

信息科学与技术学院

042

信息科学与技术学院2009年发表论文明细表

序号	姓名	职称	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期
1	龙伟军	博士生	042	机会数字阵雷达概念与应用 技术分析	南京航空航天大学学报	2009年12月 第41卷第6期
	贡德	院士	042			
	潘明海	教授	042			
	麻清华	博士生	042			
2	龙伟军	博士生	042	Opportunistic Digital Array Radar and Its Technology Characteristic Analysis	2009年 IET International Radar Conference 2009 会议上交流	
	贡德	院士	042			
	潘明海	教授	042			
3	龙伟军	博士生	042	Application of Optic- Fibre Communication in Sky Wave Over-the- Horizon Radar	2009年 Proceedings of the 14th Youth Conference on Communication 会议上交流	
	贡德	院士	042			
	潘明海	教授	042			
4	龙伟军	博士生	042	机会数字阵雷达概念与应用 技术研究	2009年第14届青年通信会会议上交流	
	贡德	院士	042			
	潘明海	教授	042			
5	龙伟军	博士生	042	分布式数字阵雷达信号无线 传输与自适应同步方法初探	2009年第14届青年通信会会议上交流	
	贡德	院士	042			
	潘明海	教授	042			
6	雷磊	讲师	042	适用于ad hoc 网络的DCF协 议节点自适应休眠机制	通信学报	2009年10月 第30卷第10期
	徐宗泽	教授	042			
7	雷磊	讲师	042	一种适用于ad hoc 网络的 DCF协议自适应功率控制机制	电子与信息学报	2009年1月 第31卷第1期
	徐宗泽	教授	042			
8	雷磊	讲师 教授	042	基于GloMoSim的模块化无线 网络教学方法	电气电子教学学报	2009年12月 第31卷第6期
9	胥嘉佳	博士生	042	正弦波信号频率估计快速高 精度递推算法的研究	电子与信息学报	2009年4月 第31卷第4期
	刘渝	教授	042			
	邓振森	博士后	042			
	陈役涛					
10	邓振森	博士后	042	多相码雷达信号识别与参数 估计	电子与信息学报	2009年4月 第 31卷第4期
	刘渝	教授	042			
11	胡国兵	博士生	042	基于最大似然准则的特定辐 射源识别	系统工程与电子技术	2009年2月 第 31卷第2期
	刘渝	教授	042			
12	胥嘉佳	博士生	042	LFM信号参数估计的牛顿迭代 方法初始值研究	电子学报	2009年3月 第 37卷第3期
	刘渝	教授	042			
	邓振森	博士后	042			
13	张刚兵	博士生	042	基于子频带分解的宽带信号 干涉法侧向算法	系统工程与电子技术	2009年3月 第 31卷第3期
	刘渝	教授	042			
14	胡国兵	博士生	042	基于倒序相关累加的信号到 达时间盲估计	南京航空航天大学学报	2009年6月 第 41卷第3期
	刘渝	教授	042			
15	胡国兵	博士生	042	基于Haar 小波变换的信号到 达时间估计	系统工程与电子技术	2009年7月 第 31卷第7期
	刘渝	教授	042			
	邓振森	博士后	042			
16	邓振森	博士后	042	相位编码信号码元宽度估计 的修正克拉美-罗限	通信学报	2009年9月 第 30卷第9期
	刘渝	教授	042			
17	胡国兵	博士生	042	基于信号抽取与最大似然准 则的特定辐射源识别	数据采集与处理	2009年7月 第 24卷第4期
	刘渝	教授	042			
18	胡国兵	博士生	042	相参脉冲信号频率估计算法 研究	电子学报	2009年9月 第 37卷第9期
	刘渝	教授	042			
19	张光兵	博士生	042	Frequency estimation based on discrete Fourier transform and least squares	2009年 International Conference on Wireless Communication&Signal Processing 会议上交流	
	刘渝	教授	042			
	胥嘉佳	博士生	042			
	胡国兵	博士生	042			

20	胥嘉佳 刘渝 张光兵 胡国兵	博士生 教授 博士生 博士生	042 042 042 042	Blind estimation of MPSK signal carrier frequently in electronic reconnaissance	2009年 CCWMC 会议上交流	
21	吴一全 吴文怡	教授 硕士生	042 042	基于变邻域变步长LMS背景预 测检测红外小目标	宇航学报	2009年 第30卷第2期
22	吴一全 吴文怡 罗子娟	教授 硕士生 硕士生	042 042 042	基于最小一乘和混沌遗传算 法检测红外小目标	光子学报	2009年 第38卷第3期
23	吴一全 潘喆 吴文怡	教授 硕士生 硕士生	042 042 042	二维直方图区域斜分的最大 熵阈值分割算法	模式识别与人工智能	2009年 第22卷第1期
24	吴一全 李晓燕 陈飒	教授 硕士生 硕士生	042 042 042	基于Contourlet域ICA和SVM 的图像融合	光电子. 激光	2009年 第20卷第6期
25	吴一全 吴文怡 罗子娟	教授 硕士生 硕士生	042 042 042	基于最小一乘和遗传算法的 红外弱小目标检测	系统工程与电子技术	2009年 第31卷第3期
26	吴一全 丁坚	教授 硕士生	042 042	投影点坐标方差最小化车牌 垂直倾斜校正	应用科学学报	2009年 第27卷第2期
27	吴一全 庞磊	教授 硕士生	042 042	基于Contourlet变换的抵抗 几何攻击的视频水印算法	系统仿真学报	2009年 第21卷第7期
28	吴一全 张金矿	教授 硕士生	042 042	平均灰度级_梯度二维直方图 最大相关阈值分割	小型微型计算机系统	2009年 第30卷第8期
29	吴一全 潘喆	教授 硕士生	042 042	二维Tsallis-Havrda- Charvat熵阈值分割的快速 递推算法	信号处理	2009年 第25卷第4期
30	吴一全 张金矿	教授 硕士生	042 042	基于改进的二维指数熵及混 沌粒子群的阈值分割	光学技术	2009年 第35卷第1期
31	吴一全 谢静	教授 硕士生	042 042	基于特征点最小距离拟合的 文档图像倾斜检测	光学技术	2009年 第35卷第1期
32	吴一全 庞磊	教授 硕士生	042 042	基于Contourlet域独立分量 分析的视频水印	应用基础与工程科学学报	2009年 第17卷第6期
33	吴一全 付晓莉	教授 硕士生	042 042	采用角点信息和惯性主轴的 车牌倾斜检测与校正方法	工程图学学报	2009年 第6期
34	吴一全 吴文怡 潘喆	教授 硕士生 硕士生	042 042 042	二维直方图区域斜分Otsu阈 值分割的快速迭代算法	工程图学学报	2009年 第5期
35	吴一全 张金矿	教授 硕士生	042 042	改进的2维Otsu法及混沌粒子 群递推的阈值分割	中国图像图形学报	2009年 第14卷第9期
36	吴一全 李晓燕	教授 硕士生	042 042	基于Contourlet变换和支持 向量聚类的遥感图像融合方 法	宇航学报	2009年 第30卷第5期
37	吴一全 郭建军	教授 硕士生	042 042	基于Krawtchouk矩的自适应 门限四叉树分形编码	信号处理	2009年 第25卷第7期
38	吴一全 谢静 庞磊	教授 硕士生 硕士生	042 042 042	基于Krawtchouk矩和 Contourlet变换的多目的水 印	光子学报	2009年 第38卷第8期
39	潘喆 吴一全	硕士生 教授	042 042	二维Otsu图像分割的人工鱼 群算法	光学学报	2009年 第29卷第8期
40	陈飒 吴一全	硕士生 教授	042 042	Image Fusion Based on Contourlet Transform and Fuzzy Logic	2009年 the 21th International Congress on Image and Signal Processing 会议上交流	

41	武燕燕 吴一全	硕士生 教授	042 042	Shape-based Image Retrieval Using Combining Global and Local Shape Features	2009年 the 21th International Congress on Image and Signal Processing 会议上交流	
42	孙子翼 吴一全	硕士生 教授	042 042	Multispectral Image Compression Based on Fractal and K-Means Clustering	2009年 the 21th International Conference on International Science and Engineering 会议上交流	
43	吴一全 罗子娟 吴文怡	教授 硕士生 硕士生	042 042 042	基于NSCT的红外图像小目标检测技术	中国图像图形学报	2009年 第14卷第3期
44	吴一全 潘喆	教授 硕士生	042 042	二维最大类间平均离差阈值选取快速递推算算法	中国图像图形学报	2009年 第14卷第3期
45	虞湘宾	副教授	042	Performance of Complex Orthogonal Wavelet Packet Based MC-CDMA System with Space-time Coding over Rayleigh Fading Channel	2009年 IITA International Conference on Control, Automation and Systems Engineering (CASE 2009)会议上交流	
46	虞湘宾 周婷婷 李艳峰	副教授 硕士生 硕士生	042 042 042	Uplink Performance of Multiband Complex Wavelet Based Multicarrier DS-CDMA Syetem in Fading Channel	2009年 IEEE International Conference on Wireless Communication and Signal Processing(WCSP' 09)会议上交流	
47	虞湘宾	副教授	042	Performance of Multiband Complex Wavelet Based Multicarrier DS-CDMA System with Multi-antenna Receiver Nakagami-m Fading Channel	Progress in Electromagnetic Research (PIER)	2009年 第98卷
48	虞湘宾	副教授	042	空时分组编码的多用户CDMA系统在MIMO Rayleigh 衰落信道中的性能	中国科学 (F辑)	2009年 第39卷第12期
49	虞湘宾	副教授	042	Low-complexity Distributed Differential Space-time Coding Scheme for Amplify-and-Forward Cooperative Networks	Science in China Series F	2009年 第52卷第8期
50	王俊波 陈明 万西里 魏承建	讲师 教授 博士生 教授	042 042 042 042	Ant-Colony-Optimization-Based Scheduling Algorithm for Uplink CDMA Nonreal-Time Data	IEEE transaction on Vehicular Technology	2009年 第58卷第1期
51	王俊波 陈明 王江舟	讲师 教授 教授	042 042 042	Adaptive Channel and Power ALlocation of Downlink Multi-user MC-CDMA Systems	Computers and Electrical Engineering(Elsevier)	2009年 第35卷第5期
52	王俊波 陈华敏 陈明 王江舟	讲师 博士生 教授 教授	042 042 042 042	Cross-Layer Packet Scheduling for Downlink Multi-user OFDM Systems	Science in China Series F: Informtion Sciences	2009年 第52卷第12期

53	王俊波 陈明 王江舟	讲师 教授 教授	042 042 042	Throughput Maximization of Downlink MC-CDMA Systems	2009年 IEEE 70th Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2009-Fall) 会议上交流	
54	王俊波 陈明 王江舟	讲师 教授 教授	042 042 042	Fair Packet Scheduling for Downlink Multiuser OFDM Systems with Channel and Queue Information	2009年 IEEE 70th Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2009-Fall) 会议上交流	
55	赵军 朱兆达	博士生 教授	042 042	均匀圆阵多约束实数权直接数据域处理	应用科学学报	2009年 第27卷第2期
56	赵军 朱兆达	博士生 教授	042 042	一种基于多角度-多普勒补偿的均匀圆形天线机载雷达杂波抑制方法	航空学报	2009年 第30卷第5期
57	朱岱寅 汪玲 余渝生	教授 副教授 硕士生	042 042 042	Robust ISAR Range Alignment via Minimizing the Entropy of the Average Range Profile	IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters	2009年 第 6卷第2期
58	沈明威 朱岱寅 朱兆达	博士生 教授 教授	042 042 042	Reduced-rank space-time adaptive processing using a modified projection approximation subspace tracking deflation approach	IET Radar, Sonar and Navigation	2009年 第3卷第1期
59	王昕 朱岱寅 朱兆达	博士生 教授 教授	042 042 042	基于Charp Scaling的双基 SAR成像PFA算法研究	电子与信息学报	2009年 第31卷第7期
60	龚清勇 朱兆达	博士生 教授	042 042	非均匀环境下雷达动目标检测的空时自适应处理	应用科学学报	2009年 第27卷第4期
61	龚清勇 朱兆达	博士生 教授	042 042	非正侧视阵机载雷达杂波抑制算法研究	电子与信息学报	2009年 第31卷第4期
62	龚清勇 朱兆达	博士生 教授	042 042	STUDY STAP ALGORITHM ON INTERFERENCE TARGET DETECT UNDER NONHOMOGENOUS ENVIRONMENT	Progress in Electromagnetic Research (PIER)	2009年 第99卷
63	李晨 朱岱寅	博士生 教授	042 042	A Residue-Pairing Algorithm for InSAR Phase Unwrapping	Progress in Electromagnetic Research (PIER)	2009年 第95期
64	李晨 朱岱寅	博士生 教授	042 042	A Research on the SAR Interferogram Noise Reduction with the Application of Wavelet Transforms	2009年 the 21nd Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar (APSAR) 会议上交流	
65	毛新华 朱岱寅 朱兆达	讲师 教授 教授	042 042 042	Signatures of moving target in polar format spotlight SAR image	Progress In Electromagnetic Research (PIER)	2009年第4期 总第92期
66	毛新华 朱岱寅	讲师 教授	042 042	一种适用于调频步进信号SAR的2维子孔径处理算法	中国图像图像学报	2009年第14卷 第10期
67	毛新华	讲师	042	SAR极坐标格式成像算法对运动目标的响应特性	航空学报	2009年 第30卷第8期
68	毛新华 朱岱寅 朱兆达	讲师 教授 教授	042 042 042	SAR signatures of moving target	2009年 IET International Radar conference会议上交流	

69	毛新华 朱岱寅 朱兆达	讲师 教授 教授	042 042 042	Response of polar format algorithm to moving target with consideration of wavefront curvature	2009年 IEEE Radar conference会 议上交流	
70	朱秋明 徐大专 陈小敏	讲师 教授 讲师	042 042 042	A Modified Channel Mode For Non-Isotropic Scattering Enviroments	2009年 Wireless Communications & Signal Processing (WCSP'09) 会议上交流	
71	朱秋明 徐大专 吕卫华 陈小敏	讲师 教授 助理工 程师 讲师	042 042 042 042	航空信道统计模型的改进与 实现	应用科学学报	2009年 第27卷第6期
72	朱秋明 徐大专 陈小敏	讲师 教授 讲师	042 042 042	非相关瑞利衰落信道的改进 模型	南京航空航天大学学报	2009年第41卷 第4期
73	朱秋明 徐大专 陈小敏	讲师 教授 讲师	042 042 042	非相关瑞利衰落信道模型比 较与分析	四川大学学报（工程科学版）	2009年 第41卷第6期

机会数字阵雷达概念与应用技术分析

龙伟军^{1,2} 黄 德^{1,2} 潘明海¹ 麻清华²

(1. 南京航空航天大学信息科学与技术学院, 南京, 210016;

2. 南京电子技术研究所, 南京, 210039)

摘要:机会数字阵雷达是以平台隐身性设计为核心,以数字阵列雷达为基础,兼具多功能、多模式的“一体化”新概念雷达系统。本文在对国外有关概念雏形描述理解基础之上,对其定义和涵义进行了深入透析,详细论述了“机会”一词的几层涵义。分析了机会数字阵雷达不同于传统相控阵雷达的技术特性和应用潜力,以及机会数字阵雷达所面临的技术难题,如3-D空间单元“机会性”分布优化选取和波束综合、信号传输与同步以及多自由度的系统资源优化管理等问题,并给出了初步的解决方案和仿真结果。

关键词:机会数字阵雷达;多功能相控阵;多输入多输出;凝视雷达

中图分类号: TN971.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-2615(2009)06-0727-07

Opportunistic Digital Array Radar and Its Application Technology Analysis

Long Weijun^{1,2}, Ben De^{1,2}, Pan Minghai¹, Ma Qinghua²

(1. College of Information Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics,

Nanjing, 210016, China; 2. Nanjing Research Institute of Electronics Technology, Nanjing, 210039, China)

Abstract: Considering the platform stealth performance of the radar, a new radar system—opportunistic digital array radar (ODAR) with multi-function and multi-mode digital array is presented. Derived from the original description of the ODAR, the connotation and the denotation are analyzed. The predominance and the application potential are tapped. The technology characteristics of ODAR are analyzed and several problems are solved, such as the pattern synthesis of a group antennas randomly located in 3-D space, the synchronization of distributed digital transmitter/receiver (DTR) and the complex resource management of multi-freedom “space-time-energy”. Finally, the scheme and simulation results are given.

Key words: opportunistic digital array; multi-function phased array; multi-input and multi-output (MI-MO); ubiquitous radar

机会数字阵雷达是国外学者近年来针对新一代海军隐身驱逐舰 DD(X)提出的一种新概念雷达^[1-8]。机会数字阵雷达以平台隐身性设计为核心,以数字阵列雷达为基础,单元与数字收发组件(DTR)被布置于舰船3-D空间的任意可获取位置。如果考虑机会数字阵雷达工程上复杂的电磁兼容性问题、波束综合问题、信号传输与同步等问题,机

会阵数字阵雷达是一个比较“冒险”的新概念。因此,美国海军新一代隐身驱逐舰装备 DD(X)上的雷达系统最终选择了技术保守的双波段雷达(DBR)。但另一方面,美国海军也看到了新概念机会数字阵雷达所具有的应用潜力和研究价值,并将其作为一种雷达新体制,开展了长期持续的研究工作^[1-8]。

收稿日期:2009-07-03;修订日期:2009-09-01

作者简介:龙伟军,男,博士研究生,工程师,1979年1月生,E-mail:chinacohit@163.com。

本文将在对国外学者有关机会阵数字阵雷达概念雏形论述理解基础之上,对机会数字雷达概念的内涵和外延进行补充和完善,并对机会数字阵雷达的应用概念和应用技术进行初步分析和探讨。

1 机会数字阵雷达

机会阵雷达概念的提出改变了以往作战平台以雷达系统为核心的设计理念。

一般而言,作战平台的设计通常围绕雷达系统展开,比如著名的宙斯盾系统(AEGIS),首先要保证的是雷达系统的作战威力,然后再考虑建造足以庞大的舰船承载雷达系统,舰船平台的隐身性、机动性和作战能力受到极大限制。正如文献[2]所述:“宙斯盾之父韦恩·迈耶(Wayne E. Meyer)认为AEGIS已有25年之久的历史远不能满足21世纪战舰隐身性、多功能及其他作战要求,需要从观念上有所转变……”。

机会数字阵雷达正是美国海军研究机构在韦恩·迈耶这一技术发展思路倡导下提出并开展的。机会数字阵雷达首先考虑的是舰船的战技性能,如电磁隐身性、机动性和作战能力等,并在此基础上设计雷达系统,这与传统的以雷达为核心的设计理念有着很大不同。因此雷达系统设计必须受限于舰船的外形、体积、布局等因素。

目前,机会数字阵雷达尚处于概念形成时期,其概念尚没有严格的定义,国外研究机构也仅从其体制特点,功能特性等方面进行了概念雏形的阐述^[1-5]。甚至有学者在对机会数字阵雷达概念的早期描述中将“无线”作为第一修饰词,称之为“无线网络化的机会数字阵雷达”(WNODAR)^[6-7],如图1所示。是否采用无线技术并非机会数字阵雷达系统必备特征,其实,在现有技术条件下,采用光纤传输将更容易实现。机会数字阵雷达应当成为一个独立的概念并具有其本身的特点。

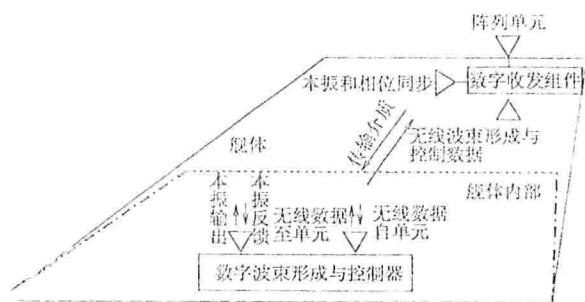


图1 无线网络化机会数字阵雷达(WNODAR)系统结构

机会数字阵雷达首先是一部数字阵雷达

(DAR),具有数字阵雷达的所有特征。有关数字阵雷达的概念,其与传统模拟阵雷达的区别以及数字阵雷达的优越性在文献[10]中做了较为详细的描述,这里不再赘述。机会数字阵雷达正是在雷达数字化程度不断提高,数字阵雷达研究工作的不断深入基础之上,为适应以作战平台为核心的设计理念应运而生的新概念雷达,机会数字阵雷达中“机会”一词应当具有如下几层涵义:

(1) 单元或收发组件任意分布

“任意”的意思是没有规律,单元可以密布于载体平台任意开放空间,载体可以是舰船,飞机,卫星,山体等;可以密布于平台表面,也可以是平台内部;可共形,也可非共形;可能稀疏,也可能均匀分布,因此有别于传统意义上的共形阵和稀疏阵概念,但应遵循单元或收发组件尽可能多地密集分布于整个载体平台。

(2) 单元的工作状态是“机会性”的

不像传统阵面单元同时处于工作或关闭状态,而是根据一定的机会,有选择性地工作或关闭。这里的“机会”可以是获得更好的波束形状要求,也可是为获得更大的天线孔径,或获得较好的雷达隐身性等。

(3) 雷达的战术功能是“机会性”的

这里的战术功能是指雷达担任的搜索、跟踪、火控、制导、引导、通信、电子对抗等战术任务。传统的做法通常是制造几部具有不同功能的雷达。或是将多种雷达战术功能通过时-能管理划分成不重叠的时间片区^[11-12]。机会数字阵雷达由于拥有密布于3-D空间的数量众多的天线单元,数字阵灵活的波束形成能力,完全可以根据战术任务,“机会性”地选择工作方式使雷达“同时”实现一种或多种战术功能。比如搜索的“同时”可以全空域精密跟踪;当来袭目标处于低空飞行时,可以开启舰船侧舷的天线进行低空补盲,当目标处于近距离状态时,可以自适应地调整雷达脉冲重频和脉宽,使之缩小盲区并减少辐照能量,提高低截获性能。总之雷达的工作状态是非恒定的,而是随战术任务和战场条件“机会性”地改变。

(4) 雷达的工作模式是“机会性”的

这里的工作模式不同于通常所说的搜索和跟踪模式,而具有更广泛的涵义。如这些年成为国内外研究热点的多输入多输出雷达系统(MIMO)^[13-15],在机会数字阵雷达中,MIMO仅仅是雷达的一种工作模式,正如国内较早引入MIMO雷达概念的文献[14]所言,MIMO雷达并不是一

种雷达体制,而指一种工作模式,在各子阵(或单元)发射相同的波形时,即为常规工作模式;而本文论述的机会数字阵雷达却是一种雷达体制,具有多种工作模式,除了常规模式,MIMO 模式之外,通过特殊的波束赋形和空-时-能管理,机会数字阵还可以工作于 Ubiquitous 模式^[16-18],即在任意时刻探测空间任意方位,这种模式的强大之处在于搜索的同时可以不间断地跟踪,具有同时获取空间多方位目标探测信息的能力,另外一个优越性体现在其低截获性能方面,Skolnik M^[17-18]和 Daniel J. R.^[14]在其文献中均有详细论述,但 Ubiquitous 也面临波束发散,增益和信噪比受限的问题。机会数字阵雷达可以在常规模式、MIMO 模式和 Ubiquitous 等模式下“机会性”工作。

(5) 雷达的空-时-能管理是“机会性”的

机会数字阵雷达是一部多功能、多模式、全时空域工作的综合雷达系统,为了实现其多种“机会性”的战术功能,要求雷达资源管理系统必须也是“机会性”的,而不是恒定不变的,雷达自身必须具有对战场环境的感知、评估能力,结合雷达的战术要求,自适应地选择最佳的工作方式,并形成有效的“空-时-能”资源优化分配管理。

2 机会数字阵雷达技术特性分析

机会数字阵雷达概念的最初构想来自于美国海军研究生院(NPS)对新一代隐身形海军驱逐舰 DD(X)的雷达探测系统设计方案,如图2所示^[3-9]。

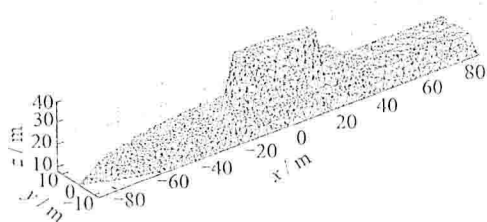


图2 NPS提出的机会数字阵雷达概念图^[3-9]

图中的网格状模型表示密布舰船的天线单元,有舰船表面单元,也有舰体内部单元,整个舰船约放置了2 000多个单元。舰船甲板上没有桅杆和不均匀“突起”,以减少舰船的RCS提高隐身性。

2.1 灵活多样的波束形式

机会数字阵雷达提供了丰富的空间资源,可以灵活实现多种雷达工作模式。从雷达波束形式来看,目前以数字阵雷达为基础的如图3所示的雷达波束形式^[14],均可在机会数字阵平台实现。图3(a)

为收发分置的“聚焦式”波束,图3(b)为宽波束发射,多窄波束接收。图3(c)为全向波束发射,多窄波束接收,一些文献^[16-18]称之为“Ubiquitous”模式,Ubiquitous的直接意思是“无所不在的”,有国内学者译作“泛探”模式^[20],也有称之为“凝视”模式,还有直接称之为“全时空”模式等。但笔者倾向于“凝视”的提法,它借用了光学焦平面探测的概念,形象地表述了机会数字阵这一工作模式特点,即在任意时刻探测空间任意方位,如同光学焦平面“凝视”成像那样可以瞬间获取空间二维信息,又如同凝视焦平面阵那样需要较长时间积累(即凝视)来增强信噪比。图3(d)为MIMO模式下的空间波束形式,通过独立的单元发射相互正交的雷达信号以获取高的空间分集增益。

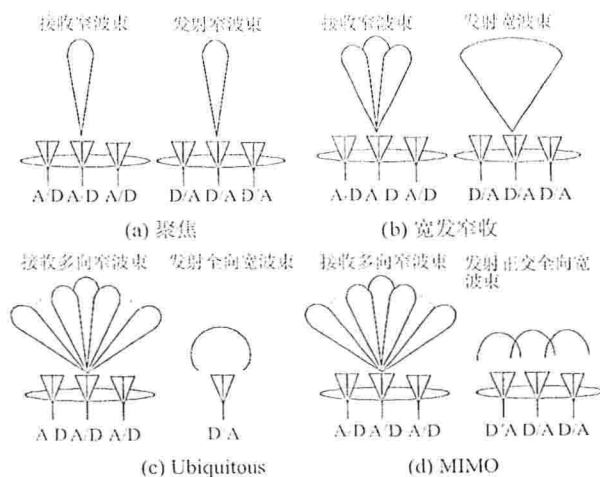


图3 数字阵雷达灵活的波束形式^[14]

2.2 相比传统数字阵雷达的优势

机会数字阵雷达相对传统数字阵雷达更易实现如上所述的几种工作模式。

“凝视”工作模式下的机会数字阵雷达波束形式如图3(c)所示,需要发射“全向”波束,非聚焦的“全向”波束能量随距离迅速衰减,波束增益和信噪比都难以满足检测阈值,作用距离大为受限,相关文献^[16-19]均不同程度地提到了Ubiquitous面临的这一技术难题,并给出了通过增加相干或非相干积累时间的办法以提高信噪比,而时间资源的占用必然导致系统实时性的降低。机会阵突破了传统平面阵的口径限制具有与平台相当的照射孔径,因此,可以用较少的积累周期获得较高的信噪比和作用距离。

波束形式如图3(d)的MIMO模式下数字阵雷达通过分散的天线单元和统计独立的辐射波形以获得较高的空间分集增益,机会数字阵雷达单元随

机分布,通过“机会性”地选择单元的间距和工作波形恰恰可以很容易满足MIMO模式的分散要求,利于取得更好的空间分集效果。比如,机会阵宽阔的基线和空间任意分布的单元在MIMO模式下,用于对抗目标闪烁引起的RCS起伏和多径干扰方面具有重要意义^[21-22]。

机会数字阵雷达还具有很强的平台隐身性能和生存能力,低的截获概率和单元单点失效率、极高的角分辨率和目标检测能力等优势。

3 机会数字阵雷达应用技术

从系统的角度来看,机会数字阵雷达面临如下几方面应用技术难题。

3.1 波束综合

机会数字阵雷达单元数目众多,3-D空间任意分布,波束综合比较困难。传统的非规则阵列设计方法,如Skolnik提出的密度锥削法^[23]虽可满足大部分大型稀疏阵列波束综合要求,但不能保证副瓣峰值电平被有效抑制。动态编程法^[24]虽然可以控制副瓣电平却容易陷入局部最优。共轭梯度算法也是稀疏阵波束综合的优化算法,但不适合优化大量离散的参数^[25]。

机会数字阵3-D空间任意分布单元的波束综合问题是一个多约束,多目标解的复杂优化问题,解决这类问题,人工智能优化算法显示出应用潜力,其中由Holland^[26]提出的模拟达尔文生物进化论的遗传算法(GA),已在电磁场和微波领域得到越来越广泛的应用^[27]。GA是一种全局性的优化方法,不仅可以避免计算搜索过程陷入局部最优,而且通过适应度函数的构造,即使阵元处于不规则的分布状态也能以极大的概率找到全局最优解。近年来不少学者在原有GA原理基础之上,提出了各种改进遗传算法和在波束综合方面的应用方法^[28-29]。但绝大多数集中于2-D平面稀疏阵的波束综合优化,在3-D空间由于波束综合需要考虑的自由度和参数较多,算法设计相对复杂,这方面的研究相对较少。

国外在此领域的研究现状为,Jon A B^[30]给出了球坐标系下,天线单元在3D空间波束综合的数学模型,并作了初期的算法仿真。Lance C E^[31]在此基础上进行了24单元的暗室小面阵试验,设计了简便的两个垂直正交平面近似模拟3D空间,如图4(a)所示,在两个垂直平面上稀布天线单元进行暗室近场测试,获得了与算法预期的结果,如图4(b)

所示,图中表示GA算法的综合结果。

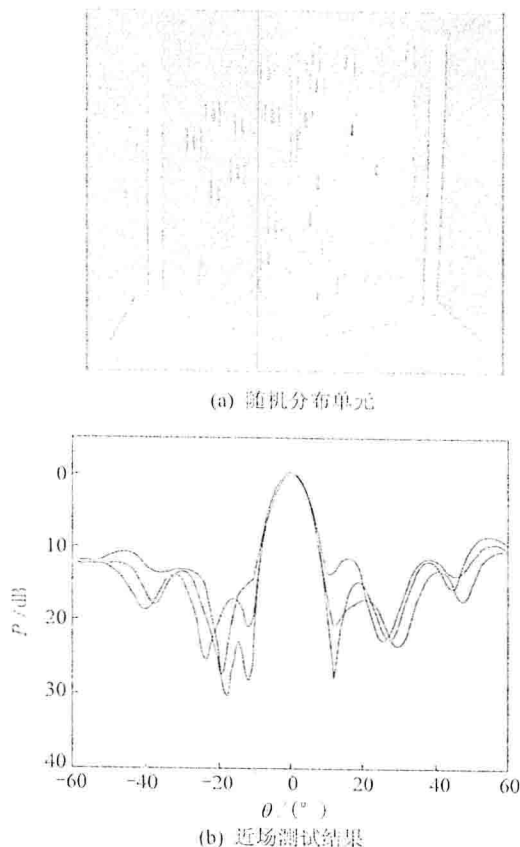


图4 机会阵小面阵单元分布与近场测试^[27]

采用基于最小二乘适应度评估-遗传算法(LSFE-GA)可以进一步优化程序,通过比较若干代适应度变化趋势预测算法收敛状况从而自适应地改变遗传操作因子,能够避免算法程序过早收敛和收敛缓慢的问题,从而提高算法寻优的效率。图5(a)为3-D空间50个随机分布单元的优化选取结果(其中以*表示工作,○表示关闭),其中40个单元被选取工作。图5(b)是GA算法波束综合优化结果,波束指向为法向,初步验证了遗传算法用于3-D机会阵单元波束综合的有效性,详细的算法原理,算法过程及仿真结果将由另文给出,这里不再赘述。

3.2 信号同步与传输

机会数字阵雷达成千上万的天线单元任意分布于宽阔的载体平台的任意空间,雷达信号传输、同步与数据分集都存在理论和技术难题。表1给出了数字阵雷达信号特点与传输要求,由表中可以看出上行链路中本振信号、时序同步信号对同步性的要求是最高的,下行I/Q数据却对通道容量有很高的要求。

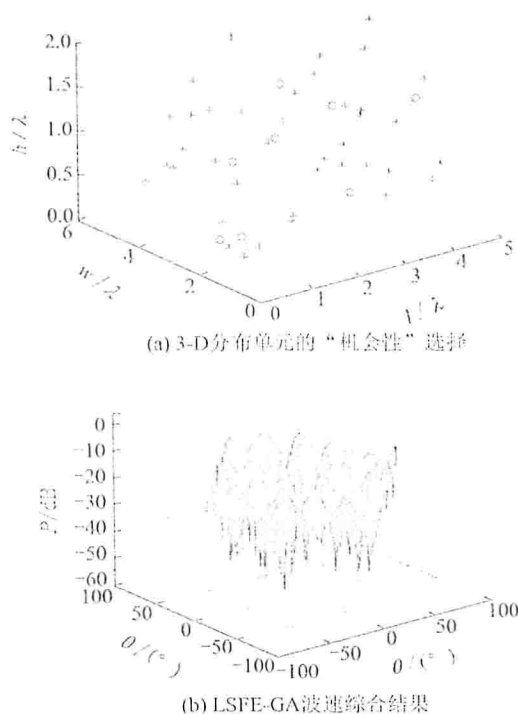


图5 机会数字阵的波束综合

表1 数字阵雷达信号特点和传输要求

信号种类	功能	特点/要求
波形产生控制	DDS 波形产生	带宽低,同步性较低
上 其他控制信号	逻辑控制	带宽低,同步性低
行 时序同步信号	调制/解调起始	同步性高,带宽低
本振信号	载波调制/解调	同步性高,色散低
监测信号	阵面监测	带宽低,同步性低
下 I/Q 数据信号	雷达回波	数据率大,同步性较高
行 数据同步信号	位采样/帧同步	带宽较低,同步性较高
位置信号	位置同步补偿	数据率低

Yong Loke^[5]提出采用无线传输技术解决阵面与信号处理机之间的上下行链路,原理如图1所示,图中分布于载体各个角落的单元与信号处理机之间均是通过无线传输信号,并提出了两种用于无线传输的同步算法,“Brute Force”和“Beam Tag”算法,从计算机仿真途径证明该算法的正确性。Eng C Y^[6]和Micael G^[7]根据算法要求设计了硬件同步电路,并在2.4G的工作频率上进行了同步性能测试,验证了无线传输雷达本振并进行同步调整的可行性。在2008年,Ibrahim K^[8]甚至提出了在无人飞行器(UAV)平台上放置分布式机会数字阵单元,通过无线技术实现空中与地面的雷达信号传输与同步。

目前,采用无线技术传输雷达本振和时序信号,这是一个富于创新而又不乏冒险的思路。须知

本振信号的频谱纯度、稳定性和时序信号的相参性(同步性)在数字阵雷达系统中起着至关重要的作用,直接影响到系统的可实现性。无线传输容易遭受周围环境的电磁干扰,多路径效应,遮蔽效应等影响,频谱纯度和稳定性很难得以保证。尤其在舰载系统中,恶劣的海面电磁环境将使无线传输面临挑战。以上文献所列举的研究工作仅仅从原理上验证了无线传输本振信号的可行性,但离工程应用还有一定距离,需要技术的进一步发展。

无线传输面临的另一个难题是如何解决下行链路的“海量”I/Q数据。显然从现有无线数据传输能力来看,难以满足机会数字阵Gb/s以上的数据率要求,但无线通信中MIMO-OFDM技术的进一步发展有望解决这一技术难题^[30]。

在现有技术条件下,光纤传输将是机会数字阵雷达可行的信号传输手段,尤其是舰载系统,光纤要比无线传输可靠得多。根据工程实践来看^[31],光纤不但可以获得纳秒级的同步精度和稳定的频率单色性,而且通过层级化的波分复用(WDM)技术也可实现下行“海量”数据的传输要求,如图6所示。

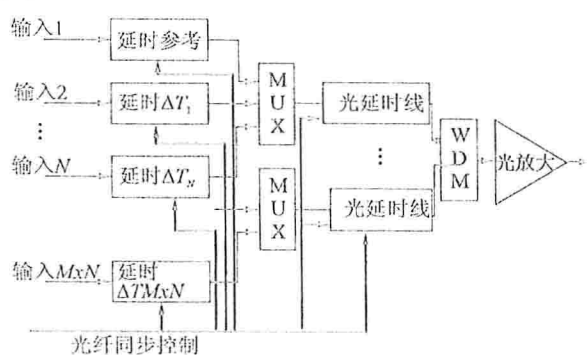


图6 机会数字阵雷达层级化光纤同步传输链

光纤不足之处在于不能摆脱线缆介质,无法实现不同载体平台,如空-天-地之间的立体通信。而无线传输和自由空间激光通信将不受此约束,是今后通信技术的重要发展方向,在机会数字阵和分布于不同平台的分布式数字阵雷达领域具有重要应用潜力。

3.3 资源管理

传统的多功能相控阵雷达侧重时间-能量的二维管理,即在有限的时间内,面临多种任务需求,如何有效地分配能量。一种作法是多波束技术,另一种是将时间划分成不同的任务时隙,按照各种任务的优先级分时复用地占用系统资源,即任务调度。机会阵雷达的资源管理为空间-时间-能量的3-D

- [11] 张伯彦,蔡庆宇. 相控阵雷达的自适应调度和多目标数据处理技术[J]. 电子学报, 1997, 25(9): 1-5.
- [12] Miranda S L C, Baker C J, Woodbridge K, et al. Comparison of scheduling algorithms for multifunction radar [J]. IET Radar, Sonar & Navigation, 2007, 1(6): 414-424.
- [13] Fishler E, Haimovich A, Blum R, et al. MIMO radar: an idea whose time has come [C]//Proceedings of the 2004 IEEE International Radar Conference. Philadelphia: IEEE, 2004: 71-88.
- [14] 何子述,韩春林,刘波. MIMO 雷达概念及其技术特性分析[J]. 电子学报, 2005, 33(12): 2443.
- [15] Daniel J R. Adaptive MIMO radar waveforms [C]//Proceedings of the 2008 IEEE International Radar Conference. Rome: IEEE, 2008: 26-30.
- [16] Daniel J R, Peter P. Ubiquitous MIMO multifunction digital array radar [C]//Conference Record of the 37th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers. Pacific Grove: IEEE, 2003: 1057-1064.
- [17] Skolnik M. Systems aspects of digital beam forming ubiquitous radar[R]. NRL Report; NRL/MR/5007-02-8625, 2002.
- [18] Skolnik M. Attributes of the ubiquitous phased array radar [C]//IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology. Boston: IEEE, 2003: 101-106.
- [19] Alter J J, White R M, Kretschmer F F. Ubiquitous radar: an implementation concept [C]//Proceedings of the 2004 IEEE International Radar Conference. Philadelphia: IEEE, 2004: 65-70.
- [20] Alter J J, White R M. 泛探雷达: 一个实施构想[J]. 空载雷达, 2006(1): 1-9.
- [21] Fishler E, Haimovich A, Blum R. Performance of MIMO radar systems: advantages of angular diversity [C]//Conference Record of the 38th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers. Pacific Grove: IEEE, 2004: 305-309.
- [22] 戴喜增,彭应宁,汤俊,等. MIMO 雷达检测性能[J]. 清华大学学报, 2007, 17(1): 88-91.
- [23] Skolnik M I, Sherman J W, Nemhuaser G, et al. Statistically designed density tapered arrays [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1964, 12(4): 408-417.
- [24] Skolnik M I, Nemhuaser G, Sherman J W. Dynamic programming applied to unequally spaced array [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1964, 12(1): 35-43.
- [25] Fong T S, Birgenheier R A. Method of conjugate gradients for antenna pattern synthesis [J]. Radio Science, 1971, 6(12): 1123-1130.
- [26] Holland J H. Adaptation in natural and artificial systems [M]. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1975.
- [27] 王玲玲,方大纲. 运用遗传算法综合稀疏阵列[J]. 电子学报, 2003, 31(3): 2135-2138.
- [28] Haupt R L. Antenna design with a mixed integer genetic algorithm [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2007, 55(3): 577-582.
- [29] Villegas F J. Parallel genetic-algorithm optimization of shaped beam coverage areas using planar 2-D phased arrays [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2007, 55(6): 1745-1753.
- [30] Heejung Y, Kim M S, Choi E Y, et al. Design and prototype development of MIMO-OFDM for next generation wireless LAN [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2005, 51(4): 1134-1142.
- [31] 郑清. 光纤传输技术在雷达系统中的应用[J]. 光通信技术, 2006, 30(4): 54-58.
- [32] Miranda S, Baker C, Woodbridge K, et al. Knowledge-based resource management for multifunction radar: a look at scheduling and task prioritization [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2006, 23(1): 66-76.
- [33] Miranda S L C, Baker C J, Woodbridge K, et al. Fuzzy logic approach for prioritisation of radar tasks and sectors of surveillance in multifunction radar [J]. IET Radar, Sonar & Navigation, 2007, 1(2): 131-141.
- [34] Barbaresco F. Radar resources optimization by adaptive search domains priority assignment based on most threatening trajectories computation [C]//Institution of Engineering and Technology Seminar on Intelligent Sensor Management. London: IET, 2007: 28-36.

OPPORTUNISTIC DIGITAL ARRAY RADAR AND ITS TECHNICAL CHARACTERISTIC ANALYSIS

LONG Wei-jun^{1,2}, BEN De^{1,2}, PAN Ming-hai¹, SHU Xian-rong², HAN Yan-ming³, PAN Jin-bo¹

(1. College of Information Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing, 210016, China.

2. Nanjing Research Institute of Electronics Technology, Nanjing, 210013, China

3. Military Delegation of Airforce at Hu-ning Region, Nanjing, 210013, China

Phone: (+86-025-83783940), E-mail: chinacohit@163.com)

Keywords: opportunistic digital array radar (ODAR); conform array antenna; multi-input multi-output (MIMO); genetic arithmetic (GA); synchronization

Abstract

Based on the Digital Array Radar (DAR), conformal array, sparse array, Multi-Input Multi-Output (MIMO) system and Ubiquitous radar, a new radar system—the Opportunistic Digital Array Radar (ODAR) has been proposed in recent years. The concept, principle and characteristics of the ODAR are presented in this paper. Furthermore, the challenges are also analyzed from the aspects of the random element distributing, digital beam forming, signal transmission synchronization and adaptively intelligent decision, etc. The Genetic Arithmetic (GA) is exploited to carry out the beam shaping optimization of 3-D randomly distributed elements. The simulation results indicate that the method is feasible. The mathematics models of phase perturbation are preformed to implement the clock synchronization and adaptive beam steering. The adaptive synchronization design of signal transmission is adopted to improve the synchronization precision. The phase perturbation module is built to analyze the influence on ODAR specification by optical fibre or wireless links.

1 Introduction

As a new radar concept, the Opportunistic Digital Array Radar (ODAR) has been proposed by some scholars in recent years [1~4], based on Digital Array Radar. All of the ODAR elements are the Digital Transmitter and Receiver Module (DTR). The conformal elements are randomly located on the surface of the platform, densely placed in hull over the entire platform as much as possible to obtain bigger power and illumination range. For the different tactical purposes and battlefield conditions, the randomly distributed elements will work according to the certain opportunities (probability). The ODAR has the characteristics of Digital Array Radar, Conform Array, Sparse Array and Multi-Input Multi-Output (MIMO) system. Adopting statistical method and adaptively intelligent decision system, the tactical requirements, radar characteristics, space-time-energy management and other factors will be considered comprehensively to make the total radar system an intelligent combat platform and to obtain an optimization of objectives and resources.

Some critical problems of the ODAR have been investigated by some institutions in recent years [1~4]. The “opportunistic array” concept has even been introduced into the clustering Unmanned Aerial Vehicle (UAV) by the Naval Postgraduate School (NPS) [4]. The entire opportunistic array consists of some sub-opportunistic arrays that are assembled on the different UAV platforms and adopt the distributed digital beam forming method to complete signal synchronization and data diversity via wireless transmission. The ODAR, which breaks through the conventional phased array radar and has outstanding performance and tactical advantages can probably be the next generation radar of the U.S. Navy warships following the AEGIS AN/SPY-1 system [1~4]. In a word, the ODAR research must be of important military significance and potential application value.

2 Concept, Principle and Characteristics

The idea that the radar was classically regarded as the core of the total combat platform should be converted if the “opportunistic array” concept was put forward.

Generally speaking, the combat platforms are designed around the radar system. For example, the famous AEGIS Warship (AEGIS AN/SPY-1), in order to supply the radar with adequate power, the design of hull should take into account of sufficient deck space to accommodate a large volume of radar. As a prerequisite, the performance of radar should be guaranteed and the design of warship must be carried out around that, so the stealth and maneuverability of the warship will not be retained. In modern wars, radar is confronted with increasingly complicated battlefield environments and the threats from objects, so the necessary consideration in military application is to retain the platform stealth performance to improve survival capability. Therefore, the stealth characteristics of the warship, penetration capability and tactical performance will become the core of the combat platform design. Therefore, the “opportunistic array” was proposed to address those problems [1~3]. In this sense, the “opportunistic array” has made the warship itself be a design core of the total combat system.

All of the ODAR elements are the DTR modules which antennas conformly and sparsely are embedded into the carrier surface or hull, so as to retain the stealth performance of warship. On this viewpoint, the ODAR has the characteristics of the traditional conformal radar. Nonetheless, the ODAR is not just a simple conformal array, due to its

antennas are randomly and aperiodically distributed in 3-D space. According to the purposes and requirements of tactics, we can allow parts of the units to work selectively, while others are shut down simultaneously. In another case, parts of the units are used for transmitting while others are receiving. Single or multiple transmitting beams or receiving beams are formed in the space simultaneously. The choices of antennas are opportunistic, rather than constant as traditional phased array. With the variation of tactical purposes, battlefield conditions and the functional requirements, the ODAR will real timely adjust the beam forms and “space-time-energy” managements to obtain a dynamic optimization by adaptively intelligent decision system.

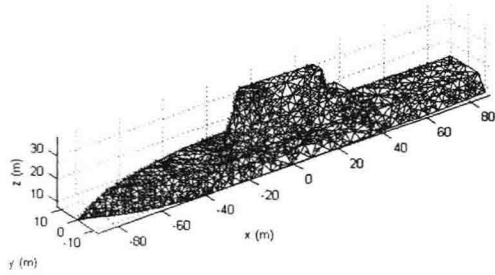
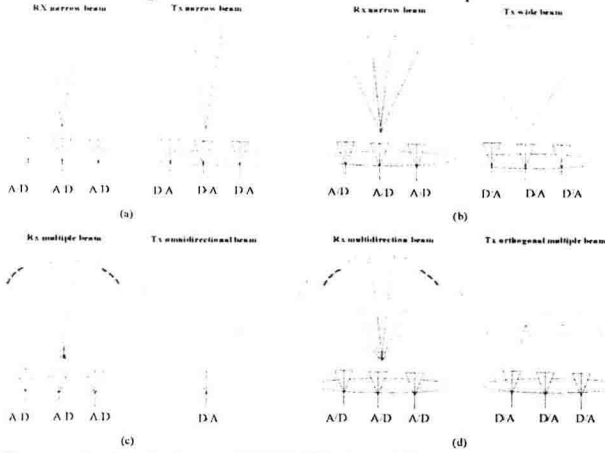


Figure 1. The ODAR on warship



(a) Focused simple beam DBF (b) Broad beam transmit, multi narrow beam receive (c) “Ubiquitous” (d) MIMO mode
Figure 2 [5]. The flexible beam forms of the ODAR

The ODAR is of the following predominance:

- The large power aperture gain (PAG) products, flexible beam forming can be achieved easily by installing antennas in 3-D space.
- The opportunistic array is a tremendous and flexible MIMO system.
- The ODAR is a kind of multifunction phased array radar which can realize the multi-functions simultaneously in terms of a certain opportunity.

Besides, compared with conventional AEGIS AN/SPY-1 radar system, the ODAR has lower single point failure rate. Even parts of elements are suffered attack; the system will still be able to work effectively.

3 Beam Shaping and Signal Synchronization

Although the ODAR has many advantages that the conventional radar has not, some theories and technology challenges are arising. Firstly, it is difficult to beam shaping for a great of antennas are randomly and sparsely located in 3-D space. Using sparse array can make a fewer elements acquire narrower beam, but some higher side lobe level will appear. As a traditional design way of irregular array, the technique of density taper presented by Skolnik [6], can meet the requirements of parts of lager sparse array for beam shaping, but it can not always effectively suppress the peak level of side lobe. Genetic algorithm (GA) is a global optimization method, which can avoid trapping in local optimization in the process of calculation search. Designing fitness function, it can find globally optimal solution with great probability, though the array elements are irregularly distributed. Therefore, GA will be employed as the optimization tool for the ODAR beam shaping.

3.1 GA is exploited to optimize beam shaping

Genetic algorithm (GA) is used to carry out the beam shaping, opportunistic selection of antenna elements and amplitude-phase weighting. The amplitude-phase optimum weighting of the ODAR elements can be achieved by operating a group of GA programs. By theoretical derivation, the array factor of 3-D randomly distributed antennas is given by:

$$G_a = (3/2N)^{1/2} R \left| \sum_{k=1}^N A_k I_k e^{[2\pi j(R-\rho_k+\Phi_k)]} / \rho_k \right|^2 \quad (1)$$

Where

N is the number of array elements

ρ_k is spatial coordinates of the k th element

R is the coordinate of the observation point

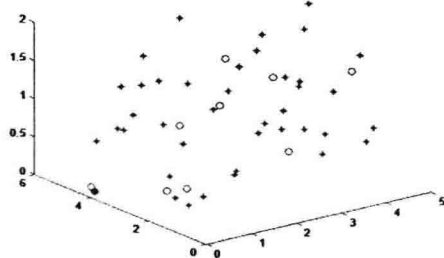
A_k is the switch-status of the k th element, “0” denotes off, “1” denotes on

I_k is the current of the k th element

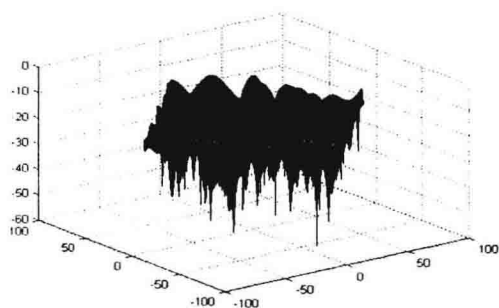
Φ_k is the phase weighting factor of the k th element in wave number. It is the phase shift of element k relative to a “reference element” located at the origin and the combination of phase error corrections from synchronization circuit, compensation for hardware and position errors. Assume all elements are isotropic radiators and neglect the mutual coupling between the elements, this paper will adopt the Equation (1) as the mathematics models of GA beam shaping. The array factor needs to be calculated for each individual as a beamforming function of the ODAR. Population fitness function is evaluated by “roulette wheel” selection. Defining the fitness function is the crucial step in the evolutionary process. In terms of different tactical demands and working patterns, the different fitness functions can be designed. For instance, in order to acquire higher suppressed ability of clutter, improve detection performance of weak target signal in strong clutter background, the fitness function is devised as the ratio of the peak power in main lobe to the average power

in the side lobes. The higher the ratio is, the stronger fitness capability an individual of genetic population has.

In this paper, fifty antenna elements randomly placed in a 3-D space are simulated. The GA population consists of 600 individuals and the genetic generation is chosen as 50. The sample number of beam forming is 128 and the ratio of genetic operations for the reproduction, crossover and mutation respectively is: 0.4, 0.5, and 0.1. The final selected elements by optimization are shown in Figure 3(a), where “*” denotes the active elements, “o” denotes the inactive elements. It is assumed that there are no extra errors and all elements have the equally initial phase weighting 0, the amplitude $|A_k| = 1$. The 50 antenna elements are randomly placed in a 3-D space of length 5λ and width 5λ , height 2λ . The simulation result indicates that the side lobe level by optimization is $-12.33dB$ shown in Figure3 (b). It takes 4 minutes to complete stimulation. When the population is expanded to 6000, the optimization results can reach $-13.37dB$ by 37 minutes simulation, which approaches to the theoretical level of uniform array. The computational resource is Pentium 2.4G PC. The simulation indicates that GA can approach to theoretically optimum solution quickly even facing complex problem as the beam shaping optimization for a 3-D ODAR. With the increment of the number of generation and genetic population, the evolutionary result can be ameliorated further. In the practical application, according to different tactical requirements, the variable fitness functions are acquired to carry out all kinds of radar functions.



(a) Elements selection



(b) The pattern after GA process (normalization)
Figure3. Beam shaping of ODAR

3.2 Signal Synchronization and Data Diversity

Transmitting and receiving DBF of the ODAR require antenna elements to work synchronously. It means that the Local Oscillation (LO) signal and the digital reference clock should be sent out to the DTR modules simultaneously, so the synchronization is a crucial problem to the ODAR. The other challenge is facing with how to collect the digitized I/Q echo data that returns from the DTR modules. Because the capacity of echo data is proportional to the sample rate and the receiving channel number, the ODAR must deal with the two challenges: signal synchronization and data diversity. Optical fibre and wireless communication will be effective ways to address the above difficulties [9,10].

The clock and data link architecture for the ODAR is shown as Figure 4. Compared with the signal transmitting link of traditional radar, a conspicuous change is that the adaptive control of the LO signal and digital reference clock is proposed. The function is to synchronize all the elements by dynamically. The higher the frequency is and the greater the bandwidth is, the higher requirements of synchronization precision are.

The signal synchronization adaptively control method for the digital reference clock and LO signal is proposed in this paper, as shown in Figure 4. In this method, digital reference clock and the LO signal are distributed respectively. The feedback signal from each element is compared with the received signal returned from the reference element to calculate the phase variation. The reference channel should be of the shortest wave distance or truly delay time. Utilizing recurrence algorithm, the phase variation can be adjusted real-timely to compensate for the phase errors resulted from path length, signal jitter or other factors to assure the radar system work synchronously. The “brute force” and the “beam tagging” synchronization techniques are proposed [3,9] to use for dynamic measurement and correction of the LO phase errors. The phase perturbation item in Equation (3) will be compensated in turn by the synchronization adaptively control system whose principle is based on a square-law detection circuit, a digitized phase shifter and truly time delay circuit.

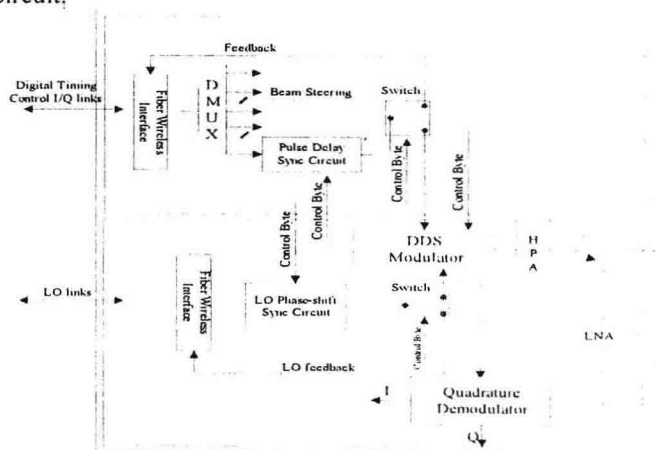


Figure4. Wireless/optical-fibre transmission synchronization architecture by adaptively control system for ODAR