, 基于收发共址的十字阵 MIMO 雷达系统, 将四元数理论应用到 MIMO 雷达角度中, 提出了一种新的参数估计算法。

王珽的论文“机载 MIMO 雷达两级降维空时自适应处理方法”针对机载多输入多输出雷达杂波抑制问题, 提出一种两级降维空时自适应处理(STAP)方法。该算法能够有效降低训练样本数需求与运算复杂度, 在小样本条件下具有良好的杂波抑制性能, 因此更具有实际应用价值。

2 雷达成像技术

雷达具有远距离、全天候、全天时工作的优点, 雷达成像技术应用最广的方面是合成孔径雷达, 机载和星载 SAR 的应用已十分广泛, 已可得到亚米级的分辨率。合成孔径雷达成像近 20 年来受到广

泛的关注。通过雷达成像进行目标识别已在现代雷达中应用,但仅限于平稳目标。由于 ISAR 的对象一般为非合作目标,运动比较复杂,且难于准确测量,机动目标 ISAR 成像的运动补偿和成像处理均需进一步研究。本期专刊的论文也从各个角度反映了 SAR,ISAR 相关技术的进展。

黎湘教授的论文“复杂运动目标 ISAR 成像技术进展与展望”总结了微动对雷达波调制、进动目标成像、三维运动成像、分离部件成像等技术现状;针对成像分辨率不高问题,分析了多频段宽带回波相参配准、融合成像等技术进展,介绍了雷达成像新技术,为解决上述两个难题带来新的思路和途径。

朱岱寅教授的论文“海面舰船目标 ISAR 最优成像时间选择算法”通过分析高海情下海上舰船目标的三维摇摆对成像的影响,基于方差定义的平均多普勒展宽概念,提出了一种逆合成孔径雷达(ISAR)最优成像时间选择算法。

郭宝锋的论文“机动目标双基地 ISAR 越距离单元徙动校正算法”基于双基地 ISAR 转台模型,针对成像的 MTRC 问题,对解线频调后的目标回波进行研究,分析了机动目标 MTRC 的产生机理,并将匹配傅里叶变换应用到 MTRC 的校正中,消除了快时间频率与慢时间的耦合项,有效解决了 MTRC 引起的 ISAR 图像散焦问题。

荆腾的论文“一种基于 Tsallis 熵的逆合成孔径雷达距离对准方法”在传统的基于 Shannon 熵的距离对准方法基础上,给出一种新的基于 Tsallis 熵的距离对准方法,即引入非广延 Tsallis 熵来衡量合成距离像的锐化度,并对距离平移量进行估计。

羌晓丹的论文“基于数字聚束技术的双基 SAR-PFA 波前弯曲补偿算法”提出了一种基于数字聚束技术的双基 PFA 波前弯曲误差补偿新方法。该方法首先利用数字聚束预滤波处理将原始的宽波束划分成多个对应不同子场景的窄波束,然后依次对窄波束数据进行补偿和成像,最后再通过子场景拼接恢复全场景图像。

宋伟的论文“机载聚束 SAR 图像定位精度研究”根据机载聚束 SAR 成像几何关系及线性 RD 成像算法,对 SAR 图像的定位精度进行了深入探讨。

赵亮的论文“基于回波信号的环视 SAR 成像

运动参数估计”针对实际雷达和运动情况,对运动参数作了精确估计和运动补偿,以适应环扫 SAR 高分辨率成像和精确制导的要求。

黄文韬的论文“基于多核 DSP 的高分辨距离像运动补偿算法实现”首先分析了步进频率雷达高分辨距离像成像原理与目标运动速度对成像的影响,然后论述了一种基于正负调频法与最大脉组求和法的二次速度估计算法,并在 TMS320C6678 多核 DSP 平台上提出了该算法的一种并行实现方案,同时描述了该实现方案的任务分配、调度与核间通信过程。最后在多核 DSP 平台上对 1000 帧回波信号做算法测试。

陈祥的论文“基于 Otsu 与海域统计特性的 SAR 图像海陆分割算法”针对合成孔径雷达图像的特点,提出粗阈值与精确阈值相结合的海陆分割算法,并提供了一套完整的海陆分割方案。

3 雷达跟踪、定位及抗干扰技术

雷达跟踪与定位是现代雷达的主要研究领域。机动目标是主要的研究对象。目标跟踪问题实际上就是目标状态的跟踪滤波问题,即根据传感器已获得的目标量测数据对目标状态进行精确的估计。可靠而精确地跟踪目标是目标跟踪系统设计的主要目的。电子战在现代战争中的地位越来越重要,电子侦察与对抗能力已经成为决定战争态势的关键因素之一,随着未来战争的多样化,网络化雷达协同抗干扰技术将是未来陆海空天电一体化多维作战环境下保证雷达探测效能的重要手段之一。

张林让教授的论文“网络化雷达协同抗欺骗式干扰技术研究进展”在简要分析网络化雷达抗干扰优势的基础上,对现有协同抗欺骗式干扰方法进行了详细介绍,并进行了分类比较。最后,针对现有方法中存在的问题,展望了协同抗欺骗式干扰的发展趋势,指出进一步的研究方向。

骆云志研究员的论文“基于毫米波雷达和 CCD 摄像机信息的 D-S 融合方法”研究了毫米波雷达和 CCD 摄像机两种传感器信息的 D-S 融合方法。通过建立坐标系和坐标系间的齐次变换实现其空间配准。按 D-S 融合方法首先建立障碍物鉴别框架,通过实验确定它们对应于鉴别框架中障碍物指数的基本概率分配值,再根据 D-S 证据方法的组合规则计算所有证据联合作用下的融合结果,得到障碍物在无人地面平台 ROI 内的距离、方位

和大小。

徐玉龙的论文“基于小波熵的辐射源指纹特征提取方法”在对辐射源信号进行小波分析的基础上,提出一种基于小波熵的辐射源指纹特征提取方法。

郑禹的论文“基于实测数据的稀布阵雷达干扰方向估计”首先对稀布阵雷达系统特点和副瓣性能进行分析,指出雷达在远场和近场均可能存在各种干扰,而稀布阵雷达副瓣水平相对较差,故干扰方位指示功能有其特殊性,然后结合稀布阵雷达工作特点,对其常规方向指示的算法的对多干扰定位的局限性进行分析。

章涛的论文“自适应门限 GM-CPHD 多目标跟踪算法”针对带有势估计的高斯混合概率假设密度滤波(GM-CPHD)作为一种杂波环境下目标数可变的检测前跟踪方法计算复杂度高的问题,提出利用一种最大似然自适应门限的快速算法。

刘玉磊的论文“一种参数自适应的“当前”统计 Jerk 模型”针对高度机动目标跟踪问题,通过理论分析指出了 Jerk 模型及其一些改进模型的不足,并借鉴“当前”统计的思想,提出了一种参数自适应的 Jerk 模型。该模型通过新息向量的范数定义调整因子,以此来对模型中的各参数进行自适应调整,增强了系统对突发机动的自适应跟踪能力,并对加速度均值进行了修正,使之适合于一般运动形式。

4 气象及探地雷达

气象雷达是专门用于大气探测的雷达。属于主动式微波大气遥感设备。气象雷达是用于警戒和预报中、小尺度天气系统(如台风和暴雨云系)的主要探测工具之一。关于探地雷达的相关技术本期专辑也做了一些探讨。

吴仁彪教授的论文“机载前视风切变检测气象雷达的研究进展”从机载气象雷达系统和机载气象雷达信号处理两个方面论述了机载气象雷达的发展历程,指出了其中的关键技术和尚待解决的问题。

何力的论文“机载气象雷达充塞系数估计方法”将充塞系引入气象雷达方程,提出了一种基于雷达实时工作参数的充塞系数估算方法,并详细分析了不同系统参数下塞系数变化情况。

张丽丽的论文“探地雷达品质因子 Q 值估计方法”实现了利用探地雷达直达波的包络峰值处瞬

时频率来估计品质因子 Q 值的方法。地震理论中的子波可以由四个参数:调制频率,子波的能量衰减因子,以及子波的幅度和相位来确定。在水平层状介质中,设每层的 Q 值为常数(即 Q 值和频率无关),从平面波的单程波传播理论的频率域方程出发,借助包络峰值处瞬时频率的定义,经过公式推导可知,Q 值由包络峰值处的瞬时频率的变化,传播时间以及子波能量衰减因子共同确定,得到了利用探地雷达 VRP 资料直达波的包络峰值处瞬时频率来估计 Q 值的方法。

5 雷达工程技术

雷达系统的“通用化、系列化和模块化”技术设计,不断提高雷达的可靠性、维修性等,也是雷达系统发展的主题。

张华春研究员的论文“HJ-1-C 卫星 SAR 闭环测试系统的设计及实现”首先给出 SAR 回波信号的产生以及回波模拟器的物理实现,然后提出在有线和无线两种方式下,利用回波模拟器构建 SAR 闭环测试系统的方法,最后给出基于该闭环测试系统,对 HJ-1-CSAR 系统点目标性能指标测试结果。

张杰的论文“基于射频隐身的相控阵雷达搜索控制参量优化设计”研究了机载相控阵雷达基于射频隐身的搜索控制参量优化设计。通过分析截获概率原理,给出了目标特征和雷达系统性能对驻留时间和波位间隔等搜索控制参量的影响关系,构建了目标探测性能与隐身性能约束下的优化模型。

6 结束语

科学技术的不断进步为雷达技术的发展创造了条件,雷达面临的威胁对雷达性能提出了更高的要求。目前雷达正在向高分辨率、高隐身、强抗干扰、分布式、数字化、多功能一体化等方面迅速发展,新体制雷达的出现为其提高自身生存能力并充分发挥作用创造了条件。而同时,雷达对抗界也不断创新,积极应对,采用各种先进对抗技术和方法,在系统对系统、体系对体系的对抗中将发挥更引人注目的作用。

作者简介:贲德(1938-),男,教授,中国工程院院士,研究方向:新体制雷达,E-mail:debenol@sohu.com;张弓(1964-),男,教授,博士生导师,研究方向:雷达信号处理、目标探测与识别;刘彦东(1970-),男,编辑,研究方向:计算机应用。