

连续波体制雷达直波泄漏抑制方法与系统设计

耿道田¹, 刘 峥²

(1. 空军工程大学 理学院, 陕西 西安 710051; 2. 西安电子科技大学, 陕西 西安 710071)

摘 要:针对连续波体制雷达直波泄漏问题进行分析,给出了一种模数混合式连续波雷达直杂波抑制方法,提出了数字化直杂波滤波器与接收通道均衡滤波器级联的系统实现方案,并通过计算机仿真及雷达外场试验对上述直杂波抑制方法及系统实现方案的有效性进行了验证。

关键词:连续波雷达;直波泄漏;杂波抑制;雷达信号处理机

中图分类号: TN957.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2007)06-0037-03

连续波(Continuous Wave, CW)体制雷达与脉冲体制雷达相比具有雷达设备简单、发射功率低,区分动目标的能力强等特点^[1]。然而,发射信号对接收通道的直波泄漏问题一直是提高该体制雷达的目标检测性能、限制该体制雷达应用的一个关键技术问题^[2-5]。近年来,鉴于连续波体制雷达对动目标的高精度测量能力和其具有低截获概率雷达的潜在优势,对连续波体制雷达相关关键技术的研究又受到人们的关注。如何有效地解决收发隔离把泄漏信号抑制到足够低的程度,对连续波雷达技术的发展具有十分重要的意义。本文针对一种多频连续波(Multi-frequency Continuous Wave MFCW)体制高精度测量跟踪雷达,讨论了直波泄漏问题,并给出了其直波泄漏的抑制方法和系统实现方案。另外,由于该体制雷达为地基对空探测雷达,仰角范围较大,近程地杂波等静态杂波的影响较大,也必须加以抑制。

1 直杂波抑制方法

抑制直波泄漏和地物杂波最常用的方法是滤波,其原理就是利用目标和直波泄漏以及杂波的多普勒频移不同,通过设计一定特性的滤波器将没有用的直波泄漏和杂波滤掉。在本雷达系统中,只考虑直波泄漏和地物杂波的抑制,而直波泄漏和地物杂波的中心频率都位于零频,所以需要设计一个在零频上有很深“凹口”的滤波器将直波泄漏和地物杂波加以滤除。

滤波器的实现可以采用模拟滤波和数字滤波两种方法。因为本雷达系统的目标参数测量对回波的相位要求很严格,所以在数字化处理系统中应当考虑使用数字 FIR 滤波。但是,由于接收机动态范围、AD 转换器位数和滤波系数的有效字长等影响,即使是采用数字 FIR 滤波,其抑制比也很难超过 70 dB。分析表明,系统的信直比很低,为 -104 dB,而信杂比在 50 km 处为 -57 dB,所以只需将直波泄漏抑制掉,杂波则相应地被抑制掉。

为了有效地检测目标并确保目标参数测量的高精度,必须要求很高的信噪比与信直比。对于噪声来说,比较简单,只要增大发射功率即可;对于信直比的提高,增大发射功率是无济于事的,只能通过增大滤波器的抑制比,但仅仅依靠数字滤波是不能完全抑制掉直杂波的。为此,本文采用数模混合式直杂波抑制方法,其信号处理框图如图 1 所示。

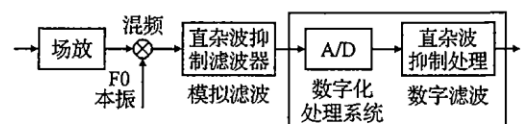


图1 模数混合直杂波抑制信号处理框图

收稿日期:2007-05-22

作者简介:耿道田(1964-),男,江苏徐州人,高级实验师,主要从事电子信号测量技术与实验室管理研究;

刘 峥(1964-),男,陕西咸阳人,教授,博士生导师,主要从事雷达信号处理技术与 DSP 系统设计研究。

图1中所示的只是正交混频后一个信号通道的示意图,其它通道类似。图1中模拟直杂波抑制滤波器实际是一个带通滤波器,其零频处的阻带宽度根据目标速度大于5 m/s的要求选为300 Hz,但是凹口深度应当很深,希望大于70 dB,采用一些高“Q值”器件可以达到该指标要求。图1中数字滤波的功能相同,根据前面直杂波和信号功率的估算,其抑制凹口深度只要大于30 dB即可对直杂波加以抑制。图2给出了抑制直杂波的31阶数字FIR带通滤波器的频率特性图。

由图2可以看出,FIR滤波器的过渡带较宽,带通滤波器在零频附近的阻带宽度只有几百赫兹,因此在1 kHz-20 kHz的频率范围内滤波器幅频会有一些的衰减。因而雷达对低速目标的检测将变得困难,必要时可以在这一频率范围内进行补偿或利用一些算法来对低速目标进行检测。带通滤波器的设计是依据目标运动所产生的多普勒频移范围来选定带通范围的,一般选取300 Hz-233 kHz为带通范围。图3给出了直杂波抑制的效果图。

图3中,信号有3个频率分量:9 kHz、80 kHz和200 kHz,信直比为30 dB,信噪比为20 dB。当原始信号通过直杂波抑制滤波器后,直杂波被抑制了35 dB,由于9 kHz的信号在滤波器的过渡带内,被衰减了18 dB,如果信号频率分量在5 kHz以下,雷达信号处理机将很难检测到这一频率分量。

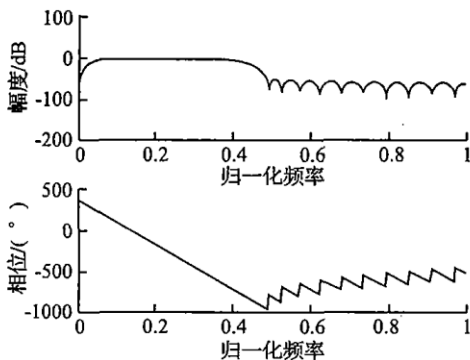


图2 直杂波抑制31阶数字FIR带通滤波器频率特性

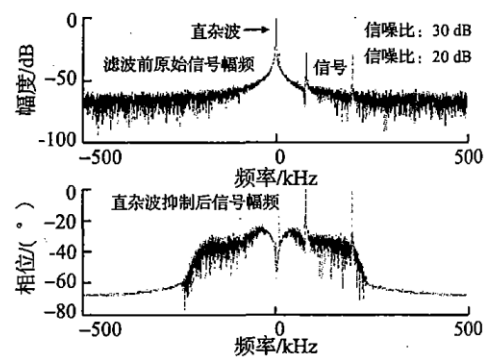


图3 直杂波抑制滤波效果分析

2 工程实现方案

在本文讨论的雷达系统中,接收通道还包括通道均衡滤波处理^[6-7],通道均衡滤波器与直杂波抑制滤波器都是通过数字FIR有限长滤波器来实现的。为此,我们可以根据数字信号处理理论将两个滤波器级联起来,原理就是根据数字信号在时域上的卷积等于在频域上的点乘。先将两个滤波器冲击响应变换到频域(傅立叶变换),频域对应点乘后再变换回时域(傅立叶逆变换)成为新的滤波器系数。由于硬件实现的各种考虑,我们选择级联滤波器系数为31阶。

图4给出了某个待均衡通道的通道均衡滤波器频率特性图。对应的直杂波抑制滤波器的频率特性图见图2所示。由数字信号处理理论可知^[8],两个31阶滤波器直接卷积最终形成61阶滤波器,但其滤波阶数太高,在本系统中不易实现。为此,我们将两个31阶滤波器级联为一个31阶滤波器,其具体的做法有以下3种可能的方案:

1) 先对每个31阶滤波器作61点DFT然后相点乘,再作31点IDFT,最终形成31阶系数。将这种方法的级联效果与直接卷积的理想结果相比较如图5(a),由图可知其相位特性变化太大,在对相位信息要求非常高的系统中不可取。

2) 先对每个31阶滤波器作31点DFT然后相点乘,再作31点IDFT,最终形成31阶系数。将这种方法的级联效果与直接卷积的理想结果相比较如图5(b),从图中可以看出在通道内幅度、相位特性保持很好,与直接卷积结果基本重合。

3) 先对每个31阶滤波器补零作62点DFT然后相点乘,再对点乘结果作2倍抽取,最后作31点IDFT,最终形成31阶系数。将这种方法的级联效果与直接卷积的理想结果相比较如图5(c),从图中可以看出在

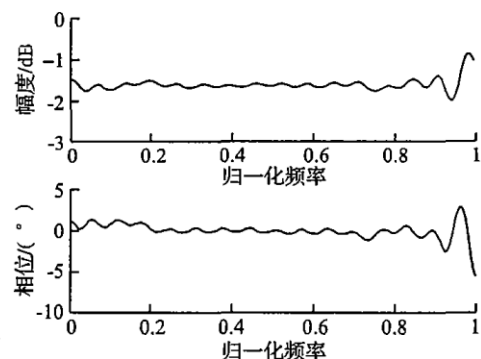


图4 通道均衡滤波器频率特性

通道内幅度、相位特性保持很好,与直接卷积结果基本重合。

比较图5中的(a)、(b)、(c)3幅图的级联滤波器的效果可以看出,图5(c)图在通带内最逼近理想的由直接卷积产生的滤波器图。故在工程实现中,数字化处理的均衡滤波器和直杂波滤波器的级联方法采用了方案3。

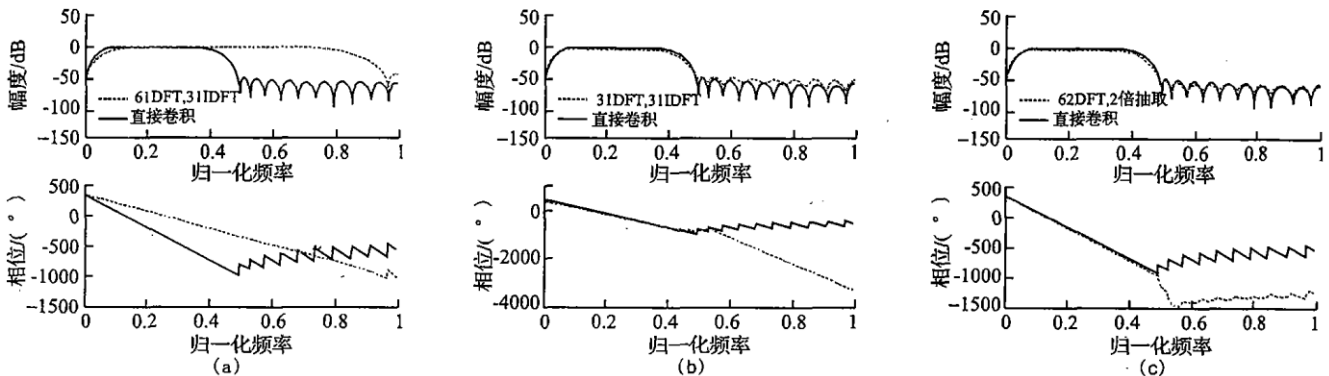


图5 均衡滤波器与直杂波抑制滤波器级联特性比较

3 结束语

连续波体制雷达对动目标的高精度测量能力,特别是其具有低截获概率雷达的潜在优势,而在近年来再次受到人们关注。直波泄漏的抑制技术是发展该体制雷达的一个关键技术问题,同时,对近程地物杂波的有效抑制也是提高该体制雷达目标检测性能的有效技术途径。本文研究并给出的模数混合式连续波雷达直杂波抑制方法,以及数字化直杂波滤波器与接收通道均衡滤波器级联的系统实现方案,通过采用计算机仿真结果充分验证了其有效性。本文提出的设计方案已应用于某型多频连续波高精度测量跟踪雷达系统中,在该型雷达外场试验中取得了良好的直杂波以及近程地物杂波的抑制效果。

参考文献:

- [1] 杰里 L 伊伏斯,爱德华 K 里迪. 现代雷达原理[M]. 北京:电子工业出版社,1991.
- [2] 刘国岁,孙光明. 连续波雷达及其信号处理技术[J]. 现代雷达, 1995, 17(6): 20-36.
- [3] 顾红,李玺. 解决连续波雷达泄漏的一种新途径——周期方波断续法[J]. 电子学报,1998,26(12): 7-11.
- [4] 郭联合,王东进. 毫米波连续波雷达载波泄漏对消[J]. 现代雷达, 2001, 23(4):41-44.
- [5] 斯科尔尼克 M I. 雷达系统导论[M]. 林茂庸译. 北京:国防工业出版社, 1992.
- [6] 吴涇,张玉洪,吴顺君. 用于阵列处理的自适应均衡器的研究[J]. 现代雷达, 1994, 16(1): 49-56.
- [7] 王磊,赵川,刘峥. 多频连续波雷达通道均衡研究[J], 信号处理, 2005, 21(4A): 15-17.
- [8] 胡广书. 数字信号处理理论、算法与实现[M]. 北京:清华大学出版社, 2004.

(编辑:田新华)

A Method and its Implementation of Restraining the Direct Signal Leakage for the Continuous Wave Radar

GENG Dao-tian¹, LIU Zheng²

(The Science Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China; 2. Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: The direct signal leakage of the Continuous Wave (CW) Radar is a key technique problem, which is analysed in this paper. And a mixed analog and digital method of restraining the direct signal leakage is proposed for CW Radars. A scheme of the link of digital clutter filter and receive channel equilibrium filter is also given when the proposed method is implemented. The validity of the proposed method and its implementation has been verified by the results of computer simulation and radar outfield trial.

Key words: CW radar; direct signal leakage; clutter-restraining; radar signal processor