



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108693527 A

(43)申请公布日 2018.10.23

(21)申请号 201810585770.5

(22)申请日 2018.06.08

(66)本国优先权数据

201810240177.7 2018.03.22 CN

(71)申请人 西安希德电子信息技术股份有限公司

地址 710100 陕西省西安市航天基地神舟四路239号航创广场A区301室

(72)发明人 张恒 张昆 王立东

(74)专利代理机构 西安铭泽知识产权代理事务所(普通合伙) 61223

代理人 韩晓娟

(51)Int.Cl.

G01S 13/88(2006.01)

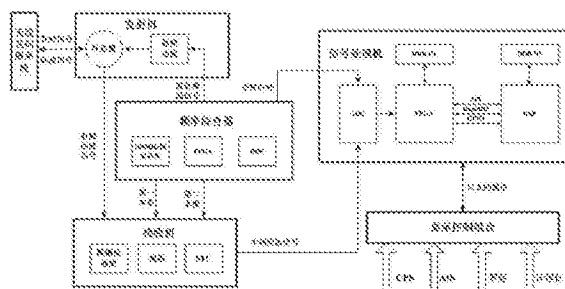
权利要求书1页 说明书8页 附图6页

(54)发明名称

一种海面小目标探测雷达系统

(57)摘要

本发明公开了一种海面小目标探测雷达系统,涉及雷达设备领域。该系统包括:频率综合器、发射机、接收机、信号处理机、显示控制组合、天线及伺服装置。本发明的目的在于提供一种固态相参体制的导航雷达,既利用针对大时宽带宽积线性调频信号的强大信号处理手段,获得探测距离远,距离分辨率高,杂波抑制能力强的优势,又利用同一脉冲重复周期内宽、中、窄脉冲相结合的组合脉冲波形,实现探测距离盲区较小的对全量程目标的同时测量。



1. 一种海面小目标探测雷达系统,其特征在于,包括:频率综合器、发射机、接收机、信号处理机、显示控制组合、天线及伺服装置;

所述频率综合器,用于产生雷达发射激励信号、接收机所需的一本振信号和二本振信号、信号处理机所需的AD采样时钟信号;

所述发射机,用于将来自频率综合器的雷达发射激励信号,经功率放大后从环形器输出给雷达天线;

所述接收机,用于将来自雷达天线的回波信号进行下变频、放大、滤波后输出中频回波信号送给信号处理机,且具有STC功能;

所述信号处理机,用于将接收机送出的中频回波信号进行A/D变换,基于FPGA芯片进行数字下变频、脉冲压缩处理,基于DSP芯片进行MTD、CFAR、杂波图、点迹凝聚处理,将包括距离、方位角、速度、强度信息的目标点迹数据通过以太网传输给显示控制组合;

所述显示控制组合,用于接收来自信号处理机送来的目标点迹数据,完成目标跟踪、PPI显示;用于接收AIS、GPS、罗经、计程仪外设系统的串口数据,解算并显示;用于响应人机交互控制;

天线及伺服装置,用于实现发射信号的定向辐射和回波信号的接收,及天线的全方位旋转。

2. 如权利要求1所述的海面小目标探测雷达系统,其特征在于,所述的海面小目标探测雷达系统的体制为固态相参脉冲体制。

3. 如权利要求2所述的海面小目标探测雷达系统,其特征在于,所述频率综合器产生同一脉冲重复周期内宽、中、窄脉冲相结合的组合脉冲波形,组合脉冲依次为宽、中、窄脉冲,或者依次为窄、中、宽脉冲;所述组合脉冲中的每个脉冲与下一个脉冲的间隔为 ΔT ,满足 $\Delta T > (2R_{\max})/c$, c 为光速, R_{\max} 对于宽、中、窄脉冲而言含义是不同的,对于宽脉冲而言, R_{\max} 为雷达系统的最大探测距离,对于中、窄脉冲而言, R_{\max} 分别为宽、中脉冲由于自身脉宽导致的距离探测盲区最大值。

4. 如权利要求3所述的海面小目标探测雷达系统,其特征在于,所述频率综合器产生同一脉冲重复周期内宽、中、窄脉冲相结合的组合脉冲波形,宽、中脉冲为线性调频脉冲波形,调制带宽 $\geq 25\text{MHz}$;窄脉冲为点频脉冲。

5. 如权利要求4所述的海面小目标探测雷达系统,其特征在于,所述信号处理机由FPGA控制时序,在PRT脉冲触发下,确定信号处理机中A/D器件对不同脉宽脉冲回波数据的有效数据采样起始点和有效数据采样长度;所述有效数据采样起始点分别为宽、中、窄脉冲相应发射脉冲下降沿,即雷达由发射状态转为接收状态的时刻,由于脉冲下降沿不够陡峭而稍留余量;所述有效数据采样长度为 $(2R_{\max}/c - PW) * f_s$, PW 对于宽、中、窄脉冲而言为各自的脉宽, f_s 为系统的采样率。

一种海面小目标探测雷达系统

技术领域

[0001] 本发明涉及雷达设备领域,更具体的涉及一种海面小目标探测雷达系统。

背景技术

[0002] 导航雷达为船舶上供探测周围目标位置,以实施航行避让、自身定位等用的雷达,也广泛应用于VTS系统探测用雷达。近60年来,导航雷达发射机都是磁控管体制,2~30kw峰值脉冲功率,提供1~15w的平均功率。磁控管体制导航雷达的优点是技术成熟、廉价,与现有的占统治地位的欧美进口VTS系统兼容性好,但由于磁控管雷达是非相参体制,相对于固态相参体制雷达来说,无法通过信号处理获得较大的信号处理得益,因此要获得相同的探测距离,就需要千瓦级发射峰值功率,而固态雷达只需要数十瓦的峰值功率。这导致磁控管雷达需要高压工作,工作需要较长时间的预热,发射器件可靠性远不如固态雷达,大的发射功率对人和环境的影响都比较大。对远距离的探测,需要大的平均功率,磁控管雷达在峰值功率受限的情况下,只能加大发射脉冲宽度,这将导致雷达距离分辨率的降低。

[0003] 目前市场上也有些固态脉冲体制的导航雷达,通过相参体制雷达的信号处理优势,可获得较远的探测距离,较高的距离分辨率,较强的杂波抑制能力。根据雷达方程,在相同条件下,脉冲宽度越大,作用距离越大,但大时宽必然带来较大的探测距离盲区。解决这个问题的一般手段是雷达分多档量程,不同的量程对应不同的脉冲宽度,从而小量程采用的小脉宽波形可以得到较小的距离盲区。带来的问题是雷达无法同时获得全量程的目标测量,需要多次切换量程才能实现全量程测量。

[0004] 综上所述,现有技术中,存在无法同时获得全量程的目标测量的问题。

发明内容

[0005] 本发明实施例提供一种海面小目标探测雷达系统,用以解决现有技术中存在雷达距离分辨率低,以及无法同时获得全量程的目标测量的问题。

[0006] 本发明实施例提供一种海面小目标探测雷达系统,包括:频率综合器、发射机、接收机、信号处理机、显示控制组合、天线及伺服装置;

[0007] 所述频率综合器,用于产生雷达发射激励信号、接收机所需的一本振信号和二本振信号、信号处理机所需的AD采样时钟信号;

[0008] 所述发射机,用于将来自频率综合器的雷达发射激励信号,经功率放大后从环形器输出给雷达天线;

[0009] 所述接收机,用于将来自雷达天线的回波信号进行下变频、放大、滤波后输出中频回波信号送给信号处理机,且具有STC功能;

[0010] 所述信号处理机,用于将接收机送出的中频回波信号进行A/D变换,基于FPGA芯片进行数字下变频、脉冲压缩处理,基于DSP芯片进行MTD、CFAR、杂波图、点迹凝聚处理,将包括距离、方位角、速度、强度信息的目标点迹数据通过以太网传输给显示控制组合;

[0011] 所述显示控制组合,用于接收来自信号处理机送来的目标点迹数据,完成目标跟

踪、PPI显示;用于接收AIS、GPS、罗经、计程仪外设系统的串口数据,解算并显示;用于响应人机交互控制;

[0012] 天线及伺服装置,用于实现发射信号的定向辐射和回波信号的接收,及天线的全方位旋转。

[0013] 进一步地,所述的海面小目标探测雷达系统的体制为固态相参脉冲体制。

[0014] 进一步地,所述频率综合器产生同一脉冲重复周期内宽、中、窄脉冲相结合的组合脉冲波形,组合脉冲依次为宽、中、窄脉冲,或者依次为窄、中、宽脉冲;所述组合脉冲中的每个脉冲与下一个脉冲的间隔为 ΔT ,满足 $\Delta T > (2R_{\max})/c$, c 为光速, R_{\max} 对于宽、中、窄脉冲而言含义是不同的,对于宽脉冲而言, R_{\max} 为雷达系统的最大探测距离,对于中、窄脉冲而言, R_{\max} 分别为宽、中脉冲由于自身脉宽导致的距离探测盲区最大值。

[0015] 进一步地,所述频率综合器产生同一脉冲重复周期内宽、中、窄脉冲相结合的组合脉冲波形,宽、中脉冲为线性调频脉冲波形,调制带宽 $\geq 25\text{MHz}$;窄脉冲为点频脉冲。

[0016] 进一步地,所述信号处理机由FPGA控制时序,在PRT脉冲触发下,确定信号处理机中A/D器件对不同脉宽脉冲回波数据的有效数据采样起始点和有效数据采样长度;所述有效数据采样起始点分别为宽、中、窄脉冲相应发射脉冲下降沿,即雷达由发射状态转为接收状态的时刻,由于脉冲下降沿不够陡峭而稍留余量;所述有效数据采样长度为 $(2R_{\max}/c - PW) * f_s$, PW 对于宽、中、窄脉冲而言为各自的脉宽, f_s 为系统的采样率。

[0017] 本发明实施例中,提供一种海面小目标探测雷达系统,与现有技术相比,其有益效果如下:

[0018] 本发明的目的在于提供一种固态相参体制的导航雷达,既利用针对大时宽带宽积线性调频信号的强大信号处理手段,获得探测距离远,距离分辨率高,杂波抑制能力强的优势,又利用同一脉冲重复周期内宽、中、窄脉冲相结合的组合脉冲波形,实现探测距离盲区较小的对全量程目标的同时测量。

[0019] 本发明采用固态功放、大时宽带宽积线性调频脉冲发射信号、全相参体制雷达、同一脉冲重复周期内宽、中、窄脉冲相结合的组合脉冲波形;采用固态功放,低压驱动发射,使得发射机可靠性提高,产品全寿命周期成本降低,即开即用,无预热时间限制,发射功率小,对外辐射低;采用大时宽带宽积线性调频脉冲信号,借助脉冲压缩可以拥有窄脉冲高距离分辨性能的同时又兼备对远距离目标的探测性能;采用全相参体制,通过相参积累/非相参积累处理,进一步增大对杂波的抑制能力,提升目标的检测性能;采用宽、中、窄组合脉冲波形,可以实现探测距离盲区较小的对全量程目标的同时测量。

附图说明

[0020] 图1为本发明实施例提供的一种海面小目标探测雷达系统原理图;

[0021] 图2为本发明实施例提供的海面小目标探测雷达频率综合器实现框图;

[0022] 图3为本发明实施例提供的宽、中、窄组合脉冲波形及时序关系图;

[0023] 图4为本发明实施例提供的海面小目标探测雷达发射机模块组成框图;

[0024] 图5为本发明实施例提供的海面小目标探测雷达接收机模块组成框图;

[0025] 图6为本发明实施例提供的海面小目标探测雷达信号处理机模块组成框图;

[0026] 图7为本发明实施例提供的重频触发脉冲、发射组合脉冲、采样序列的时序关系

图；

- [0027] 图8为本发明实施例提供的有效数据采样时序关系图；
[0028] 图9为本发明实施例提供的海面小目标探测雷达信号处理机功能框图；
[0029] 图10为本发明实施例提供的DDC算法原理框图；
[0030] 图11为本发明实施例提供的频域数字脉冲压缩实现的原理框图；
[0031] 图12为本发明实施例提供的二维CFAR检测参考窗示意图；
[0032] 图13为本发明实施例提供的杂波图检测原理框图。

具体实施方式

[0033] 下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0034] 图1为本发明实施例提供的一种海面小目标探测雷达系统原理图。如图1所示，该系统包括：频率综合器、发射机、接收机、信号处理机、显示控制组合、天线及伺服装置。

[0035] 需要说明的是，本发明实施例提供的一种海面小目标探测雷达系统的体制为固态相参脉冲体制。

[0036] 其中，频率综合器，用于产生雷达发射激励信号、接收机所需的一本振信号和二本振信号、信号处理机所需的AD采样时钟信号。

[0037] 进一步地，频率综合器产生同一脉冲重复周期内宽、中、窄脉冲相结合的组合脉冲波形，组合脉冲依次为宽、中、窄脉冲，或者依次为窄、中、宽脉冲；组合脉冲中的每个脉冲与下一个脉冲的间隔为 ΔT ，满足 $\Delta T > (2R_{\max})/c$ ， c 为光速， R_{\max} 对于宽、中、窄脉冲而言含义是不同的，对于宽脉冲而言， R_{\max} 为雷达系统的最大探测距离，对于中、窄脉冲而言， R_{\max} 分别为宽、中脉冲由于自身脉宽导致的距离探测盲区最大值。一般宽、中、窄脉冲的间隔在上述计算基础上留出一定的余量。雷达的探测盲区由窄脉冲的脉宽决定。

[0038] 进一步地，频率综合器产生同一脉冲重复周期内宽、中、窄脉冲相结合的组合脉冲波形，宽、中脉冲为线性调频脉冲波形，调制带宽 $\geq 25\text{MHz}$ ；通过脉冲压缩后，距离分辨力达到10m以内；窄脉冲为点频脉冲，脉宽低至数百ns。

[0039] 其中，发射机，用于将来自频率综合器的雷达发射激励信号，经功率放大后从环形器输出给雷达天线。

[0040] 其中，接收机，用于将来自雷达天线的回波信号进行下变频、放大、滤波后输出中频回波信号送给信号处理机，且具有STC功能。

[0041] 其中，信号处理机，用于将接收机送出的中频回波信号进行A/D变换，基于FPGA芯片进行数字下变频、脉冲压缩处理，基于DSP芯片进行MTD、CFAR、杂波图、点迹凝聚处理，将包括距离、方位角、速度、强度信息的目标点迹数据通过以太网传输给显示控制组合。

[0042] 进一步地，信号处理机由FPGA控制时序，在PRT脉冲触发下，确定信号处理机中A/D器件对不同脉宽脉冲回波数据的有效数据采样起始点和有效数据采样长度；有效数据采样起始点分别为宽、中、窄脉冲相应发射脉冲下降沿，即雷达由发射状态转为接收状态的时刻，由于脉冲下降沿不够陡峭而稍留余量；有效数据采样长度为 $(2R_{\max}/c - PW) * f_s$ ， PW 对于

宽、中、窄脉冲而言为各自的脉宽, f_s 为系统的采样率。

[0043] 需要说明的是, 频率综合器和信号处理机对数据的相关处理, 可得到雷达距离覆盖范围内全量程目标的瞬时测量, 不需要多次切换量程即可获取全局信息。

[0044] 需要说明的是, 信号处理机基于FPGA芯片进行数字下变频、脉冲压缩等处理, 基于DSP芯片进行MTD、CFAR、杂波图、点迹凝聚等处理, 可抑制强地杂波/海杂波, 实现对强杂波背景下的小目标探测和跟踪。

[0045] 其中, 显示控制组合, 用于接收来自信号处理机送来的目标点迹数据, 完成目标跟踪、PPI显示; 用于接收AIS、GPS、罗经、计程仪外设系统的串口数据, 解算并显示; 用于响应人机交互控制。

[0046] 需要说明的是, 雷达具备“动目标显示”和“动+静目标显示”两种工作模式, 可随时切换, 根据对MTD处理后不同通道的不同显示方式, 既可以得到雷达周边港口、码头、浮标、固定地物、移动船只等所有目标的显示, 也可以只显示移动目标, 通过切换可以对关注的移动目标有更方便直观的信息掌握和行为预测。

[0047] 其中, 天线及伺服装置, 用于实现发射信号的定向辐射和回波信号的接收, 及天线的全方位旋转。

[0048] 工作原理如下:

[0049] (1)海面小目标探测雷达天线: 采用波导缝隙天线, 由天线、转换关节以及天线护罩组成。

[0050] (2)海面小目标探测雷达频率综合器: 主要由倍频链路、FPGA、锁相环PLL、介质振荡器、直接数字频率合成DDS和混频链路组成。其功能主要用于产生雷达发射激励信号源、接收机变频所需一级/二级本振信号、AD采样时钟信号等。该模块组成框图如图2所示。

[0051] FPGA控制整个电路的时序, DDS在脉冲重复频率触发下产生发射脉冲宽、中、窄组合脉冲, 在组合脉冲间隙产生连续波。其组合脉冲样式及产生时序如图3所示。其中, 组合脉冲内每个脉冲与下一个脉冲的间隔 ΔT , 满足 $\Delta T > (2R_{\max})/c$, c 为光速。这里 R_{\max} 对于宽、中、窄脉冲而言含义是不同的, 对于宽脉冲而言, R_{\max} 为雷达系统的最大探测距离; 对于中、窄脉冲而言, R_{\max} 分别为宽、中脉冲由于自身脉宽导致的距离探测盲区最大值。一般宽、中、窄脉冲的间隔在上述计算基础上留出一定的余量。雷达的探测盲区由窄脉冲的脉宽决定。

[0052] 组合脉冲内, 宽、中脉冲为线性调频脉冲, 调制带宽 $\geq 25\text{MHz}$, 通过脉冲压缩后, 距离分辨力达到10m以内; 窄脉冲为点频脉冲, 脉宽低至数百ns。

[0053] (3)海面小目标探测雷达发射机模块: 主要由输入隔离匹配、前级增益模块、次末级驱动放大、末级功率放大、环形器等组成。其功能主要是发射激励信号的放大输出。该模块组成框图如图4所示。

[0054] (4)海面小目标探测雷达接收机模块: 主要由预选滤波器、低噪声放大器、混频器、一中频电路、二混频、二中频电路组成。其功能主要是实现雷达回波信号的限幅低噪声放大、下变频、中频放大及匹配滤波器。该模块组成框图如图5所示。

[0055] (5)海面小目标探测雷达信号处理机模块: 其功能主要由一块信号处理板完成, 不同硬件模块完成不同的功能。ADC模块对接收机送出的中频信号进行AD采样输出, FPGA模块完成数字下变频DDC (包括I/Q正交分解、FIR低通滤波等)、脉冲压缩PC和产生系统所需的各种时序信号。DSP模块完成动目标显示MTI、动目标检测MTD、求模、恒虚警CFAR检测、杂波图

处理、目标信息输出功能。该模块的组成框图如图6所示。

[0056] 信号处理机由FPGA控制时序,在PRT脉冲触发下,确定信号处理机中A/D器件对不同脉宽脉冲回波数据的有效数据采样起始点和采样长度。有效数据采样起始点分别为宽、中、窄脉冲相应发射脉冲下降沿,即雷达由发射状态转为接收状态的时刻,由于脉冲下降沿不够陡峭而稍留余量;有效数据采样长度为 $(2R_{\max}/c-PW)*f_s$,这里 R_{\max} 对于宽、中、窄脉冲而言含义是不同的,对于宽脉冲而言, R_{\max} 为雷达系统的最大探测距离;对于中、窄脉冲而言, R_{\max} 分别为宽、中脉冲由于自身脉宽导致的距离探测盲区最大值。 PW 对于宽、中、窄脉冲而言为各自的脉宽, f_s 为系统的采样率。其中,重频触发脉冲、发射组合脉冲、采样序列的时序关系如图7所示。

[0057] (6)海面小目标探测雷达显示控制组合模块:由计算机、显示器、键盘、电源供电模块组成,其中电源供电模块包括防雷部分、短路保护和EMC、DC/DC三部分。电源模块设计部分要考虑是否满足电源输入输出要求,有无防反接保护设计,是否满足电磁兼容环境要求,是否满足过压浪涌、欠压浪涌、尖峰和断电要求。

[0058] 雷达具备“动目标显示”和“动+静目标显示”两种工作模式,可随时切换。采用FFT进行相参积累MTD处理和求模运算后,对零速信道数据进行杂波图存储和检测,非零速通道进行恒虚警CFAR检测,从结果中提取目标信息。根据对MTD处理后不同通道的不同显示方式,既可以得到雷达周边港口、码头、浮标、固定地物、移动船只等所有目标的显示,也可以只显示移动目标,通过切换可以对关注的移动目标有更方便直观的信息掌握和行为预测。

[0059] 实施例:

[0060] 示例性实施例给出的宽、中、窄脉冲的脉宽分别为20 μ s、2 μ s、0.2 μ s,采样波门时间分别为328 μ s、20 μ s、2 μ s,ADC器件采样率为100MHz,DDC时采取2抽1,所以等效的采样率为50MHz,可知对宽、中、窄脉冲的有效回波数据点数分别为16384点、1024点和100点。其中宽、中脉冲为线性调频脉冲,调制脉宽为25MHz;窄脉冲为点频。频率综合器产生组合脉冲、信号处理机对数据进行采样的时序关系如图8所示。

[0061] 由于收发同置脉冲雷达在发射信号期间无法接收回波信号,根据 $R=c\tau/2$ 可知宽、中、窄脉冲的盲距最大值分别为3km、300m和30m。宽脉冲引起的距离盲区由中脉冲补盲,中脉冲的有效数据最大时延为20 μ s,对应的距离为3km;中脉冲引起的距离盲区由窄脉冲补盲,窄脉冲的有效数据最大时延为2 μ s,对应的距离为300m。最大雷达系统的距离盲区最大值由窄脉冲的脉宽所决定,为30m,工程上会大于这个数值。

[0062] 上述的组合脉冲发射波形设计和接收有效数据选取的设计一起,保证了雷达对全距离量程的瞬时测量,不需要多次切换量程即可获取全局信息。

[0063] 雷达信号处理机的典型工作参数

[0064] ✓ A/D采样频率:100MHz,量化位数16Bit

[0065] ✓ 距离分辨率:6m

[0066] ✓ 测速范围:0.5m/s~31m/s

[0067] ✓ 测距范围:24nm

[0068] ✓ 脉冲重复周期:500 μ s

[0069] ✓ 相参积累:MTD处理点数:64点

[0070] ✓ CFAR处理:二维CFAR

[0071] √ 杂波图处理:24nm

[0072] 雷达信号处理机工作原理

[0073] 雷达信号处理机是XDRAD-SD30海面小目标探测雷达的重要组成部分。在正常工作状态下,雷达信号处理机对接收机送出的雷达回波进行A/D采样变换,把模拟量转换为数字量,通过数字下变频和脉冲压缩运算,把雷达发射的宽脉冲信号压缩成距离分辨率较高的窄脉冲信号;然后对连续接收到的多组窄脉冲数据进行多脉冲积累运算,可采用64点FFT运算相参积累MTD处理,并对多脉冲积累处理结果进行求模运算。然后对零速信道数据进行杂波图存储和检测,非零速通道进行恒虚警CFAR检测,从结果中提取目标信息。

[0074] 信号处理机同时完成与中心控制计算机(显控)和其它单元的通讯工作,信号处理机接收中心控制计算机的命令,通过对命令进行解析,然后重组命令转发给系统其它单元。系统各单元的自检状态、信息数据等信息通过信号处理机转发给中心指挥计算机。信号处理机同时把目标回波数据发送给中心控制计算机用于进一步处理显示。图9给出了雷达信号处理机方案功能性框图。

[0075] 雷达信号处理机需要完成的主要算法有数字下变频DDC、脉冲压缩、多脉冲积累、模值运算、恒虚警CFAR、杂波图检测等。

[0076] 1) 数字下变频DDC

[0077] DDC模块的主要作用是完成频谱搬移工作,把高速率大点数的中频数字信号转换为低速率小点数的基频数字信号以降低后续处理算法对数据量的要求,同时完成数字检波工作主要包括滤波和数据抽取。DDC算法原理框图如图10所示。

[0078] 雷达接收机输出为1路125MHz的中频回波信号,带宽25MHz,依据带通采样定理,信号处理机选取100MHz的采样率对中频回波进行采样,该采样频率是比较常用的中频采样频率,此处主要是满足:待采样信号中心频率/采样频率=5/4的关系,满足该关系可使得数字正交运算时的系数非0即1或者-1,这就大大降低了使用FPGA进行I/Q正交解调运算的复杂度。

[0079] I/Q正交解调运算完成后对数据进行抽取工作,为了保证距离分辨率,本系统中需要最终数据率为50MHz,这样只需要对原始数据进行2抽即可,采用简单的先FIR低通滤波再直接2抽的方式完成抽取,最终经过DDC之后的数据率为50MHz。

[0080] 2) 脉冲压缩PC

[0081] 脉冲压缩的过程其实是一个匹配滤波的过程,也是一个相关的过程。其原理是将接收到的宽带回波信号通过一个与其发射波形为复共轭响应的匹配滤波器,则该滤波器的输出就是经过压缩的窄脉冲信号。通常脉冲压缩有时域数字脉冲压缩和频域数字脉冲压缩两种方式。频域数字脉冲压缩能够利用快速傅里叶变换FFT来实现,故计算量比时域数字脉冲压缩小的多,因此系统使用频域数字脉冲压缩方式来实现。频域数字脉冲压缩实现的原理框图如图11所示。

[0082] 不论是时域数字脉冲压缩还是频域数字脉冲压缩,匹配滤波后输出结果均为辛克函数形式,其峰值主副瓣比只有-13.2dB,高副瓣将会影响对目标的检测,容易产生虚警或受到干扰等。因此需要采用加窗技术来获得较低的副瓣电平,如Hamming窗、Hanning窗、Kaiser窗、Taylor窗等,但是加窗会引起信噪比损失和主瓣展宽,也就是说低副瓣电平是以牺牲信噪比和主瓣宽度为代价的。

[0083] 3) 多脉冲积累

[0084] 雷达单个脉冲的回波能量有限,一般不采用单个接收脉冲来进行检测判决。通常在判决之前,先对一个波位的多个脉冲串进行处理以提高信噪比,这种基于脉冲串而非单个脉冲的处理方法称为积累。从时域上讲,积累是将一个波位内连续的多个重复周期同一距离单元的回波信号叠加起来或加权叠加。积累分为相参积累和非相参积累两种,相参积累是在包络检波器之前进行,利用接收脉冲之间的相位关系,可以获得信号幅度的叠加,这种积累器可以把所有的雷达回波能量之间相加。非相参积累是在包络检波器以后进行的,也称之为检波后积累或视频积累。由于信号在包络检波后失去了相位信息而只保留幅度信息,所以检波后积累就不需要信号间有严格的相位关系,因此成为非相参积累。系统采用相参积累,又称MTD检测。

[0085] 由于运动目标的回波包括多普勒频率 f_d ,当脉冲雷达的脉冲重复周期 T_r 恒定时,忽略目标回波的幅度起伏,则对目标所在距离的信号在每个 T_r 采样时,就可以看做是对频率为 f_d 的正弦波采样,此时第 i 个脉冲重复周期对目标的采样值可以表示为

$$[0086] \quad x(i) = a \exp(j2\pi f_d i T_r) \quad i=0, 1 \cdots M-1$$

[0087] 式中 M 表示在一个波位(半功率波束宽度)内发射的脉冲数。因此相干积累通常采用FFT的处理方法实现。于是目标所在距离单元、所在多普勒通道的输出为

$$X(k) = \sum_{i=0}^{N-1} x(i) e^{-j\frac{2\pi ki}{N}} = \sum_{i=0}^{N-1} a e^{j\frac{2\pi}{N}(f_d T_r N - k)i}$$

$$[0088] \quad = a \frac{\sin\left[\frac{\pi}{N}(f_d T_r N - k)\right]}{\sin\left[\frac{\pi}{N}(f_d T_r N - k)\right]} e^{j\frac{N-1}{2} \frac{2\pi}{N}(f_d T_r N - k)}$$

[0089] 上式只有当 $f_d = \frac{k}{T_r N}$ 时才出现峰值。

[0090] 相参积累具有以下特点:相干积累时间或间隔(Coherent Pulse Intervals,CPI)取决于一个波位的驻留时间和目标运动速度的限制,单个CPI内目标运动不超过一个距离分辨单元,同时单个CPI内目标运动的多普勒频率变化不超过一个多普勒分辨单元,否则就需要像成像雷达中那样对包络进行补偿。相参积累可以提供一定的多普勒分辨性能。相参积累只适用于重频不变的场合。 M 个脉冲进行相参积累的信噪比改善可以达到单个脉冲的 M 倍。

[0091] 4) 模值运算

[0092] 不论是相参积累后的输出结果还是非相参积累前包络检波输入均为复数,为了后续处理必须进行模值运算。对于复数 $S(k) = S_R(k) + jS_I(k)$ 模值计算公式为

$$[0093] \quad |S(k)| = \sqrt{S_R(k)^2 + S_I(k)^2}$$

[0094] 不论在FPGA抑或是在DSP中实现平方运算和开方运算都是相当耗时和耗资源的,系统采用最佳一次逼近算法进行求模运算,近似公式为

$$[0095] \quad |S(k)| \approx 0.955 \text{Max}\{|S_R(k)|, |S_I(k)|\} + 0.414 \text{Min}\{|S_R(k)|, |S_I(k)|\}$$

[0096] 5) 恒虚警CFAR

[0097] CFAR检测需要采用二维检测技术,所谓二维就是对每个多普勒速度单元都要做距离上的CFAR检测,对不同速度通道检测出的目标再进行融合,CFAR检测参考窗如图12所示。

[0098] 显然二维检测算法需要大量运算才能完成,采用单元平均CFAR检测算法,门限倍乘因子可以通过下式计算获得。

$$[0099] \quad \alpha = N(\bar{P}_{fa}^{1/N} - 1)$$

[0100] 其中: \bar{P}_{fa} 为平均虚警概率,N参与平均的参考单元数目。

[0101] 6) 杂波图检测

[0102] 对于非零速目标采用CFAR检测,而对于零速目标采用杂波图进行检测。杂波图是用于检测具有极低或零多普勒频率的运动目标的一种技术,目的是为了检测切向运动的目标,这些目标在脉冲多普勒处理中被丢弃。

[0103] 杂波图检测原理框图如图13所示,实际上是由一个积分器来完成的,该积分器差分方程为

$$[0104] \quad y_n = (1-k)x_n + ky_{n-1}$$

[0105] 其中常数 $k < 1$,否则该积分器就不稳定了。从差分方程可以看出,杂波图存储器中的积分器对输入起平滑作用,即取出输入信号的直流分量。

[0106] 综上所述,本发明的目的在于提供一种固态相参体制的导航雷达,既利用针对大时宽带宽积线性调频信号的强大信号处理手段,获得探测距离远,距离分辨率高,杂波抑制能力强的优势,又利用同一脉冲重复周期内宽、中、窄脉冲相结合的组合脉冲波形,实现探测距离盲区较小的对全量程目标的同时测量。

[0107] 本发明采用固态功放、大时宽带宽积线性调频脉冲发射信号、全相参体制雷达、同一脉冲重复周期内宽、中、窄脉冲相结合的组合脉冲波形;采用固态功放,低压驱动发射,使得发射机可靠性提高,产品全寿命周期成本降低,即开即用,无预热时间限制,发射功率小,对外辐射低;采用大时宽带宽积线性调频脉冲信号,借助脉冲压缩可以拥有窄脉冲高距离分辨性能的同时又兼备对远距离目标的探测性能;采用全相参体制,通过相参积累/非相参积累处理,进一步增大对杂波的抑制能力,提升目标的检测性能;采用宽、中、窄组合脉冲波形,可以实现探测距离盲区较小的对全量程目标的同时测量。

[0108] 以上公开的仅为本发明的几个具体实施例,本领域的技术人员可以对本发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围,倘若本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内,则本发明也意图包含这些改动和变型在内。

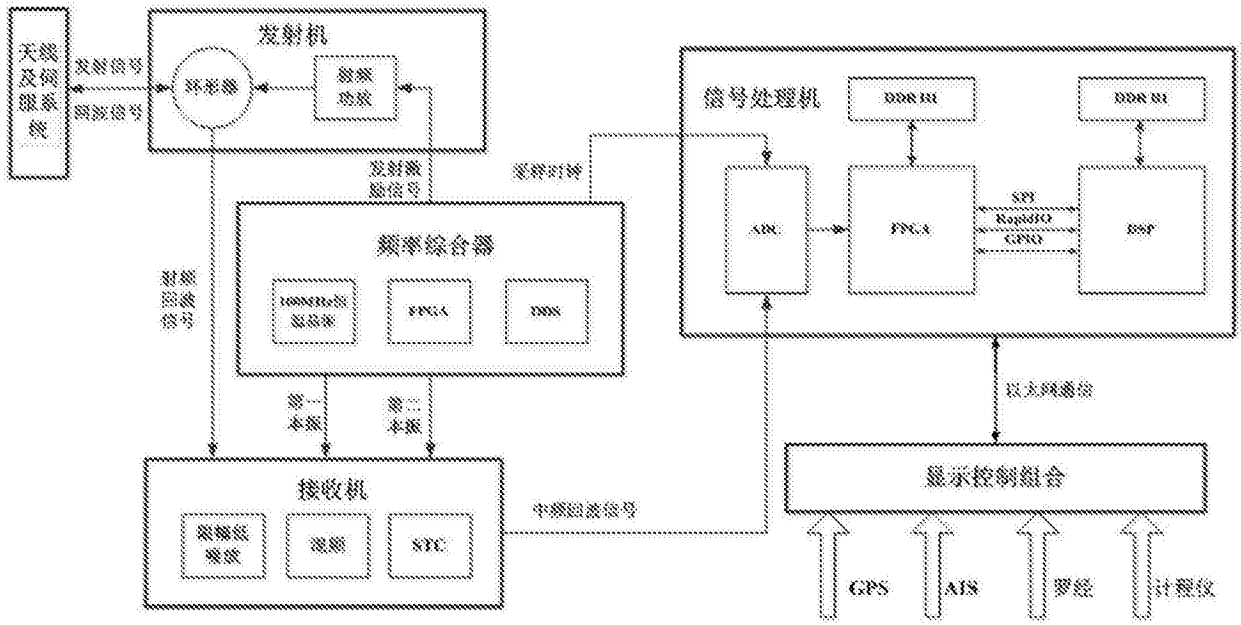


图1

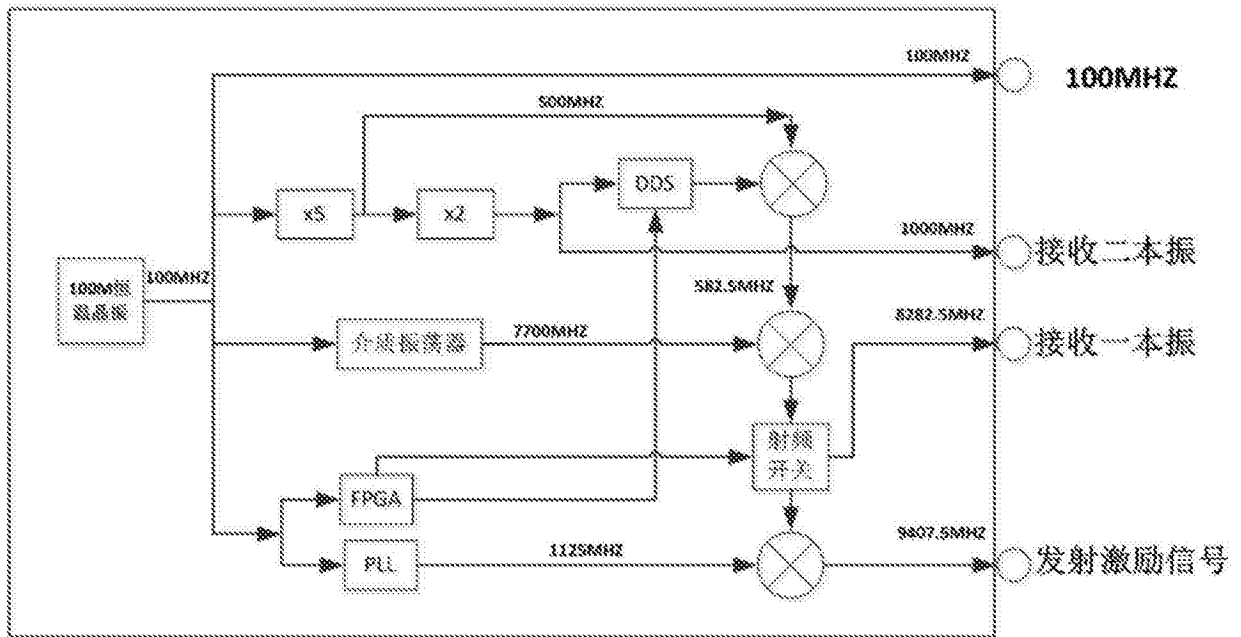


图2

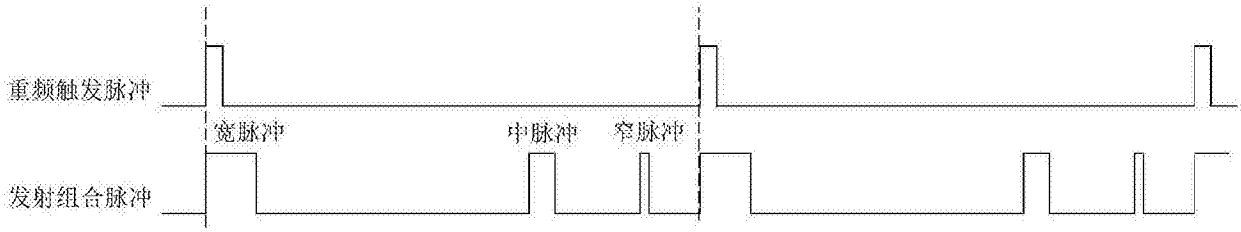


图3

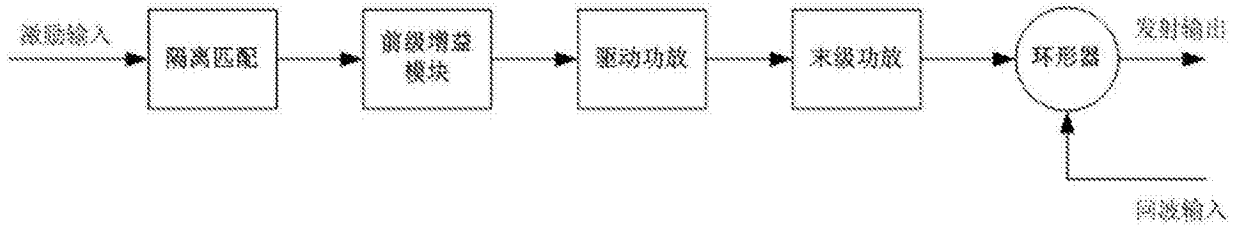


图4



图5

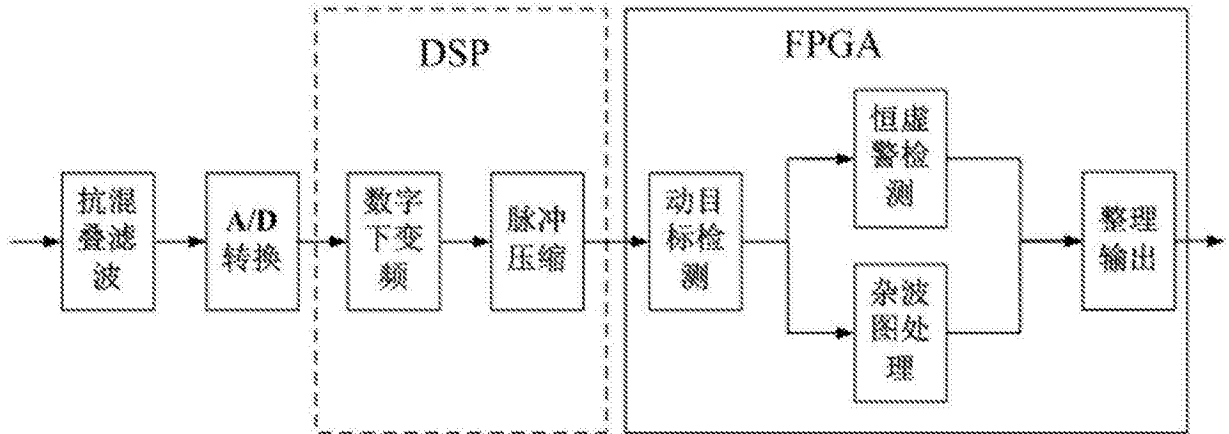


图6

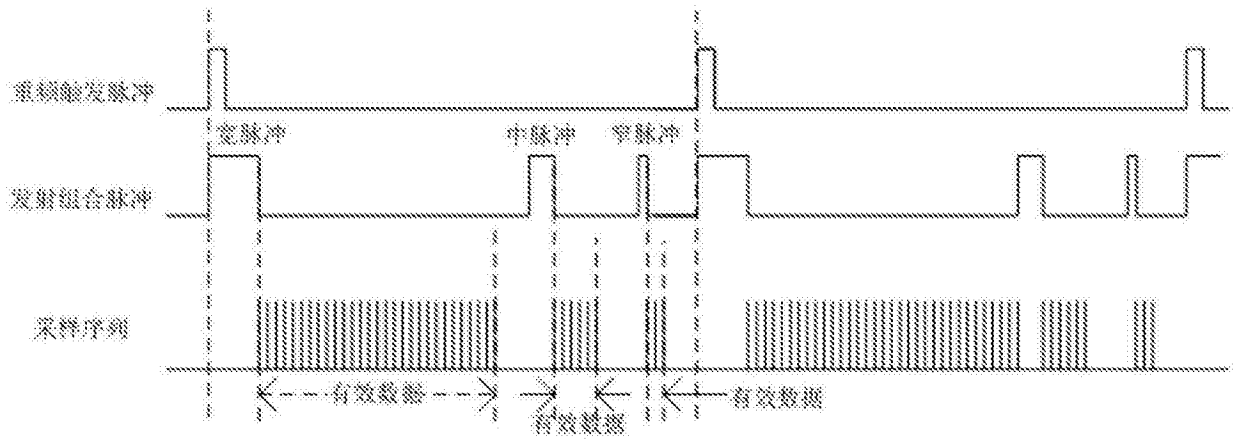


图7

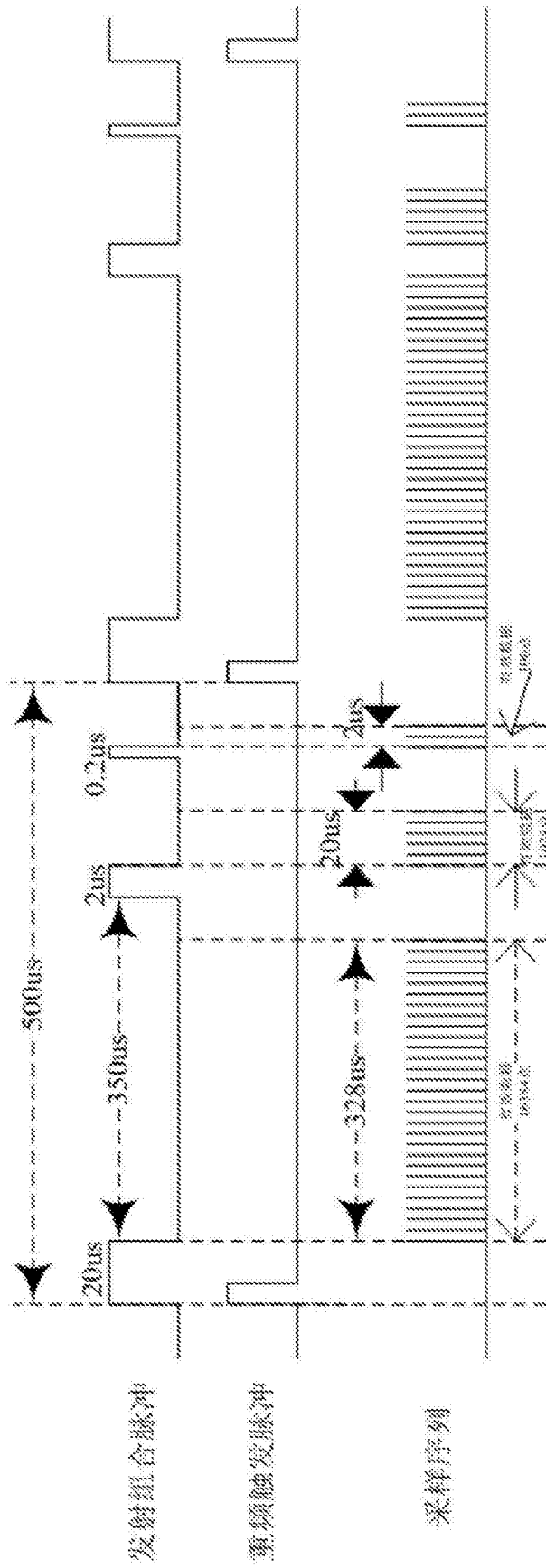


图8

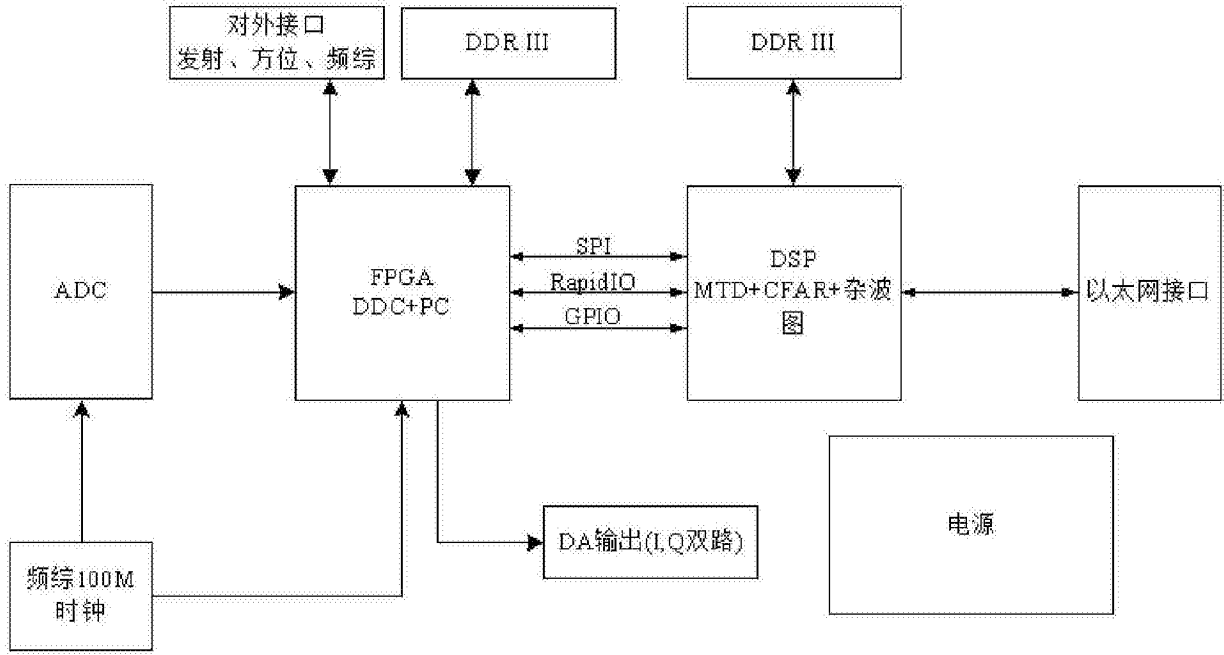


图9

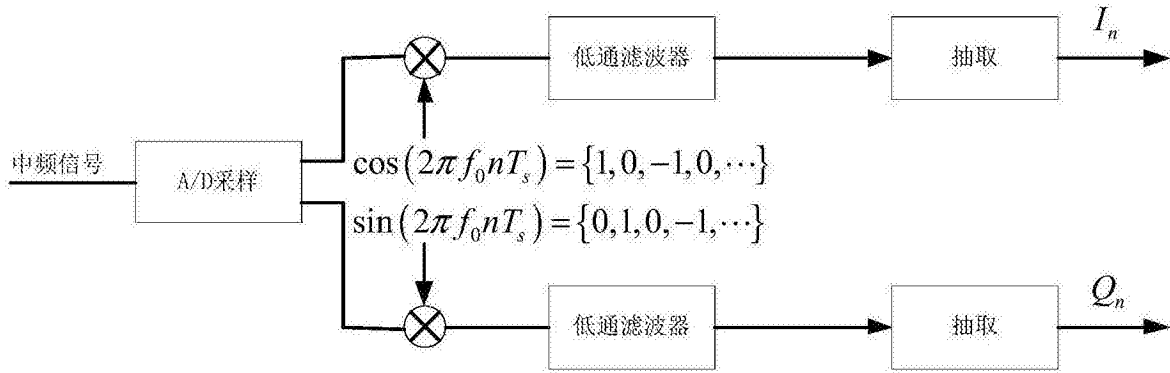


图10

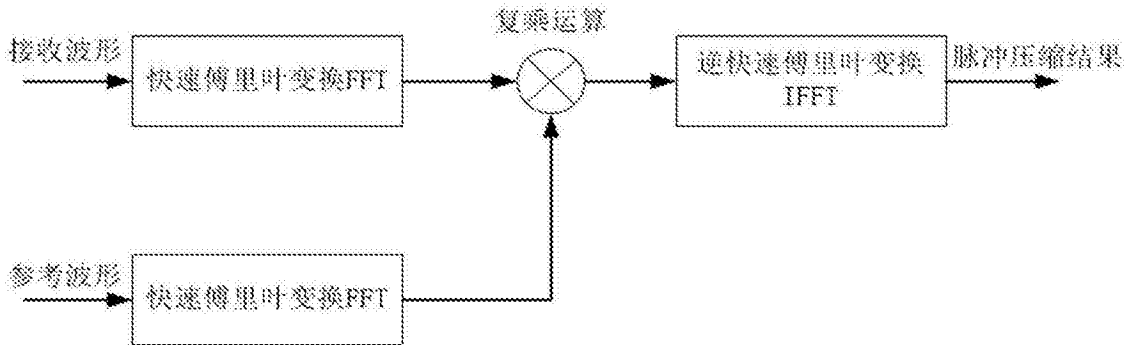


图11

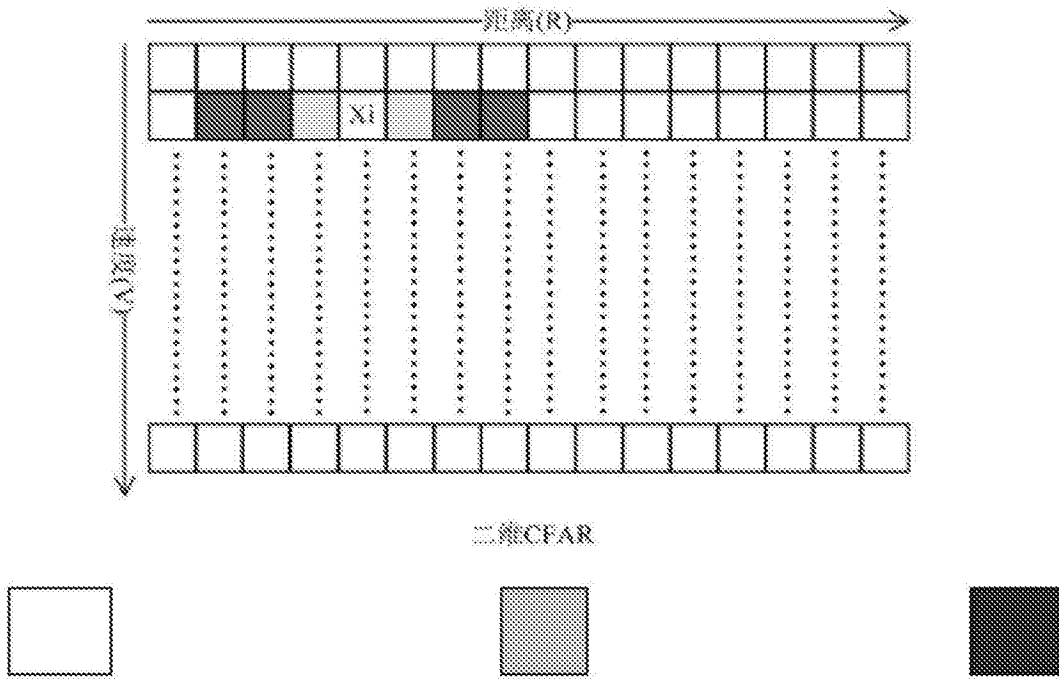


图12

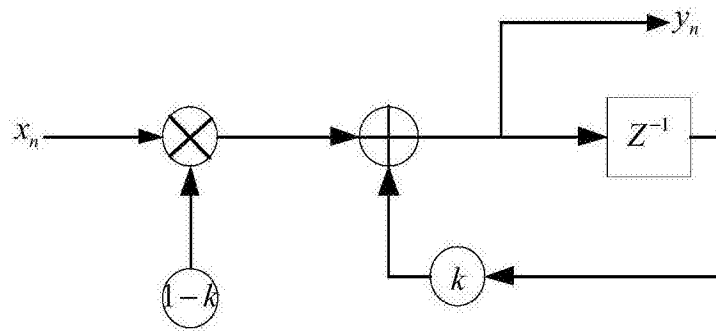


图13