

引用格式:王云爽,贺占庄.一种基于频域的雷达信号预处理方法[J].微电子学与计算机,2019,36(11):95-98. [WANG Y S, HE Z Z. A methodology of signal pre-processing for radar based on frequency domain [J]. Microelectronics & Computer, 2019, 36(11):95-98]

一种基于频域的雷达信号预处理方法

王云爽,贺占庄

(西安微电子技术研究所,陕西 西安 710065)

摘 要: 雷达信号预处理过程是雷达系统中的必要环节. 根据现有的雷达信号预处理方法,本文提出了一种基于频域的联合滤波器的实现方法,通过理论推导验证了方法的等效性,并通过仿真与原方法进行对比说明该联合滤波器处理结果的有效性. 该方法对雷达信号预处理的工程化应用有帮助作用.

关键词: 频域; 雷达信号; 预处理

中图分类号: TN957. 51

文献标识码: A

文章编号: 1000—7180(2019)11—0095—04

A methodology of signal pre-processing for radar based on frequency domain

WANG Yun-shuang, HE Zhan-zhuang

(Xi'an Microelectronics Technology Research Institute, Xi'an 710065, China)

Abstract: signal pre-processing for radar is necessary for radar system. On the basis of the existing/present method, the thesis put forward a new methodology with a joint filter based on frequency domain. It proves the equality of the two methods with theoretically computing, and shows the efficiency by comparison of the simulation result. The methodology will be helpful for engineering.

Key words: frequency domain; radar signal; pre-processing

1 引言

现代武器系统飞速发展,朝着更快更精确的方向发展,数字信号处理器及可编程逻辑阵列也在性能和处理能力上有了很大提升,但作为武器系统中的探测杀手锏之一雷达系统,往往系统复杂庞大,尤其是大型的相控阵雷达,具有数据吞吐量大,通道数多的特性,同时对于雷达信号需要进行一系列的预处理来达到降低幅相误差、去除杂波、抑制噪声的目的,因此优化预处理过程,显得尤为关键.

2 处理原理

根据现有硬件平台的信号处理能力,现代雷达信号处理通常将模拟中频信号转换为数字中频信号

后,再实现数字域信号处理. 数字域信号处理包含通用的预处理及系统专用的功能算法处理,本文着重针对预处理过程进行研究.

数据预处理的具体过程:经过下变频后得到的模拟中频信号,由 AD 芯片进行采样得到数字信号,然后进行数字正交鉴相即数字下变频,得到基带同相数字信号 I 路及基带正交数字信号 Q 路数据. 由于数据率较快,需要进行抽取降低数据率,同时为了避免抽取导致频谱混叠,因此在抽取前需进行低通滤波^[1]. 为了抑制相控阵雷达各通道间失配现象,保持各通道间的频率响应一致,从而得到低旁瓣的波束,借鉴运用通信领域的处理方法即通道均衡技术,并在频域中来实现^[2]. 最后,通过数字脉冲压缩技术用来提高处理的距离分辨力,为了提高运算效率,一

一般在频域进行,具体流程如图 1 所示。

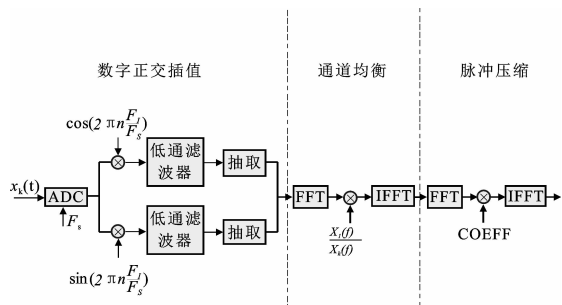


图 1 传统数据预处理方法

3 改进原理

传统预处理方法中处理步骤复杂繁多,但是一系列流程均有不同的作用,缺一不可,因此根据信号与系统及数字信号处理的一些理论可以将以上过程进行优化等效设计来实现相同的功能^[4]。主要的原理依据有:

(1)下变频、低通滤波器及抽取的等效简化结果得到等效滤波器系数;

(2)等效滤波器系数分别变为频域系数,得到联合系数。

首先,数字下变频的频率为 $F_{\text{local}} = \frac{F_I}{F_s}$,其中 F_s 为采样频率, F_I 为信号中频 $F_I = \frac{F_H + F_L}{2}$,根据带通采样定理有 $F_s = \frac{4F_I}{2k+1}$ ^[5],其中 k 取值使得 $F_s \geq 2B$ (其中 B 为信号带宽) 满足时的最小值,因此取 $k=1$,即 $F_s = \frac{4F_I}{3}$,此时 $F_{\text{local}} = \frac{3}{4}$, I 、 Q 两路的本振数字混频信号分别为

$$\cos(2\pi n \frac{F_I}{F_s}) = +1, 0, -1, 0, +1, 0, -1, \dots$$

$$= \begin{cases} (-1)^{\frac{n-1}{2}} & n = 2, 4, 6, 8, \dots \\ 0 & n = 1, 3, 5, 7, \dots \end{cases}$$

$$\sin(2\pi n \frac{F_I}{F_s}) = 0, +1, 0, -1, 0, +1, 0, \dots$$

$$= \begin{cases} 0 & n = 1, 3, 5, 7, \dots \\ (-1)^{\frac{n}{2}+1} & n = 2, 4, 6, 8, \dots \end{cases}$$

设滤波器系数为 $h = blf(i)$ ($i = 1, 2, \dots, N$),经过抽取后的 I 、 Q 两路的信号分别为:

$$D_{I(k)} = \sum_{p=2k-1}^{\frac{N+1}{2}} [(-1)^{\frac{p+3}{2}} \ln(p)] blf(2p-4k+3) \\ = B_I(k) \otimes blf_I(k)$$

$$D_{Q(k)} = \sum_{p=2k}^{\frac{N+1}{2}} [(-1)^{\frac{p+2}{2}} \ln(p)] blf(2p-4k+2) \\ = B_Q(k) \otimes blf_Q(k)$$

式中, $k = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$, $\ln(p)$ 为输入信号,数据周期变为原来周期 T 的 2 倍,根据上述等式可以得出该过程可以等效为下变频与抽取、等效低通滤波,其中 I 、 Q 路的下变频与抽取过程分别为

$$B_I(k) = (-1)^{k+1} \ln(2k-1)$$

$$B_Q(k) = (-1)^{k+1} \ln(2k)$$

等效低通滤波系数分别为:

$$blf_I(k) = blf(2k-1) \quad k = 1, 2, \dots, \frac{N+1}{2}$$

$$blf_Q(k) = blf(2k) \quad k = 1, 2, \dots, \frac{N+1}{2}$$

等效低通滤波与后续的多通道均衡和脉冲压缩均可在频域进行,因此等效低通滤波、多通道均衡和脉冲压缩的系数可在频域合成为一个新系数,将下变频后各通道的频谱与相应通道合成后的系数在频域相乘,如下式:

$$\begin{aligned} \text{out}(n) &= \ln(n) \otimes a(n) \otimes b(n) \otimes c(n) \\ &= \ln(n) \otimes [a(n) \otimes b(n) \otimes c(n)] \\ &= \ln(n) \otimes h(n) \end{aligned}$$

即可一次性完成了低通滤波,多通道均衡和脉冲压缩三者的功能。又时域卷积等于频域乘积,因此可以离线计算得到频域联合处理的系数分别为:

$$H_I(k) = \frac{X_{I1}(k)}{X_{Ik}(k)} \text{BLF}(k) \text{COEF}(k)$$

$$H_Q(k) = \frac{X_{Q1}(k)}{X_{Qk}(k)} \text{BLF}(k) \text{COEF}(k)$$

式中, $k = 1, 2, 3, \dots, M$, M 为傅里叶变换点数, $\text{COEF}(k)$ 为频域脉压系数。

传统预处理过程经过上述优化以后,过程实现大大简化,具体过程如图 2 所示。从整个信号处理流程来看,经过优化后的处理方法较原方法^[6-7]减少了一组 FFT、一组 IFFT (此处一组标识对频点的操作,与 FFT 的变换点数 N_{FFT} 有关)、抽取过程以及 N_{FFT} 次乘法过程,因此明显减少了运算资源,降低了运算周期。

4 仿真验证

在 matlab 仿真环境下对该方法进行了仿真验证。

仿真条件如下:

(1)信号源:中心频率为 20 MHz,信号带宽为 20 MHz,信号形式为线性调频信号;

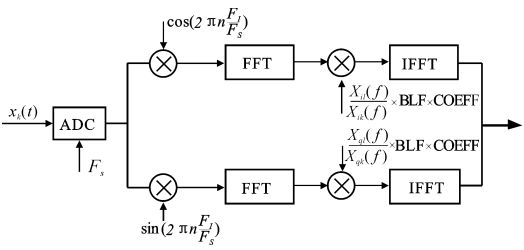


图 2 频域联合预处理方法

- (2)接收接收:共 4 通道,通道间幅度误差:0.1 dB,相位误差:5°;
- (3)目标距离为 4 960 m;

首先,使用传统方法^[8]对信号进行处理仿真,得到预处理结果如图 3 所示,在第 1 322 个距离门脉压出目标,当三者共同进行后同样在第 1 322 个距离门脉压出目标,根据距离门 1 322 以及公式 $R = \Delta Tc/2$ 可以计算得到距离约为 4 958 m 其中 c 为 $3 \times 10^8\text{m/s}$ 可见该处理结果是等效的且与仿真条件一致.

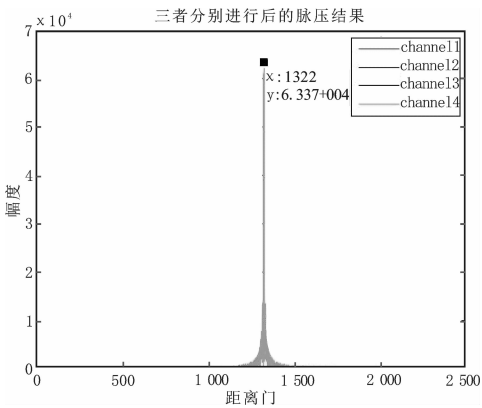


图 3 脉压结果

然后,对同样一组信号模型使用频域联合预处理方法,处理后的结果如图 4 所示,同样在第 1322 个距离门中得到了目标,与传统方法的处理结果一致,对比误差如图 5 所示.

另外,对仿真条件下的联合滤波器进行了频域响应分析,结果如图 6 所示,能明显观察到其幅频响应有低通滤波器及抽取的特性,相频响应在频域的通带范围内呈线性相位,因此该联合滤波器为线性相位系统,不会使信号的相位失真,可以应用于雷达信号的预处理.

5 结束语

基于频域的雷达信号预处理方法不但能够等效原处理方法,同时提高了处理效率,节约了运算资

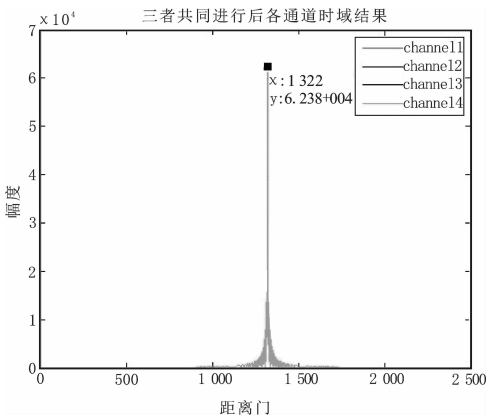


图 4 频域联合预处理脉压结果

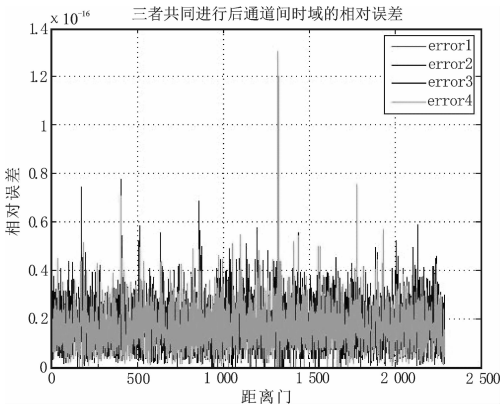


图 5 频域联合预处理脉压结果的相对误差

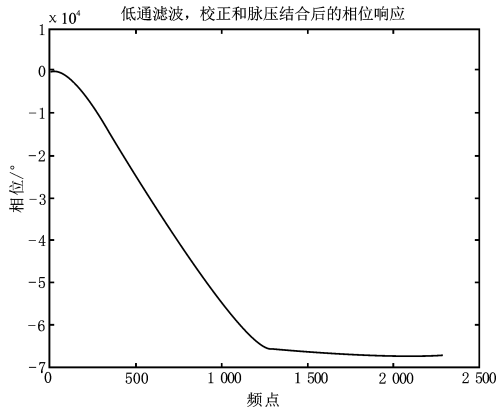
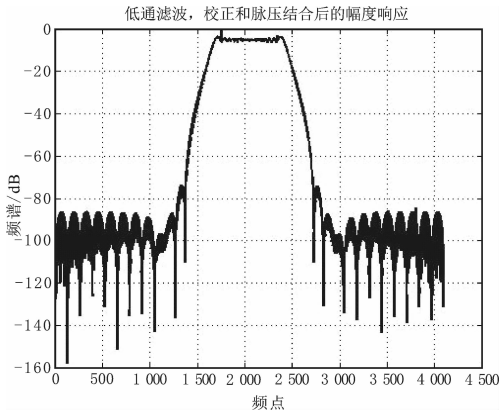


图 6 幅频相应与相域响应

源,适合于 FPGA 及 DSP 上进行工程应用,缩短了处理周期,并且节省出更多的资源和时间进行测角测速及跟踪等算法.

参考文献:

[1] 史林. 数字信号处理[M]. 北京:科学出版社, 2007.

[2] 张月,鲍庆龙,杨剑,等. 宽带数字阵列雷达通道均衡方法的设计与实现[J]. 信号处理, 2010, 26 (3): 453-458.

[3] 丁鹭飞. 雷达原理[M]. 五版. 北京:电子工业出版社, 2014.

[4] 楼才义,徐建良,杨小牛. 软件无线电原理与应用[M]. 2 版. 北京:电子工业出版社, 2014.

[5] 吴顺君. 雷达信号处理和数据处理技术[M]. 北京:电

子工业出版社, 2008.

[6] 李翱. 基于 FPGA 的高效脉冲压缩系统研究[D]. 北京:中国航天科技集团第一研究院, 2017.

[7] 顾峰,戴健. 一种基于 FPGA 的频域脉冲压缩处理器的实现[J]. 舰船电子对抗, 2016, 39 (4):105-110.

[8] 颀宇川. 基于软件无线电的中频接收机[D]. 南京:东南大学, 2016.

作者简介:

王云爽 女, (1989-), 硕士研究生, 工程师. 研究方向为数字信号处理. E-mail: 1989yunshuang@sina. com.

贺占庄 男, (1962-), 博士生导师, 总工程师. 研究方向为计算机系统与应用技术.