2019年2月

文章编号: 2095-4980(2019)01-0096-04

一种轻巧型接收数字波束雷达系统的实现

娄宝芳

(西安导航技术研究所,陕西 西安 710068)

摘 要:针对数字波束相控阵雷达多通道问题,提出利用多路复用技术实现全数字阵接收多波束相控阵雷达的一种解决方案。天线阵列直接采用高频二相调制,将接收多通道直接模拟合成一路传输处理,基带提取各个天线单元回波数据信号、相位幅度加权,基带实现任意接收数字多波束。该技术突破单通道数字波束相控阵雷达接收技术,使天线体积大幅度减小,雷达系统轻巧,低成本;灵活软件配置阵列,降低调试、测试、工艺、加工复杂难度,有利于雷达综合性能提升。
关键词:多路复用;数字波束形成;相控阵雷达;高频二相调制器;正交二相编码
中图分类号:TN249
文献标志码:A

An implementation of a lightweight receiver digital beam radar system

LOU Baofang

(Xi'an Research Institute of Navigation Technology, Xi'an Shaanxi 710068, China)

Abstract: For multi-channel problem of digital beam phased-array radar, multiplexing technology is proposed to achieve full digital array receiving multi-beam phased array radar. The antenna array is modulated by HF dual phase directly, the receiving multi-channel is simulated and synthesized into one channel for transmission processing. The base-band extracts echo signal data from each antenna unit and performs phase amplitude weighting, so as to achieve receiving digital multi-beam. This technology breaks though the receiving technology of single-channel digital beam phased array radar, which makes the volume of antenna greatly reduced, the radar system lightweight, low cost with flexible software configuration array, and improves the performance of radar, as well as reduces the complex level of modulation, test, technique and processing. It helps to improve the comprehensive performance of radar.

Keywords: multiplexing; Digital Beam Forming(DBF); phased array radar; HF two phase modulator; orthogonal two-phase coding

无论是雷达系统还是通信系统,数字波束形成(DBF)技术已经成为一个重要技术手段^[1],当前接收 DBF 技术 已经较为成熟。随着电子技术和数字技术发展,数字阵列雷达得到广泛关注,数字收发组件取代传统相控阵 (Transceiver,T/R)组件。但是,数字多波束形成系统的体积大,成本高,通道一致性较难保证,通道校准频繁, 信号同步同相难,高速采样、大数据存储、高频大带宽应用难度大,存在系统可靠性、调试/工艺/加工复杂等问 题,制约了数字多波束相控阵雷达技术的快速发展。特别对系统体积、质量有特殊要求的平台,应用还存在一定 难度。本文对基于多路复用技术在 DBF 相控阵雷达机理研究验证提出了一种解决方案。通过仿真论证和试验验 证平台研制构建,成功实现了多路复用技术在接收 DBF 相控阵雷达系统可行性的验证。若将该技术进行芯片集 成或微系统设计,雷达系统将变得更加轻巧。

1 多路复用技术接收 DBF 相控阵雷达

多路复用技术利用通信概念中扩频解扩技术^[2-3],将 DBF 相控阵雷达系统^[4]基于天线单元或子阵所对应的多 个通道^[5],采用相应数量的二相正交编码码序,对通道高频信号进行二相正交码调制,复用为一路信号^[6]。它解 决了高频通道互扰、一致性问题,保证各个通道"相对"幅相稳定。克服了多通道信号同相同步难,大幅度降低 数据采集量、存储量和系统成本。

1.1 多路复用技术接收 DBF 相控阵雷达原理组成

多路复用技术接收 DBF 相控阵雷达原理组成框图见图 1。接 收多路复用技术 DBF 相控阵雷达系统,天线阵列没有移相器、衰 减器,相位幅度不由 T/R 数字硬件电路控制,而是在天线接收高 频阵列端,直接连接接收波块高频二相编码调制器,将基于天线 单元高频回波各路信号,同时刻直接高频二相正交编码调制,多 路复用通过合成器聚合一路。通过一路接收通道,即一路高频接 收、一路中频接收、一路模数转换(Digital-to-Analog converter, A/D)、一路数字下变频(Digital Down-Converter, DDC),将聚合复 用信号在基带数据采集^[7],基于天线单元信号数据提取,然后进 行接收 DBF。



 Fig.1 Principal diagram of DBF in receiving array radar by using multiplexing technology
图 1 基于多路复用技术的接收阵列雷达数字波 束形成原理图

天线端的相位幅度控制已经由数字基带通过相位幅度加权实现,可以在系统约束条件下形成任意不同指向波束。同时通过对 正交码的控制,可以使天线阵列规模动态配置,软件化管理,灵

活的子阵划分^[5]。天线阵面可在系统约束条件下任意裁剪和扩展。同时,高频、大带宽应用具有性能优势。天线端不再有微波电缆和高频信号传输损耗,克服了天线移动带来的互扰耦合^[8]。天线结构可以薄片化设计,尤其在 天线测试精确度和系统可靠性上有明显的提升。

接收多路复用技术 DBF 相控阵雷达系统的未来设计,应该芯片集成或微系统实现。天线系统和接收通道一体化设计,软件化管理。对于小规模雷达系统可以直接集成芯片化设计实现;对于大规模雷达系统可以实现"积木"拼接构架。

1.2 多路复用技术接收 DBF 相控阵雷达试验平台

为了实现对多路复用技术接收 DBF 相控阵雷达机理的研究验证,构建了试验平台。试验平台由天线、发射、 接收波块编码控制、接收、数据处理、信号处理^[9]、终端控制分系统组成。每个分系统基本为一个模块单元。试 验验证平台技术指标: a) 天线阵面规模为 4×16; b) 工作频率为 X 波段; c) 探测距离为 7.5 km(目标散射面积 σ大于 40 m²); d) 角度范围: 方位为-30°-30°, 俯仰为-10°-10°; e) 形成波束能力为不少于 3 个接收波束。

1.3 多路复用技术接收 DBF 相控阵雷达试验结果

1.3.1 正交二相编码的验证

为了验证该技术编码的正交性,接收波块能够在保证高频调制复用信号在数字域解复用后信号的幅相特性, 对 2 路、4 路、多路、最大为平台单元 64 个,分别进行信号提取解复用测试;同时,通过编码码序变换和码长 任意调整,验证了接收波块、码控单元的实时控制能力。

1.3.2 天线方向图

暗室条件下对天线方向图的测试结果(未进行校准方向图)见图 2。图 3 是对天线阵列设计加工结果与该接收 波块技术研究性能对方向图影响的分析比对,其中直线为未校准数据(未安装天线辐射阵面测试数据)方向图,点 画线为经校准数据修正后的方向图,圆点为按设计理论值形成的理想方向图。



1.3.3 天线增益

1) 天线设计的接收增益理论值为 17 dB, 实际测试天线增益 16.2 dB。

2) 对接收天线全阵面与阵面各行增益数据进行分析

图 4 和图 5 中,直线为全阵面方向图,点画线为面阵中各 行方向图,标识为(1),(2),(3)和(4)。校正后全阵面方向图相对于 各行方向图平均增益为: 104.6-(93.26+93.12+92.71+92.43)/4= 11.720 0。该值已经较为接近理论值 12.041 2 dB。

1.3.4 雷达威力测试

通过雷达威力公式推算,对目标 σ为 40 m²探测比对目标 100 m²探测,雷达威力总得益为 39.51 dB,提高了 10 倍,可 探测距离为 9.78 km。



1.3.5 地物探测

对大地地物及建筑进行试验场探测,接收多波束^[5]见图 6。

2 结论

多路复用技术接收 DBF 相控阵雷达经过验证可行,为 DBF 相控阵雷达的应用提供了一个可行方案。该技术具有体积小, 质量轻,成本低,软件化规划配置天线,天线可裁剪、可扩展、 高频大带宽应用具有潜力。具有克服高频通道扰动、互耦能力, 幅相控制精确度高,能够提升 DBF 相控阵雷达性能指标,使 DBF 相控阵雷达的设计研制简单,可靠性提高,尤其适合单片 雷达研制,是一种"轻巧性"接收雷达。适用在设备体积、空 间、质量、成本等有特别要求的平台上。适合无源探测雷达、 集群作战雷达以及军民装备需求。目前正致力于完成多路复用 发射系统机理验证。



ig.3 Analysis of direction and azimuth of antenna 图 3 天线方位方向分析图



 Fig.5 Gain relationship between calibrated antenna azimuth pattern and each line pattern
图 5 校准后天线方位方向图与各行方向图增益关系

图 5 校准后大线方位方同图与各行方问图增益:



参考文献:

- [1] 张光义,赵玉洁.相控阵雷达技术[M].3版.北京:电子工业出版社, 2010. (ZHANG Guangyi,ZHAO Yujie. Phased array radar technology[M]. 3rd ed. Beijing:Publishing House of Electronics Industry, 2010.)
- [2] 田日才. 扩频通信[M]. 北京:清华大学出版社, 2007. (TIAN Ricai. Spread spectrum communications[M]. Beijing:Publishing House of Tsinghua University, 2007.)

- [3] 暴宇,李新民. 扩频通信技术及应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2011. (BAO Yu,LI Xinming. Spread spectrum communications and application[M]. Xi'an,China:Publishing house of Xidian University, 2011.)
- [4] MERRILL I Skolnik. 雷达系统导论[M]. 3 版. 左群声,徐国良,马林,等,译. 北京:电子工业出版社, 2010. (MERRILL I Skolnik. Introduction to radar systems[M]. 3rd ed. Translated by ZUO Qunsheng,XU Guoliang,MA Lin,et al. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2010.)
- [5] 刘洋涛,李晓明,曹书华. 一种子阵级 DAR 同时多波束拟合测角方法[J]. 雷达科学与技术, 2017,15(2):215-219. (LIU Yangtao,LI Xiaoming,CAO Shuhuan. An approach for simultaneous multi-beam fitting angle measurement in Digital Array Radar at subarray level[J]. Radar Science and Technology, 2017,15(2):215-219.)
- [6] BERGAMO M A. Spread Spectrum Digital Beam Forming(SSDBF) radar[C]// 2010 IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology. [S.l.]:IEEE, 2010:665-672.
- [7] 曹凯,陆佩忠,邹艳,等. 一种基于多通道欠采样宽带频谱感知设计[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2017,15(6):940-945. (CAO Kai,LU Peizhong,ZOU Yan,et al. Design based on multi-channel sub-sampling for wideband spectrum sensing[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2017,15(6):940-945.)
- [8] 李杰然,李亮. 天线隔离度及其测试方法分析[J]. 舰船电子对抗, 2010,33(5):51-53. (LI Jieran,LI Liang. Analysis of antenna isolation and its test methods[J]. Shipboard Electronic Countermeasure, 2010,33(5):51-53.)
- [9] CLIVE Alabaster. 脉冲多普勒雷达—原理、技术与应用[M]. 张伟,刘洪亮,译. 北京:电子工业出版社, 2016. (CLIVE Alabaster. Pulse Doppler radar:technology,applications[M]. Translated by ZHANG W,LIU H L. Beijing:Publishing House of Electronics Industry, 2016.)

作者简介:

第 1 期



娄宝芳(1966-), 女,河北省定兴县人,本科,高级工程师,主要从事相控阵雷达信号处理、波束控制、SSDBF相控阵雷达技术系统工程研究,曾获中电集团科技进步一等奖.email:baofanglou@163.com.