



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106794009 A

(43)申请公布日 2017. 05. 31

(21)申请号 201580054058.7

(22)申请日 2015.10.07

(30)优先权数据

62/060,822 2014.10.07 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2017.04.05

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2015/054405 2015.10.07

(87)PCT国际申请的公布数据

W02016/057622 EN 2016.04.14

(71)申请人 蝴蝶网络有限公司

地址 美国康涅狄格州

(72)发明人 泰勒·S·拉尔斯顿

内华达·J·桑切斯

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 康建峰 李春晖

(51)Int.Cl.

A61B 8/15(2006.01)

G01S 15/89(2006.01)

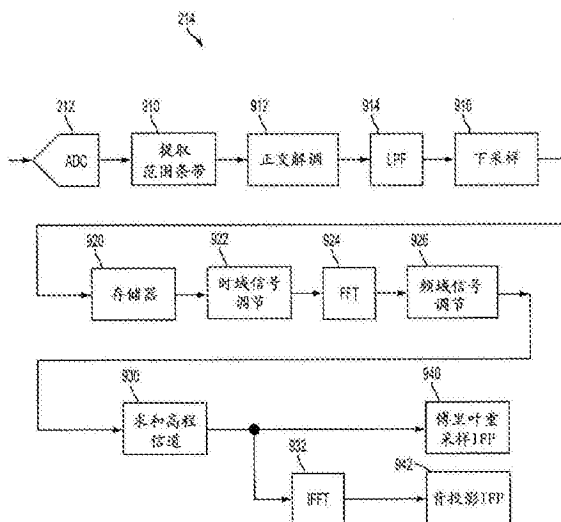
权利要求书2页 说明书19页 附图14页

(54)发明名称

超声信号处理电路及相关设备和方法

(57)摘要

描述了超声信号处理电路及相关设备和方法。可以通过应用一个或更多个加权函数来处理或调节从基于超声换能器的成像系统中的超声换能器阵列接收的信号样本。在一些实施方式中,可以在时域中对信号样本应用一个或更多个加权函数。在另一些实施方式中,可以将信号样本转换到频域并且可以在频域中应用一个或更多个加权函数。在又一些实施方式中,可以在时域中应用一个或更多个加权函数并且可以在频域中应用一个或更多个加权函数。加权函数可以是信道相关的和/或信道无关的。可以将经处理的数据提供至图像形成处理器。



1. 一种用于处理从超声换能器阵列接收的信号的方法,包括:
将所接收的信号转换到数字域以提供信号样本,所接收的信号表示所接收的超声能量;
对所述信号样本执行正交解调,然后对经解调的信号样本执行快速傅里叶变换并且在频域中执行信号调节;以及
在对经解调的信号样本执行快速傅里叶变换并且在所述频域中执行信号调节之后,对与所述超声换能器阵列的高程信道对应的频域值求和,以提供求和的高程值;以及
输出所述求和的高程值以用于超声图像形成处理。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中,信号调节包括对所述频域值应用频域加权函数。
3. 根据权利要求1所述的方法,还包括:对所述经解调的信号样本应用时域加权函数,其中,对经时域加权的信号样本执行快速傅里叶变换。
4. 根据权利要求1所述的方法,还包括:从所述信号样本提取与要形成的图像对应的所述信号样本的子集,其中,对所提取的信号样本执行正交解调。
5. 根据权利要求1所述的方法,还包括:对所述经解调的信号样本执行下采样以用于数据缩减,其中,对经下采样的信号样本执行快速傅里叶变换。
6. 一种用于处理从超声换能器阵列接收的信号的方法,包括:
将所接收的信号转换到数字域以提供信号样本,所接收的信号表示所接收的超声能量;
从所述信号样本中提取与要形成的图像对应的所述信号样本的子集;
对所提取的信号样本应用时域加权函数;
将经加权的信号样本转换成频域值;
对所述频域值应用频域加权函数;以及
输出经加权的频域值以用于超声图像形成处理。
7. 根据权利要求6所述的方法,其中,应用所述时域加权函数包括对所提取的信号样本执行接收器相关的加权。
8. 根据权利要求6所述的方法,其中,应用所述时域加权函数包括对所提取的信号样本执行激励相关的加权。
9. 根据权利要求6所述的方法,其中,应用所述时域加权函数包括对所提取的信号样本执行信道无关的加权。
10. 根据权利要求6所述的方法,其中,应用所述时域加权函数包括对所提取的信号样本执行信道相关的加权。
11. 根据权利要求6所述的方法,其中,应用所述频域加权函数包括对所述频域值执行接收器相关的加权。
12. 根据权利要求6所述的方法,其中,应用所述频域加权函数包括对所述频域值执行激励相关的加权。
13. 根据权利要求6所述的方法,其中,应用所述频域加权函数包括对所述频域值执行信道无关的加权。
14. 根据权利要求6所述的方法,其中,应用所述频域加权函数包括对所述频域值执行信道相关的加权。

15. 一种超声装置,包括:

超声换能器阵列,所述超声换能器阵列被配置成响应于接收超声能量而提供所接收的信号;以及

处理电路,所述处理电路被配置成处理所接收的信号,所述处理电路包括:

转换电路,所述转换电路被配置成将所接收的信号转换到数字域以提供信号样本;

提取电路,所述提取电路被配置成从所述信号样本提取与要形成的图像对应的所述信号样本的子集;

时域信号调节电路,所述时域信号调节电路被配置成对所提取的信号样本应用至少一个时域加权函数;

快速傅里叶变换电路,所述快速傅里叶变换电路被配置成将经加权的信号样本转换成频域值;

频域信号调节电路,所述频域信号调节电路被配置成对所提取的信号样本应用至少一个频域加权函数;以及

输出电路,所述输出电路被配置成输出经加权的频域值以用于超声图像形成处理。

16. 根据权利要求15所述的超声装置,其中,所述时域信号调节电路被配置成将所提取的信号样本乘以所述时域加权函数的系数。

17. 根据权利要求15所述的超声装置,其中,所述频域信号调节电路被配置成将所述频域值乘以所述频域加权函数的系数。

18. 根据权利要求15所述的超声装置,其中,所述处理电路还包括:正交解调电路,所述正交解调电路被配置成对所提取的信号样本执行正交解调,以及其中,对经解调的信号样本执行时域信号调节。

19. 根据权利要求15所述的超声装置,其中,所述处理电路还包括:下采样电路,所述下采样电路被配置成对所提取的信号样本执行下采样以用于数据缩减,以及其中,对经下采样的信号样本执行时域信号调节。

20. 根据权利要求15所述的超声装置,其中,所述处理电路被配置成:在第一数目的信道中部分处理所提取的信号样本,将经部分处理的信号样本存储在存储器中,以及在少于所述第一数目的信道的第二数目的信道中完成经部分处理的信号样本的处理。

21. 根据权利要求15所述的超声装置,其中,所述处理电路还包括:求和高程信道电路,所述求和高程信道电路被配置成:对与所述超声换能器阵列的高程信道对应的经加权的频域值执行求和以提供求和的高程值,以及其中,所述输出电路被配置成输出所述求和的高程值。

超声信号处理电路及相关设备和方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请根据35U.S.C. §119(e) 要求于2014年10月7日提交的代理人案号为B1348.70014US00并且标题为“ULTRASOUND SIGNAL PROCESSING CIRCUITRY AND RELATED APPARATUS AND METHODS”的美国临时专利申请第62/060,822号的权益,其全部内容通过引用被并入本文。

技术领域

[0003] 本公开内容的各方面涉及用于成像和/或处理(例如超声成像和/或处理技术)的电路、装置、系统和方法。更具体地,本公开内容的各方面涉及用于处理从超声换能器阵列接收的信号的方法和电路。

背景技术

[0004] 为了生成用于医疗应用的超声图像,用于医疗应用的超声换能器阵列通常产生大量的数据。期望图像的质量和复杂度越高,通常需要的数据就越多。

[0005] 为了提高超声成像的分辨率以及实现高质量的3D立体成像,需要更大和更密集的换能器阵列,然而将多个信道的模拟信号从超声换能器阵列传输至超声系统的控制和处理电子器件的问题已经对更大和更密集的换能器阵列的利用造成了限制。

发明内容

[0006] 本公开内容描述了对从基于超声换能器的成像系统的超声换能器阵列接收的信号进行处理的各方面,该基于超声换能器的成像系统包括用于处理信号的数字和模拟电路。在一些实施方式中,通过应用一个或更多个加权函数来处理或调节信号样本。在一些实施方式中,可以在时域中对信号样本应用一个或更多个加权函数。在其他实施方式中,可以将信号样本转换到频域并且可以在频域中应用一个或更多个加权函数。在再一些实施方式中,可以在时域中应用一个或更多个加权函数并且可以在频域中应用一个或更多个加权函数。加权函数可以是信道相关的和/或与信道无关的。可以将处理的数据提供至图像形成处理器。在图像形成处理之前对信号的处理可以称为对从超声换能器阵列接收的信号“预处理”。

[0007] 一些实施方式涉及用于处理从超声换能器阵列接收的信号的方法。该方法包括:在将接收的信号从模拟域转换到数字域之后,对接收的信号进行信号调节。

[0008] 一些实施方式涉及用于处理从超声换能器阵列接收的信号的方法。该方法包括:将接收的信号转换到数字域以提供信号样本,以及对信号样本执行正交解调,然后对解调的信号样本执行快速傅里叶变换并且在频域中执行信号调节。

[0009] 一些实施方式涉及用于处理从超声换能器阵列接收的信号的方法。该方法包括:对接收的信号执行快速傅里叶变换,然后在频域中对超声换能器阵列的高程信道(elevation channel)进行求和。

[0010] 一些实施方式涉及用于处理从超声换能器阵列接收的信号的方法。该方法包括：对接收的信号进行处理以提供用于傅里叶重采样图像形成处理和/或背投影图像形成处理的信号。

[0011] 一些实施方式涉及用于处理从超声换能器阵列接收的信号的方法。该方法包括：在第一数目的信道中对接收的信号执行处理以提供部分处理的信号样本，将部分处理的信号样本存储在存储器中，以及在少于第一数目的信道的第二数目的信道中完成对部分处理的信号样本的处理。

[0012] 一些实施方式涉及用于处理从超声换能器阵列接收的信号的方法。该方法包括：将接收的信号转换到数字域以提供信号样本，调节信号样本，以及输出经调节的信号样本以用于图像形成处理。

[0013] 一些实施方式涉及超声装置，该超声装置包括：超声换能器阵列，该超声换能器阵列被配置成响应于接收超声能量而提供接收的信号；以及处理电路，该处理电路被配置成对接收的信号进行处理。该处理电路包括：转换电路，该转换电路被配置成将接收的信号转换到数字域以提供信号样本；调节电路，该调节电路被配置成调节信号样本；以及输出电路，该输出电路被配置成输出经调节的信号样本以用于图像形成处理。

[0014] 一些实施方式涉及用于处理从超声换能器阵列接收的信号的方法。该方法包括：将接收的信号转换到数字域以提供信号样本，从信号样本中提取与要形成的图像对应的信号样本的子集，对信号样本应用时域加权函数，将加权的信号样本转换成频域值，对频域值应用频域加权函数，以及输出加权的频域值以用于图像形成处理。

附图说明

[0015] 将参照以下附图来描述本公开技术的各个方面和实施方式。应当理解，附图并不一定按比例绘制。出现在多个附图中的项在其出现的所有附图中由相同的附图标记来表示。

[0016] 图1是体现本公开技术的各个方面的单片超声装置的说明性示例的框图。

[0017] 图2是示出了在一些实施方式中可以如何使用给定换能器元件的TX电路和RX电路来激励元件以发射超声脉冲或者接收并处理来自元件的表示由换能器元件感测的超声脉冲的信号的框图。

[0018] 图3至图8是可以包括在图2所示的RX电路的模拟处理块和数字处理块中的部件的说明性示例的框图。

[0019] 图9是根据实施方式的RX电路的数字处理块的框图。

[0020] 图10是图9所示的QDM块、滤波器块和下采样块的实施方式的框图。

[0021] 图11是根据实施方式的图9的时域调节块的框图。

[0022] 图12是根据实施方式的图9所示的FFT块的框图。

[0023] 图13是根据实施方式的图9所示的频域调节块的框图。

[0024] 图14是根据实施方式的图13所示的求和信道块的框图。

[0025] 图15是根据实施方式的信号处理架构的信道配置的示例的示意性框图。

[0026] 图16是根据实施方式的信号处理方法的示例的流程图。

具体实施方式

[0027] 本公开内容的各方面涉及用于处理从超声换能器阵列接收的信号的数字和模拟电路及方法。在一些实施方式中,可以将超声换能器阵列和电路集成在单个互补金属氧化物半导体 (CMOS) 芯片或基板上,或者可以集成在超声探头内的多个芯片上。本公开内容提供独特的、性价比高的并且可扩展的集成信号处理架构以处理来自超声换能器元件或超声换能器元件组的信号以及提供足够健壮的数据用于先进高质量成像应用。因此,本公开内容的各方面提供了一种架构,该架构可以用于具有集成的超声换能器 (例如,CMOS超声换能器) 和数字电路的单基板超声装置。

[0028] 本公开内容描述了对从基于超声换能器的成像系统的超声换能器阵列接收的信号进行处理的各方面。在一些实施方式中,通过应用一个或更多个加权函数或模板 (mask) 来处理或调节信号样本。在一些实施方式中,可以在时域中对信号样本应用一个或更多个加权函数。在另一些实施方式中,可以将信号样本转换到频域并且可以在频域中应用一个或更多个加权函数。在再一些实施方式中,可以在时域中应用一个或更多个加权函数并且可以在频域中应用一个或更多个加权函数。加权函数可以是信道相关的和/或与信道无关的。可以将经处理的数据提供至图像形成处理器。在图像形成处理之前对信号的处理可以称为对从超声换能器阵列接收的信号“预处理”。

[0029] 此外,可以将信号样本转换成有利于图像形成处理的形式。例如,可以在图像形成处理之前组合与若干高程信道对应的数据。一般而言,可以在图像形成处理之前或在图像形成处理期间基于特定架构来执行各种信号处理功能。信号处理架构还可以包括:数据缩减、压缩和/或下采样,以减少正在进行处理的数据量。这种操作可以包括例如正交解调、滤波和下采样。在再一些实施方式中,可以丢弃对正在形成的图像没有贡献的信号样本或者使图像劣化的信号样本。

[0030] 下面将进一步描述上述方面和实施方式以及另外的方面和实施方式。这些方面和/或实施方式可单独地、全部一起地或以两个或更多个的任何组合的方式来使用,本申请对此方面不作限制。

[0031] 图1示出了体现本公开内容的各个方面的单片超声装置100的说明性示例。如图所示,装置100可以包括一个或更多个换能器布置 (例如,阵列) 102、发送 (TX) 电路104、接收 (RX) 电路106、定时和控制电路108、信号调节/处理电路110、电力管理电路118和/或高强度聚焦超声 (HIFU) 控制器120。在所示的实施方式中,所有示出的元件形成在单个半导体管芯112上。然而,应当理解,在备选实施方式中,所示元件中的一个或更多个元件可以替代地位于芯片外。此外,虽然所示示例示出了TX电路104和RX电路106二者,但是在备选实施方式中可以仅采用TX电路或仅采用RX电路。例如,这种实施方式可以在下述情况下采用:使用一个或更多个仅发送装置100来发送声信号,并且使用一个或更多个仅接收装置100来接收已经通过正在进行超声成像的对象发送或被该对象反射的声信号。

[0032] 应当理解,可以以多种方式中的任何方式来执行在一个或更多个所示部件之间的通信。在一些实施方式中,例如可以使用如由统一北桥所采用的一个或更多个高速总线 (未示出) 来实现高速芯片内的通信或与一个或更多个芯片外部件的通信。

[0033] 一个或更多个换能器阵列102可以采取多种形式中的任何一种形式,并且本技术

的各方面并不一定要求使用任何特定类型或特定布置的换能器单元或换能器元件。实际上,虽然在本说明书中使用了术语“阵列”,但是应当理解,在一些实施方式中换能器元件可以不以阵列来组织,而是可以以一些非阵列的方式进行布置。在各种实施方式中,阵列102中的换能器元件中的每个换能器元件例如可以包括一个或更多个CMUT、一个或更多个CMOS超声换能器(CUT)和/或一个或更多个其他合适的超声换能器单元。在一些实施方式中,换能器阵列102的换能器元件可以形成在同一芯片上作为TX电路104和/或RX电路106的电子器件。在于2014年3月13日提交的代理人案号为B1348.70007US01并且标题为COMPLEMENTARY METAL OXIDE SEMICONDUCTOR(CMOS) ULTRASONIC TRANSDUCERS AND METHODS FOR FORMING THE SAME的美国专利申请序列号14/208,351中详细讨论了超声换能器单元、元件和布置(例如,阵列)以及将这些器件与底层COMS电路集成的方法的多个示例,其全部内容通过引用被并入本文。

[0034] CUT可以例如包括形成在CMOS晶片中的腔,在该腔上覆盖有膜,并且在一些实施方式中,该膜将该腔密封。可以设置电极以从覆盖的腔结构创建换能器单元。COMS晶片可以包括集成电路,换能器单元可连接至该集成电路。换能器单元和COMS晶片可以单片地集成,从而在单个基板(COMS晶片)上形成集成超声换能器单元和集成电路。

[0035] TX电路104(如果包括)可以例如产生驱动一个或多个换能器阵列102的各个元件或一个或多个换能器阵列102中的一个或更多个元件组的脉冲,从而生成用于成像的声信号。另一方面,RX电路106可以在声信号撞击(impinge upon)这种元件时,接收并且处理由一个或多个换能器阵列102的各个元件生成的电子信号。

[0036] 在一些实施方式中,定时和控制电路108可以例如负责产生用于同步和协调装置100中的其他元件的操作的所有定时和控制信号。在所示的示例中,定时和控制电路108由提供至输入端口116的单个时钟信号CLK驱动。时钟信号CLK可以例如是用于驱动一个或更多个片上电路部件的高频时钟。在一些实施方式中,时钟信号CLK可以例如是用于驱动信号调节/处理电路110中的高速串行输出装置(未在图1中示出)的1.5625GHz或2.5GHz时钟或者用于驱动管芯112上的其他数字部件的20MHz或40MHz时钟,并且定时和控制电路108可以在必要时对时钟CLK进行除运算或乘运算以驱动管芯112上的其他部件。在其他实施方式中,可以从片外源向定时和控制电路108单独地提供不同频率的两个或更多个时钟(例如上面提及的那些)。

[0037] 电力管理电路118可以例如负责将来自片外源的一个或更多个输入电压 V_{IN} 转换成进行芯片操作所需的电压,以及负责管理装置100内的电力消耗。在一些实施方式中,例如可以将单个电压(例如,12V、80V、100V、120V等)提供至芯片,并且电力管理电路118在需要时可以使用充电泵电路或经由其他一些DC-DC电压转换机构来调高或调低电压。在其他实施方式中,可以将多个不同电压单独地提供至电力管理电路118以用于处理和/或分配给其他片上部件。

[0038] 如图1所示,在一些实施方式中,可以将HIFU控制器120集成在管芯112上,从而使能够经由一个或多个换能器阵列102的一个或更多个元件生成HIFU信号。在其他实施方式中,用于驱动一个或多个换能器阵列102的HIFU控制器可以位于片外,或甚至位于与装置100分离的装置中。也就是说,本公开内容的各方面涉及提供具有或不具有超声成像能力的片上超声HIFU系统。然而,应当理解,一些实施方式可以不具有任何HIFU能力,因此可以不

包括HIFU控制器120。

[0039] 此外,应当理解,在提供HIFU功能的那些实施方式中,HIFU控制器120可以不表示不同的电路。例如,在一些实施方式中,图1的其余电路(除了HIFU控制器120)可以适于提供超声成像功能和/或HIFU,即,在一些实施方式中共享的同一电路可以操作为成像系统和/或用于HIFU。是否表现出成像或HIFU功能可以取决于提供给系统的电力。HIFU通常在比超声成像更高的电力下操作。因此,给系统提供适于成像应用的第一电力电平(或电压电平)可以使系统操作为成像系统,而提供更高的电力电平(或电压电平)可以使系统操作用于HIFU。在一些实施方式中,可由片外控制电路来提供这种电力管理。

[0040] 除了使用不同的电力电平以外,成像和HIFU应用还可以使用不同的波形。因此,可以使用波形生成电路来提供合适的波形以使系统操作为成像系统或HIFU系统。

[0041] 在一些实施方式中,系统可以操作为成像系统和HIFU系统二者(例如,能够提供图像引导的HIFU)。在一些这样的实施方式中,可以在使用合适的定时序列来控制两种模式之间的操作的情况下,使用相同的片上电路来提供两种功能。在于2012年10月17日提交的标题为TRANSMISSIVE IMAGING AND RELATED APPARATUS AND METHODS的美国专利申请序列号13/654,337中描述了可以在本公开内容所阐述的各种实施方式中使用的有关HIFU实现方式和操作特征的另外细节,其全部内容通过引用被并入本文。

[0042] 在所示的示例中,一个或多个输出端口114可以输出由信号调节/处理电路110的一个或多个部件生成的高速串行数据流。这种数据流可以例如由集成在管芯112上的一个或多个USB 3.0模块和/或一个或多个10GB、40GB或100GB以太网模块生成。在一些实施方式中,可以将在输出端口114上生成的信号流馈送至计算机、平板电脑或智能电话以生成和/或显示2维、3维和/或断层图像。在将图像形成能力并入信号调节/处理电路110中的实施方式中,即使相对低电力的装置如智能电话或平板电脑(其仅具有有限量的可用于执行应用程序的处理电力和存储器)也可以仅使用来自输出端口114的串行数据流来显示图像。如上所述,使用片上模数转换和高速串行数据链路来卸载数字数据流是有助于促进根据本公开内容的一些实施方式的“片上超声”解决方案的特征之一。

[0043] 如图1所示的装置100可用于多个成像和/或处理(例如,HIFU)应用中的任意应用中,并且不应将本文所讨论的特定示例视为限制性的。在一个说明性的实现方式中,例如包括CMUT元件的 $N \times M$ 平面型或基本平面型阵列的成像装置本身可以用于通过以下方式来获取对象如人的腹部的超声图像:在一个或多个发送阶段期间,(一起或单独地)激励一个或多个阵列102中的一些或全部元件;以及在一个或多个接收阶段期间,接收并且处理由一个或多个阵列102中的一些或全部元件生成的信号,使得在每个接收阶段期间,CMUT元件感测由对象反射的声信号。在其他实现方式中,一个或多个阵列102中的一些元件可以仅用于发送声信号,并且同时相同的一个或多个阵列102中的其他元件可以仅用于接收声信号。此外,在一些实现方式中,单个成像装置可以包括各个装置的 $P \times Q$ 阵列或者CMUT元件的各个 $N \times M$ 平面型阵列的 $P \times Q$ 阵列,这些部件可并行、串行或根据一些其他定时方案来操作,从而使得能够从比在单个装置100中或单个管芯112上具有的CMUT元件更多的CMUT元件累积数据。

[0044] 在又一些实施方式中,将一对成像装置定位成跨置在对象上,使得在对象一侧上的成像装置的一个或多个装置100中的一个或多个CMUT元件可以感测由在对象另一侧上

的成像装置的一个或多个装置100中的一个或更多个CMUT元件生成的声信号,以达到这种脉冲基本上不被对象衰减的程度。此外,在一些实现方式中,可以使用相同的装置100来测量从其自身的一个或更多个CMUT元件散射的声信号以及从位于对象的相对侧上的成像装置中的一个或更多个CMUT元件发送的声信号二者。

[0045] 图2是示出了在一些实施方式中可以如何使用给定换能器元件204的TX电路104和RX电路106来激励超声元件204以发射超声脉冲或者接收和处理来自超声元件204的表示由换能器元件感测的超声脉冲的信号的框图。在一些实现方式中,可以在“发送”阶段中使用TX电路104,并且可以在与发送阶段不重叠的“接收”阶段中使用RX电路。在其他实现方式中,例如当一对超声单元仅用于透射成像时,在给定的装置100中可以简单地不使用TX电路104和RX电路106中的一个。如上所述,在一些实施方式中,装置100可以替选地仅使用TX电路104或仅使用RX电路106,并且本技术的各方面不一定需要存在这两类电路。在各种实施方式中,TX电路104和/或RX电路106可以包括与单个换能器单元(例如,CUT或CMUT)、单个换能器元件204内的两个或更多个换能器单元的组、包括换能器单元组的单个换能器元件204、阵列102中的两个或更多个换能器元件204的组、或换能器元件204的整个阵列102相关联的TX电路和/或RX电路。

[0046] 在图2所示的示例中,对于一个或多个阵列102中的每个换能器元件204,TX电路104/RX电路106包括单独的TX电路和单独的RX电路,但是仅存在定时和控制电路108和信号调节/处理电路110中的每一个的一个实例。因此,在这种实施方式中,定时和控制电路108可以负责同步及协调管芯112上的所有TX电路104/RX电路106组合的操作,并且信号调节/处理电路110可以负责处理来自管芯112上的所有RX电路106的输入。在其他实施方式中,可以为每个换能器元件204或为换能器元件204的组复制定时和控制电路108。

[0047] 如图2所示,除了生成和/或分配时钟信号以驱动装置100中的各种数字部件以外,定时和控制电路108还可以输出“TX使能”信号以启用TX电路104的每个TX电路的操作,或者输出“RX使能”信号以启用RX电路106的每个RX电路的操作。在所示的示例中,可以在启用TX电路104之前总是断开RX电路106中的开关202,从而防止TX电路104的输出驱动RX电路106。可以在启用RX电路106的操作时闭合开关202,从而使得RX电路106能够接收并且处理由换能器元件204生成的信号。

[0048] 如图所示,用于相应换能器元件204的TX电路104可以包括波形生成器206和脉冲发生器208二者。波形生成器206可以例如负责生成要应用于脉冲发生器208的波形,以使脉冲发生器208将驱动信号输出至与生成的波形对应的换能器元件204。

[0049] 在图2所示的示例中,用于相应换能器元件204的RX电路106包括模拟处理块210、模数转换器(ADC) 212和数字处理块214。ADC 212可以例如包括10比特或12比特、20Msps、25Msps、40Msps、50Msps或80Msps ADC。

[0050] 在数字处理块214中进行处理之后,将管芯112上的所有RX电路(在本示例中,RX电路的数量等于芯片上换能器元件204的数量)的输出馈送至信号调节/处理电路110中的多路复用器(MUX) 216。在其他实施方式中,换能器元件的数量大于RX电路的数量,并且多个换能器元件向单个RX电路提供信号。MUX 216对来自RX电路的数字数据进行多路复用,并且将MUX 216的输出馈送至信号调节/处理电路110中的多路复用数字处理块218,以用于例如在经由一个或更多个高速串行输出端口114将数据从管芯112输出之前的最后处理。MUX 216

是可选的,并且在一些实施方式中执行并行信号处理。可以在块之间或块内的任何接口处、在芯片之间的任何接口处和/或主机的任何接口处设置高速串行数据端口。模拟处理块210和/或数字处理块214中的各种部件可以减少需要经由高速串行数据链路或以其他方式从管芯112输出的数据量。因此,在一些实施方式中,例如模拟处理块210和/或数字处理块214中的一个或更多个部件可以用于使RX电路106能够以改进的信噪比(SNR)并且以与多种波形兼容的方式来接收透射的和/或散射的超声压力波。因此,在一些实施方式中,包括这样的元件可以进一步促进和/或增强所公开的“片上超声”解决方案。

[0051] 虽然下面描述了可以可选地包括在模拟处理块210中的特定部件,但是应当理解,在数字处理块214中可以附加地或替代地采用与这样的模拟部件相对应的数字部件。反之亦然。也就是说,虽然下面描述了可以可选地包括在数字处理块214中的特定部件,但是应当理解,在模拟处理块210中可以附加地或替代地采用与这样的数字部件相对应的模拟部件。

[0052] 图3示出了可以包括在RX电路106的模拟处理块210和数字处理块中的部件(见图2)的说明性示例。在一些实施方式中,RX电路106的部件可以例如共同具有从DC到50MHz的带宽,并且提供50dB、60dB、70dB、80dB或更高的增益,其具有小于4dB的噪声系数、45dB的锯齿(alias)谐波抑制以及40dB的信道隔离。列出这样的参数只是出于说明的目的而不旨在是限制性的。其他性能参数也是可能的并且可以加以考虑。

[0053] 如图3所示,模拟处理块210可以例如包括低噪声放大器(LNA) 302、可变增益放大器(VGA) 304和低通滤波器(LPF) 306。在一些实施方式中,例如可以经由包括在定时和控制电路108中的时间增益补偿(TGC)电路来调整VGA 304。LPF 306提供所获取的信号的抗混叠(anti-aliasing)。在一些实施方式中,LPF 306可以例如包括具有大约5MHz的截止频率的2阶低通滤波器。然而,其他实现方式也是可能的并且可以加以考虑。如上所述,ADC 212可以例如包括10比特或12比特、20Msps、25Msps、40Msps、50Msps或80Msps ADC。

[0054] 在图3的示例中,RX电路106的数字控制块214包括数字正交解调(DQDM)电路308、平均电路314(包括累加器310和平均存储器312)和输出缓冲器316。DQDM电路308可以例如被配置成将接收的信号的数字化版本从中心频率向下混频到基带,然后对基带信号进行低通滤波和抽取。DQDM电路308可以通过从接收的信号中去除不用的频率来实现带宽的无损缩减,从而显著减少需要由信号调节/处理电路110处理并从管芯112卸载的数字数据的量。通过这些部件实现的带宽缩减可以有助于促进和/或改进本文所描述的“片上超声”实施方式的性能。

[0055] 在一些实施方式中,期望使DQDM 308的中心频率“ f_c ”与在一个或多个阵列102中使用的换能器元件所关注的频率匹配。下面将参照图4至图8描述除了或取代图3中示出的DQDM 308和/或其他部件,在一些实施方式中还可以被包括在RX电路106中的另外的部件的示例。在所示实施方式中的平均电路314(包括累加器310和平均存储器312)用于对所接收的数据窗口求平均。

[0056] 图4示出了RX电路106的示例性实现方式,其包括可以例如执行波形移除并且改进接收电路的信噪比的匹配滤波器402。虽然被称为“匹配”滤波器,但是滤波器电路402实际上可以操作为匹配滤波器或失配滤波器以便从接收的信号中解耦波形。匹配滤波器402可以用于线性频率调制(LFM)或非LFM的脉冲。

[0057] 图5示出了适于用作匹配滤波器402的电路的说明性实施方式。如图所示,匹配滤波器402可以例如包括填充(padding)电路502、快速傅里叶变换(FFT)电路504、乘法器506、低通滤波器508、抽取器电路510和逆FFT电路512。如果采用填充电路502,填充电路502可以例如对输入信号进行足够的填充以避免在通过FFT实现循环卷积时产生伪像(artifacts)。

[0058] 为了操作为“匹配”滤波器,应用于乘法器506的“ $H(\omega)$ ”的值应为发送波形 $T_x(\omega)$ 的共轭。在一些实施方式中,通过将发送波形 $T_x(\omega)$ 的共轭应用于乘法器506,从而滤波器402可以确实操作为“匹配”滤波器。然而,在其他实施方式中,“匹配”滤波器402可以替代地操作为失配滤波器,在这种情况下,一些不是发送波形 $T_x(\omega)$ 的共轭的值被应用于乘法器506。

[0059] 图6示出了RX电路106的另一示例性实现方式。在图6的实施方式中,RX电路106包括去调频电路602,该去调频电路602能够执行另一种技术以通过隔离关注信号来减少带宽。去调频电路有时也称为“数字斜坡”或“延伸”电路。在各种实施方式中,去调频电路602可以包括在模拟处理块210中,或者可以包括在RX的数字处理块214中,或者可以包括在RX电路106的模拟处理块210和数字处理块214二者中。使用具有LFM波形的去调频电路有效地将时间转换成频率。

[0060] 图7示出了数字去调频电路602的示例。如图所示,去调频电路602可以包括数字乘法器702、数字低通滤波器704和抽取器电路706。(下面结合图8所讨论的模拟去调频电路将采用模拟乘法器和滤波器,而不是数字乘法器和滤波器,并且不包括抽取器电路706)。图7所示的“参考调频(chirp)”可以例如是与由对应TX电路104中的波形生成器206所生成的“调频”相同的“调频”。

[0061] 图8示出了RX电路106的又一示例性实现方式。在该示例中,不是使用数字处理块214中的DQDM电路和数字去调频电路,而是将模拟正交解调(AQDM)电路802和模拟去调频电路804包括在模拟处理块210中。在这种实施方式中,AQDM 802可以例如采用模拟混频器(未示出)和本地振荡器(未示出)来将输入信号混频到基带,并且然后采用低通模拟滤波器(未示出)从模拟信号中去除不想要的频率。如图8所示,在该实施方式中可以采用两个ADC,即ADC 806a和ADC 806b(例如,两个10比特或12比特、10Msps、20Msps、25Msps、40Msps、50Msps或80Msps ADC)来将模拟去调频电路804的输出转换成数字信号格式,但是ADC806a和ADC 806b中的每一个可以以其他示例中采用的ADC 1012的一半速率运行,从而潜在地降低功耗。

[0062] 数字信号处理电路

[0063] 图9是根据实施方式的RX电路106的数字处理块214的框图。图9的数字处理块214被配置成信号处理电路,该信号处理电路从ADC 212接收信号样本、处理所述信号样本并且提供用于图像形成处理的数据。信号处理可以包括但不限于:用于数据缩减、数据压缩和/或下采样的处理、用于对各种物理和电路效应进行补偿的处理、用于将数据转换成所选形式和/或用于在所选数据端口上进行传输的处理、和/或用于解释不同激励和/或用于从一个激励类型转换成另一激励类型的处理。

[0064] 如图9所示,信号处理电路包括提取范围条带(swath)块910、正交解调块912、示为低通滤波器(LPF)的滤波器块914、下采样块916、存储器920、时域信号调节块922、快速傅里叶变换(FFT)块924、频域信号调节块926、求和高程信道块930和快速傅里叶逆变换(IFTT)

块932。可以将信号处理链的输出提供至一个或更多个图像形成处理器 (IFP)，例如傅里叶重采样图像形成处理器940和/或背投影图像形成处理器942。如下面所讨论的，可以通过来自ADC 212的适当的数据流来实现提取范围条带块910。如下面进一步所讨论的，存储器920可以位于信号处理电路中的任何点处。

[0065] 图9的信号处理电路处理经由ADC 212从单个超声换能器元件或超声换能器元件组接收的信号。因此，对于每个超声换能器元件或超声换能器元件组重复信号处理链的至少一部分。如下面所讨论的，在一些实施方式中，信号处理链的一部分使用数目减少的信道并且基于时间复用对多个信道的信号进行处理。相比于针对每个超声换能器元件或超声换能器元件组使用一个信号处理信道的配置，通过使用数目减少的信道用于信号处理可以减小芯片面积和电力消耗。仅作为示例，超声换能器阵列可能包括1000个超声换能器元件，从而需要1000个信号处理信道。在一些实施方式中，相比于在存储器920之前的处理信道的数目，在存储器920之后的处理信道的数目减少。例如，可以在存储器920之后使用4、8或16个信道，但是关于信道的数目，该架构不做限制。如上所述，存储器920可以位于信号处理电路中的任何点处以经由时间复用来进行有效的速率改变。

[0066] 图9的信号处理电路可以具有各种配置，其中，根据特定超声系统的要求，可以旁路或省略一些块。例如，在不需要进行数据缩减的系统中可以旁路或省略执行数据缩减的正交解调块912、滤波器块914和下采样块916。在由图像形成处理器执行信道求和的系统中，可以旁路或省略求和高程信道块930。在图像形成处理器对频域数据进行操作的系统中，可以旁路或省略IFFT块932。在一些实施方式中，可以旁路或省略FFT块924和频域信号调节块926。在其他实施方式中，可以旁路或省略时域信号调节块922。

[0067] 提取范围条带块

[0068] 提取范围条带块910选择对图像有贡献的输入样本并且丢弃对图像没有贡献的输入样本。为了处理其像素相对于孔径具有给定范围和位置的图像，并且使用具有给定脉冲长度的波形，针对给定接收器/激励组合存在对图像像素有贡献的时间样本集合；在该集合之外的时间样本可以被丢弃。在一些实施方式中，可通过来自ADC 212的数据流来实现提取范围条带块910，其中，由数据被数字化和/或被注入到信号处理电路时的开始和结束时间来限定所选的数据范围。

[0069] 提取接收条中有贡献的部分能够减少数据传输需求(当在板上完成时)、数据存储需求(无论是在存储器中还是写入磁盘)以及处理负担。根据数据缩减的重要性，这可以以各种程度的紧凑性来完成。基本实现方式包括在所有接收器和所有激励中恒定的时间范围，并且所有接收器和所有激励具有恒定的开始时间。其他实现方式可以针对每个接收器和每个激励使用单独的开始时间及时间范围。在数据传输之后，对数据进行对准并且将数据布置成处理所需的任何形式。

[0070] 无论任何接收器保护器电路或开关，通常在系统正进行传输时或传输之后不久，不时地会存在非零接收A/D样本，导致由于饱和或其他非线性引起的高度失真的A/D值。这些样本对可用的图像没有贡献并且可能引起图像中的许多问题和伪像，这通常使得更难以进行基本诊断。当执行任何种类的去卷积或其他暂态的频域处理时(通常甚至只是截断成处理带)，在扩展的时域中的能量可以污染整个图像。由于这些样本中的能量主导了整个接收信道中的能量，因此(无论用于诊断还是用于校准)使用这些样本来对频谱进行估计都可

能是有问题的。

[0071] 可以在预处理期间将这些样本丢弃。可以使用相对延迟信息和波形的脉冲长度来确定该非线性部分结束处的近似索引。附加缓冲器可用于确保识别出所有非线性样本。可以在信道和激励之间独立地执行该处理以最小化在附近范围被丢弃的图像的量。

[0072] 在预处理器的输入处的数据可以是实数或复数,并且可以具有隐含的载波频率。组合了载波调整、低通滤波和下采样的步骤保证数据为复数、没有过度地过采样并且具有用于图像形成处理器的期望载波频率。现有的载波频率可能是“默认”的载波频率并且可能不是期望的处理带的实际中心。

[0073] 数据缩减

[0074] 图10是图9的正交解调(QDM)块912、滤波器块914和下采样块916的示例的框图。图10示出了正交解调块912可以实现为用于复输入信号 $x[n]$ 的虚部($I[n]$)和正交部($Q[n]$)的两个单独的数据流。QDM块912包括数控振荡器或可以用于生成 $\cos(2\pi f_c t)$ 和 $\sin(2\pi f_c t)$ 的任何其他合适的部件,其中,对中心频率 f_c 进行选择以提供特定量的解调。解调可以将信号相位调制成以0Hz为中心或由用于滤波的某个期望的频率范围来界定。在一些实施方式中,可取的是使 f_c 与一个或多个阵列102中使用的换能器所关注的频率匹配。来自QDM块912的虚部数据流和正交部数据流在输出之前进一步被滤波器块914和下采样块916处理。滤波器块914被示出为执行低通滤波(LPF)。然而,应当理解,可以替选地在滤波器块914中使用其他类型的滤波例如带通滤波(BPF)和高通滤波(HPF)。

[0075] 在本公开内容的一些实施方式中,级联积分梳状(CIC)滤波器架构可以用于执行滤波(例如,用于滤波器块914)和抽取(例如,用于下采样块916)。例如,这种CIC滤波器架构可以用于使用精确的延迟时间索引来准确地计算范围值。CIC滤波器包括多个(N)级并且充当低通滤波器,同时对输入数据流 $x[n]$ 进行抽取以生成输出数据流 $y[n]$ 。增加级数会导致通带中更多的下垂,而增加级数会导致更好的图像抑制。在一些实施方式中,可以在对数据应用CIC滤波器之后使用补偿滤波器来至少部分地解决通带下垂问题。

[0076] 图10的电路包括在数字处理电路中实现的六级处理。应当理解,可以包括任何数量的数字处理级,并且提供图10所示的六级实现方式仅用于说明的目的。此外,超声成像装置的一些操作模式可以采用图10描述的数字信号处理功能中的一些而非全部处理功能,以针对特定应用提供不同的压缩量和/或压缩类型(包括无压缩)。可以使用任何合适的技术来实现数字信号处理部件的模式选择以及随后的激活/去激活。

[0077] 如图10所示,接收的数字信号 $x[n]$ 首先被QDM块912处理,QDM块912包括一对乘法器电路1020和1022、正弦波生成器1024以及移相器元件1026。QDM块912的输出被传递至被实现为低通滤波器(LPF)的滤波器块914。在图10的说明性架构中,LPF 914被示为包括积分器级1012a和梳状级1012b的级联积分梳状(CIC)滤波器的一部分。应当理解,任何合适的低通滤波器可以用于LPF 914,但优选地,LPF 914应当足以抑制来自QDM块912的乘法操作的高频图像,并且在由下采样块916提供的下采样之前对信号抗混叠。

[0078] 在图10的说明性架构中,QDM块912的输出被提供至CIC滤波器的积分器级1012a。如图所示,积分器级1012a包括延迟元件1030和加法器元件1032。积分器级1012a的输出被传递至下采样块916,下采样块916使用下采样电路1040以因子M对接收的数字信号进行下采样。可以使用任何合适量的下采样(M),其包括但不限于以 $M=2, 4, 6, 8, 16, 24, 32, 48$ 或64进

行的下采样。 $M=4$ 的下转换生成输入的数据量的一半(采样率的四分之一,但是数据信道数的两倍)。

[0079] 下采样块916的输出被传递至CIC滤波器的梳状级1012b。如图所示,梳状级1012b包括延迟元件1050和减法元件1052。梳状级1012b的输出被传递至再量化电路1016,其中,使用再量化电路1060来执行数字信号的再量化。再量化电路1016的输出被传递至提供附加算术处理的算术逻辑单元(ALU) 1018。

[0080] 存储器

[0081] 再次参照图9,存储器920存储在接收的信号样本被提取范围条带块910、正交解调块912、低通滤波器914和下采样块916处理之后的信号样本。存储在存储器920中的信号样本按照时间来索引。当时域信号调节块922需要时,从存储器920中读取信号样本。如下面讨论的,存储器920之后的处理可以在多个输入信道上操作。因此,在从超声换能器阵列接收信号样本并且对信号样本进行初始处理之后,信号样本被写入存储器920。当存储器920之后的处理块需要时,从存储器920中读取信号样本。

[0082] 可以在任何一对块或者甚至子块(块中的块)之间设置存储器。在处理电路的任何点处,存储块可以有助于流处理速率的降低,从而减少用于处理所需的并行资源的数量,例如可以将同时进行处理的1152个信道保存在存储器中,然后在存储之后,流处理在某时可以仅由4个信道组成。降低流速率的一个原因是为了通过匹配数据速率接口来在速度和资源之间进行优化,所述接口例如是通用串行总线(USB)、火线(Firewire)、低电压差分信号(LVDS)、雷电接口(Thunderbolt)或其他。

[0083] 时域信号调节

[0084] 图9所示的时域信号调节块922在时域执行信号样本的信号调节。信号调节可以涉及对时域信号进行加权以补偿各种效应。可以使用加权函数或模板来执行加权。加权函数可以包括与在参考时间例如传输事件之后的时间范围对应的系数或加权值。因此,例如信号样本可以包括在参考时间之后的时间 t_0 、 t_1 、 $t_2 \dots t_n$ 的样本,并且加权函数可以包括与参考时间之后的每个信号样本对应的系数或加权值。每个信号样本都乘以对应的系数以提供加权的信号样本。时域信号调节块922中的存储器可以存储一个或更多个加权函数的系数。加权函数可以是固定的或者可以从主计算机中下载以提供便捷性。加权函数可以是信道相关的或与信道无关的。信号样本与加权值的相乘可以是复数乘法。

[0085] 图11是图9的时域信号调节块922的示例的示意性框图。图11的时域信号调节块922包括复数乘法器1110和随机存取存储器(RAM) 1120。复数乘法器1110中的每一个从存储器920接收信号样本,并且从RAM 1120接收加权值。复数乘法器1110对信号样本执行时域加权。包括加权系数的加权函数存储在RAM 1120中的。从RAM 1120中读取与信号样本的索引对应的加权系数,并且在接收信号样本时执行乘法。在一些实施方式中,RAM 1120包含与要补偿的单个效应对应的单个加权函数。在其他的实施方式中,加权函数可以是要补偿的两个或更多个效应的组合。在再一些实施方式中,图11的信号调节电路重复两次或更多次,并且各组复数乘法器1110应用不同的加权函数。

[0086] 在图11的实施方式中,时域信号调节块922包括四个复数乘法器1110。然而,时域信号调节块922可以包括任何期望数量的并行操作的乘法器,例如8个乘法器或16个乘法器。此外,如果信号样本表现为实数,则可以用传统的乘法器来替代复数乘法器1110。在一

些实施方式中,信号样本可以包括24比特,其包括12比特实值和12比特虚值。然而,可以使用任何大小和格式的信号样本。

[0087] 接收的信号可能需要在时间和/或范围上进行改变,以生成具有期望特性的图像。这可以使用在时间或范围压缩域中进行加权来实现。几乎可以在任何域执行加权来说明物理相关现象。示例为:应用时间不变转换函数作为频域中的权重、时间相关的权重以说明TGC(时间增益补偿)、范围相关的权重以说明衰减/“范围损耗”。时域不同于范围压缩域。当在时域数据上施加有足够长的波形时,对时间应用的权重和对范围应用的权重意味着不同的事项。存在一些用时域效应来描述会更为准确的效应,例如TCG或其他时间相关的接收器增益,以及一些用范围域效应来描述会更为准确的效应,例如组织衰减。

[0088] 准确的预处理器(或前向操作器,取决于正在以何种模式使用/限定处理)分离时间和范围域权重的应用/去除,并且在二者之间出现波形和系统转换功能的应用/去除。由于在存在扩展波形时,急剧转变意味着物理上不同的事项,并且由于陡坡和转变会影响频谱的形状(在使用数据本身进行去卷积时相关;在范围/时间域的斜坡(ramp)是时间频谱中的导数),因此需要小心地应用范围和/或时间中的急剧转变。当情况、参数或期望的图像质量要求单独地应用时间和范围的权重时,可以使用真实范围处理。

[0089] 为了执行与时域加权分离的“真实范围加权”,取决于预处理链的剩余部分的形式以及对输出预处理数据域的定义,可能需要附加FFT。对于这么做,存在许多方式来描述所有潜在组合。计算效率最高的一种预处理是将快速时间和范围加权组合到沿时间应用的单个权重集中。当组合了权重时,范围相关的权重被移动到时域。

[0090] 注意,如果在FFT之后期望FFT移位输出(在时域加权之后的预处理块),则可以通过在FFT之前沿时间做乘法来实现。可以将用来实现这一点的线性相位斜坡吸收到预计算的时域加权中,从而在预处理期间没有额外计算成本。

[0091] 无论时域加权是信道相关的还是与信道无关的,可能期望执行分散的(频率相关)时域加权(或“真实范围加权”)。这可以通过多种方法来实现,包括通过多项式或其他基本展开,以及多速率滤波器组。

[0092] 时域加权最基本的情况是信道无关(接收器和激励无关)加权。当对时间应用的唯一加权与信道无关时,可以节省存储器并且简化索引。当使用任何其他形式的时域加权(接收器相关、激励相关或信道相关)时,可以将该信道无关权重吸收到其他时域加权中。信道无关时域权重的示例包括:(1)载波频率调整,如上所述;(2)线性相位,当在时间上应用该线性相位时,在FFT之后FFT移位暂态的频率域;以及(3)时间增益补偿(TGC)曲线,该TGC曲线在一些情况下对每个接收器和每个激励都相同。

[0093] 可能存在接收器相关的快速时间域权重,该接收器相关快速时间域权重是时间的函数但不是激励的函数。一个示例是在接收器之间足够不同的TGC曲线需要被单独补偿(即使TGC设置/参数对每个接收器都一样也可能还是这样的情况;如果放大器增益的变化大到需要被单独处理,则这是可能的)。

[0094] 可能存在应用激励相关的快速时间域权重的需要。这可能是以下情况:在激励足够不同时,意在使用不同的TGC设置来跨所有激励最佳地量化信号。

[0095] 当方案是使得范围相关的权重与时域权重组合时,如果存在激励相关的超额时间延迟,则时间/范围阵容(lineup)在不同激励之间改变。一种对激励维持相同时间/范围关

系的方法是在孔径的中心 (FFT中心, 不是平均值) 具有相同的延迟。

[0096] 可以在预处理链中应用信道相关的时域权重。也可以具有接收器相关的时域权重集和激励相关的时域权重集, 这引起将这些组合成单个信道相关权重集的存储器存储与具有更复杂索引的两个分开的乘法集之间的权衡。

[0097] 相关的主要真实时间相关加权是时间增益补偿 (TGC)。以下讨论可能被时域权重吸收/合并的特定范围相关权重。应该提供TGC曲线及其校正加权 (通常为曲线的倒数, 也可能带有一些规则化) 作为来自每个特定传感器的窄带信息。

[0098] 快速傅里叶变换块

[0099] 图12示出了图9的FFT块924的示例的示意性框图。图12的FFT块924包括FFT单元1210、数据选择器1220和零填充逻辑 (zero-stuff logic) 1230。在通过时域信号调节块922进行加权之后, FFT块924接收信号样本并且对信号样本执行快速傅里叶变换处理。数据选择器1220根据来自零填充逻辑1230的控制信号来选择信号样本或零值以提供至FFT单元1210。数据选择器1220实际上提供对输入信号样本的零填充。在一些实施方式中, 数据选择器1220可以被配置成用于FFT单元1210中的每一个的单独的数据选择器, 从而对每个信道中的零填充提供单独控制。

[0100] 在一些实施方式中, FFT单元1210可以是1024个点可变流FFT单元。然而, 可以使用其他FFT单元。在图12的示例中, 信号样本是24比特, 包括12比特实值和12比特虚值。FFT单元1210将时域信号转换成频域值, 在图12的示例中该频域值具有16比特。然而, 可以使用任何数量的比特以及实数信号样本和复数信号样本。

[0101] 图9的FFT块924包括零填充、快速傅里叶变换 (FFT), 以及截断成期望的处理带。通过将修整过的时域数据放置在更大的预定尺寸的零填充阵列的FFT中心中来对数据进行零填充。零填充的量/相对于修整过的阵列更大的阵列的尺寸取决于以下讨论的几个因素。

[0102] 一个因素是时域波形的长度以及经由“匹配滤波” (真实匹配滤波器, 与原始信号具有相同的卷积长度) 卷积至数据或从数据中去除的所有其他系统时域脉冲响应。当在前向散射模式和前向散射的伴随模式中使用预处理链时, 该因素是相关的。

[0103] 另一个因素是在处理“逆向”模式以及“逆向”的伴随模式中的数据时的时域失配滤波器的长度。术语“失配滤波器”在此处的意思为不是匹配滤波器的参考信号。特殊用途的失配滤波器产生技术仅仅是由信号频谱的正则去卷积所生成的信号。对失配滤波器的不良选择将不能充分地去除波形, 同时有用的失配滤波器可能具有等于或长于匹配滤波器的有效长度。在一些情况下, 可以使用扩展的长度将不想要的信号移到远处, 使得可以容易地去除这些信号。用于前向处理/伴随处理而被卷积的信号的长度与用于“逆向”处理/“逆向”的伴随处理而被卷积的信号的长度之间可能存在足够大的差异, 因此分开的链可能更高效且更合适。

[0104] 当有意使失配滤波器的长度很长时, 适于在范围中添加一对附加的FFT和填充/截断/权重以去除由失配滤波器推送的不想要的信号以及使得最终预处理的复散射函数的所有模式之间的时间频率网格 (频率数、间隔和开始频率) 相等。

[0105] 虽然针对前向和伴随模式使用这些相同的FFT尺寸和附加的FFT对的单个分支也是可能的, 但是并不强制对“逆向”使用相同的FFT尺寸和附加的FFT对。使用“良好FFT尺寸”使得FFT的速度出现很大差异, 因此通常在考虑到所有其他尺寸信息之后使用下一个更大

的“良好FFT尺寸”。

[0106] FFT的一个效果是所表示的频率的移位。通常认为这种重映射是当数据进入和离开DFT(离散傅里叶变换)/FFT时使用的象限交换/“FFT移位”。具有FFT移位的单独移动存储器可能经常引起延迟惩罚(latency penalty),但是可以“精简”算法以去除FFT移位惩罚。可以在将非零数据插入到零填充阵列中时或者当从发生处理的1-D缓冲器中提取数据时执行FFT移位。

[0107] 间接执行FFT移位的另一种方式是通过乘以线性相位斜坡(linear phase ramp)(与FFT的输入相乘的线性相位斜坡可以导致输出的FFT移位,与FFT的输出相乘的线性相位斜坡可以导致与对输入应用FFT移位相同的效果)。执行FFT移位的线性相位斜坡很简单(当长度可被4整除时在两边 ± 1 ,当长度仅可被2整除时在不同的侧 ± 1 或 ∓ 1 。当认为没有多少真正的“良好FFT尺寸”时,即没有多少能够恰好被4整除的可观长度时,则这些线性相位斜坡在FFT两侧对所有快速时间或暂态频率样本仅 ± 1 。

[0108] 通过对这些线性相位斜坡与时域乘法和频域乘法进行组合,在对组合权重进行初始计算之后,进出FFT的FFT移位在没有额外计算负担的情况下执行。

[0109] 在FFT之后,将频谱修整成在处理带中被选出对图像有贡献的部分。这可以根据图像质量要求来选择。

[0110] 频域信号调节

[0111] 图13示出了图9的频域信号调节块926的示例的示意性框图。频域信号调节块926接收与信号样本对应的频域值并且在频域中执行信号调节。具体地,频域信号调节块926对频域值执行加权以补偿一个或更多个效应并且提供加权的频域值。

[0112] 参考图13,频域信号调节块926包括数控振荡器(NCO1-NC04) 1310、RAM 1320、复数乘法器1330、1332和1334以及RAM 1340。RAM 1320将初始相位信息提供至NCO 1310。NCO 1310的输出被分别提供给复数乘法器1330中的每一个的一个输入端,并且从RAM 1320将变迹值(apodization value)提供给复数乘法器1330的第二输入端。复数乘法器1330的输出被分别提供至复数乘法器1332中的每一个的一个输入端。RAM 1340将加权值或系数提供至复数乘法器1332的第二输入端。复数乘法器1332的输出被分别提供至复数乘法器1334中的每一个的一个输入端,并且来自FFT块924的输入被提供至复数乘法器1334中的每一个的第二输入端。复数乘法器1334的输出是根据包含在RAM 1340中的一个或更多个加权函数进行调节的加权的频域值。

[0113] 可以调整RAM 1320的大小以适于与信道无关或信道相关的乘法。此外,实现可以取决于接收换能器位置,例如阵列行信道相关和列信道无关,反之亦然。这里,NCO生成用于乘法的单个频率,该频率具有给相关联的时域信号(逆FFT之后的信号)赋予延迟的效果。第一乘法是用于赋予延迟和变迹的方法。

[0114] 频域预处理和加权占数据处理的大部分,并且对图像质量具有最大的影响。这里,组合并考虑了所有单个片段的传递函数,并且可以执行运动补偿/相位调整。

[0115] 如果期望在快速时间FFT之前对输入进行FFT移位(在暂态频域加权之前的预处理块),则可以通过在FFT之后沿着暂态频率做乘法来实现。可以将用于实现FFT移位的线性相位斜坡吸收到任何预先计算的暂态频率加权中,从而在预处理期间没有额外的计算成本。

[0116] 存在多种选项和组合用于组合与信道无关的加权以及接收器/激励/信道相关的

加权。这里讨论的是基本形式,并且具体选择留给具体情况。

[0117] 信道无关的频域加权可能对多种效应可取:(1)暂态频率线性孔径加权,其被选择以加强图像的特定旁瓣结构,而不是仅使用那些由系统通过非平坦波形生成器/传递函数组合所生成的东西;(2)对所有信道施加的恒定“主波形”;以及(3)共同的换能器传递函数。

[0118] 在大多数情况下,存在需要在预处理内应用的至少一个接收器/激励/信道相关的频域加权,并且可以吸收信道无关的频域加权。一个可能的例外是接收器/激励/信道相关的频域加权是仅相位的,其中相位由低阶多项式描述(例如具有线性相位的运动补偿或具有二次相位函数的其他相位调整)。在这种情况下,可以即时有效地计算仅相位函数,并且将信道无关权重作为单独的乘法步骤进行应用。这将导致更多的整体乘法,但是节省了大量将用于存储预先计算的权重(特别是用于完全信道相关的权重)的存储器。

[0119] 接收器相关的频域加权可能是有用的。如果每个组合的发射器/换能器/接收器的传递函数足够不同以分别对其进行计算,那么就属于这种情况。

[0120] 激励相关的频域加权可以应用于接收器无关的数据。一个相关示例是用于平面波激励,在平面波激励中通常相对于中间接收器处的相位基准存在作为平面波角的函数的偏移延迟。虽然这可以被吸收到时域内插或完全信道相关的频域加权中,但是用于完整权重集的存储器存储量可以使激励相关的加权具有吸引力。

[0121] 还可以使用信道相关的频域加权。最常见的加权是对数据的每个信道都可能不同的加权,其中信道是独有的接收器/激励组合。任何信道无关的加权都可以被吸收到信道相关、接收器相关或激励相关的加权中。

[0122] 当使用接收器相关的加权和激励相关的加权时,可能在将两个加权吸收到单个信道相关的加权所需的附加存储与使用具有两个单独乘法的较少存储之间存在权衡。

[0123] 可能需要提供与频率无关、与时间/范围无关但信道相关的加权。这种加权的最常见的类型是在接收器之间互不相同的标量增益,但是对激励是恒定的。这些权重可能具有最少数量的系数(因为快速时间A/D样本决定了接收器的数量),但是如果每个复数乘法的花费很大,则可以以最合适的任何方式(以快速时间或沿频率,取决于哪一个具有对应加权集,该对应加权集具有相同的接收器/激励/信道相关)将这些类型的权重吸收到其他信道相关权重中。如果在预处理中的任何地方都没有接收器/激励/信道相关的校正,则可以在具有单独的乘法级与完全信道相关的权重的存储之间进行权衡,其中这些快速时间/频率无关的权重可以被吸收。

[0124] 真实范围处理可以与其他加权分开执行。可能存在以下情况,特别是具有长波形的情况,可取的是,在波形应用/移除之前和之后应用权重以更好地模拟快速时间和范围域物理过程。根据具体情况及约束来选择是分离这些还是将它们归入快速时间权重。

[0125] 局部声能量可能在通过组织传播时显著地减少。可取地,用估计的范围相关的曲线来对原始数据进行去加权以平衡图像。对近似范围衰减进行补偿可能有用。特别地,许多2-D成像公式假定无限线光源和无限线换能器元件,而这导致柱形波衰减。这些公式中的许多实际上对原始数据施加正确的柱状波行为(当在前向感测上使用时,并且当在“逆向”感测上使用时被精确地移除)。但是由于实际的换能器行为更像点源并且体积由点散射体构成,因此球状波更适合于描述基本传播损耗。

[0126] 通常预先不知道通过组织的信号衰减特性。然而,将衰减近似为具有估计参数的

均匀过程可以帮助根据下行范围 (downrange) 来平衡图像亮度。即使假定均匀衰减参数,应根据频率通过多项式或其他基本展开、多速率或者通过其他手段来施加/去除衰减。如果这在计算上太繁重,则可以使用单个频率处的参数来近似。

[0127] 高程信道求和

[0128] 图14示出了图9的求和高程信道块930的示例的示意性框图。求和高程信道块930在频域中执行对高程信道数据进行求和。在其他实施方式中,可以由图像形成处理器来执行高程信道数据的求和。

[0129] 参照图14,求和高程信道块930包括寄存器1410、数据选择器1412、求和单元1420、1422、1424和1426、数据选择器1430和1432、RAM 1440和1442,数据选择器1450和1452以及OR电路1460。加权的频域值经由寄存器1410和数据选择器1412被提供至求和单元1420和1422,其中加权的频域值表示不同的高程信道。求和单元1420和求和单元1422的输出被分别提供至求和单元1424和求和单元1426中的每一个的一个输入端。RAM 1440和RAM 1442经由数据选择器1430和数据选择器1432将附加信道的频域值分别提供至求和单元1424和求和单元1426的第二输入端。求和单元1424和求和单元1426的输出通过数据选择器1450和数据选择器1452被分别路由到RAM 1440和RAM 1442,或者路由到OR电路1460用于求和高程信道块的输出。求和高程信道块930提供可配置的信道求和。

[0130] 在一些情况下,在频域加权之后,可能有必要沿着暂态频率对数据进行滤波和重采样。这可以通过低通滤波/下采样/重采样,或者通过成对的FFT并在中间进行另一个加权来完成。可以在考虑各种处理选项时,记住这种通用形式。

[0131] 范围压缩域中的数据可以是预处理器的输出/图像形成的输入所需的,例如背投影。不管域选择如何,可以沿着处理链建立标准化数据端口,无论该端口是否是明确地沿着给定预处理器/IFP处理链的中间点 (waypoint)。为了到达范围压缩数据端口,在频域加权之后执行另一FFT (IFFT,如果沿快速时间进行FFT)。图9的IFFT 932可以用于将求和高程信道块930输出的频域数据,或者如果不使用求和高程信道块930则将频域信号调节块926的输出的频域数据转换到时域用于图像形成处理。这可以具有一定的零填充,以便对用于重构的上采样范围压缩数据进行操作。

[0132] 如上所述,预处理器的输出是图像形成处理器 (IFP) 要摄入的数据。优选地,图像形成处理器的该输入应当是暂态频率或接收器信道域中的复散射函数的形式,但这不是唯一的选项。在范围压缩域中具有图像形成处理器的输入的分支对于例如背投影的重建是有用的。

[0133] 信道配置

[0134] 图15中示出了信号处理架构的信道配置的示例的示意性框图。在图15的示例中,将包括信道0、信道1、...信道M的多个输入信道1510组合成单个输出信道1520。由输入信道1510输出的信号样本被写入信道存储器1530。特别地,信道0输出的信号样本被写入信道0存储器,信道1输出的信号样本被写入信道1存储器,...信道M输出的信号样本被写入信道M存储器。当输出信道1520需要进行处理时,从信道存储器1530读取信号样本值。

[0135] 在图15的示例中,每个输入信道1510可以包括提取范围条带块910、正交解调块912、LPF 914和下采样块916。输出信道1520可以包括时域信号调节块922、FFT块924、频域信号调节块926、求和高程信道块930和IFFT块932,并且每个信道存储器1530对应于存储器

920。然而,在每个输入信道1510中可以包括更多或更少的信号处理功能,并且类似地,输出信道1520可以包括更多或更少的信号处理功能。

[0136] 数字信号处理方法

[0137] 图16示出了说明由图9的信号处理电路执行的方法的示例的流程图。在阶段1610中,信号处理电路从ADC 212接收信号样本。在阶段1612中,可以丢弃对图像没有贡献的信号样本。还可以丢弃非线性信号样本。在阶段1614中,由正交解调块912执行正交解调,并且在阶段1616中由LPF 914执行滤波。在阶段1618中由下采样块916执行滤波信号的下采样。然后在阶段1620中将部分处理的信号样本存储在存储器920中。

[0138] 在阶段1630中,从存储器920读取数据值,并且通过时域信号调节块922执行时域信号调节。如上所述,时域信号调节可以包括对时域信号应用一个或更多个加权函数。在阶段1632中,对信号样本应用快速傅里叶变换,并且在阶段1634中执行频域信号调节。如上所述,频域信号调节涉及对频域数据应用一个或更多个频域加权函数。在阶段1636中,由求和高程信道块930对高程信道进行求和,从而减少提供用于图像形成处理的数据量。在阶段1638中,如果图像形成处理需要时域信号,则可以对调节的信号样本应用快速傅里叶逆变换。在阶段1640,将调节的信号样本用于图像形成处理。

[0139] 在图16的处理中,可以省略可选的功能。例如,如果在图像形成处理期间执行了求和,则可以省略在阶段1636中对高程信道的求和。在另一示例中,当阶段1640的图像形成处理是对频域数据进行操作时,可以省略阶段1638的快速傅里叶逆变换。此外,在一些应用中可以省略数据缩减操作,例如阶段1614的正交解调、阶段1616的滤波和阶段1618的下采样。此外,图16的信号处理方法还可以包括附加的步骤。

[0140] 因此,已经描述了本公开内容中阐述的技术的若干方面和实施方式,应当理解,本领域技术人员将容易想到各种改变、修改和改进。这样的改变、修改和改进旨在在本文所描述的技术的精神和范围内。例如,本领域普通技术人员将容易地想到,用于执行功能和/或获得结果和/或本文所述的一个或更多个优点的各种其他装置和/或结构,并且每个这样的变型和/或修改被认为在本文所述的实施方式的范围内。本领域技术人员将认识到或能够使用仅仅常规实验来确定本文所述的具体实施方式的许多等同物。因此,应当理解,前述实施方式仅以示例的方式给出,并且在所附权利要求及其等同物的范围内,发明的实施方式可以以不同于具体描述的方式来实践。此外,如果本文所述的特征、系统、制品、材料、元件和/或方法不相互矛盾,则这样的两个或更多个特征、系统、制品、材料、元件和/或方法的任意组合被包括在本公开内容的范围内。

[0141] 上述实施方式可以以许多方式中的任一种来实现。涉及过程或方法的性能的本公开内容的一个或更多个方面和实施方式可以利用可由装置(例如,计算机、处理器或其他装置)执行的程序指令来执行或控制过程或方法的性能。在这方面,各种发明构思可以体现为编码有一个或更多个程序的计算机可读存储介质(或多个计算机可读存储介质)(例如,计算机存储器、一个或更多个软盘、压缩光盘、光盘、磁带、闪存、现场可编程门阵列或其他半导体装置中的电路配置或者其他有形计算机存储介质),所述一个或更多个程序在一个或更多个计算机或其他处理器上执行时执行实现上述各种实施方式中的一个或更多个实施方式的方法。计算机可读介质可以是便携式的,使得存储在其上的程序可以被加载至一个或更多个不同计算机或其他处理器上,以实现上述方面中的各种方面。在一些实施方式中,

计算机可读介质可以是非暂态介质。

[0142] 术语“程序”或“软件”在本文中在一般意义上用于指代任何类型的计算机代码或计算机可执行指令集,其可以用于对计算机或其他处理器进行编程以实现如上所述的各种方面。另外,应当理解,根据一个方面,在被执行时执行本公开内容的方法的一个或多个计算机程序不需要驻留在单个计算机或处理器上,而是可以以模块化方式分布在多个不同的计算机或处理器之间以实现本公开内容的各个方面。

[0143] 计算机可执行指令可以以许多形式如程序模块由一个或多个计算机或其他装置执行。通常,程序模块包括执行特定任务或实现特定抽象数据类型的例程、程序、对象、部件、数据结构等。通常,在各种实施方式中,可以根据需要组合或分配程序模块的功能。

[0144] 此外,数据结构可以以任何合适的形式存储在计算机可读介质中。为了简化说明,数据结构可以被示为具有通过数据结构中的位置关联的字段。可以同样地通过为在计算机可读介质中具有以下位置的字段分配存储而实现这样的关系:该位置传达字段之间的关系。然而,可以使用任何合适的机制(包括通过使用指针、标签或在数据元素之间建立关系的其他机制)来建立数据结构的字段中的信息之间的关系。

[0145] 当在软件中实现时,软件代码可以在无论是设置在单个计算机中还是分布在多个计算机中的任何合适的处理器或处理器集合上执行。在一些实施方式中,本文所描述的处理器可以是虚拟处理器。

[0146] 此外,应当理解,作为非限制性示例,可以以如机架安装式计算机、台式计算机、膝上型计算机或平板计算机的多种形式中的任一种来体现计算机。另外,计算机可以嵌入在如下通常不被认为是计算机但具有适当处理能力的装置中:包括个人数字助理(PDA)、智能电话或任何其他合适的便携式或固定电子装置。

[0147] 此外,计算机可以具有一个或多个输入和输出装置。这些装置可以用于呈现用户接口等。可以用于提供用户接口的输出装置的示例包括用于输出的视觉呈现的打印机或显示屏幕以及用于输出的听觉呈现的扬声器或其他声音生成装置。可以用于用户接口的输入装置的示例包括键盘以及指点装置,如鼠标、触摸板和数字化平板。作为另一示例,计算机可以通过语音识别或以其他可听格式来接收输入信息。

[0148] 这样的计算机可以由如下任何合适形式的一个或多个网络互连:包括局域网或广域网如企业网络以及智能网(IN)或因特网。这样的网络可以基于任何合适的技术,并且可以根据任何合适的协议进行操作,并且可以包括无线网络、有线网络或光纤网络。

[0149] 此外,如所描述的,一些方面可以被体现为一个或多个方法。作为方法的一部分而执行的动作可以以任何合适的方式排序。因此,可以构造以以下不同于所示的顺序执行动作的实施方式,其可以包括同时执行即使在说明性实施方式中示出为顺序动作的一些动作。

[0150] 如本文定义和使用的所有定义应当理解为控制字典定义、通过引用并入的文献中的定义和/或所定义术语的普通含义。

[0151] 除非清楚地相反指示,否则如本文在说明书和权利要求书中使用的不定冠词“一”和“一个”应当理解为是指“至少一个”。

[0152] 如本文在说明书和权利要求书中使用的短语“和/或”应当被理解为是指这样连接的元素(即,在一些情况下结合地存在并且在其他情况下分离地存在的元素)中的“任一个

或两个”。用“和/或”列出的多个元素应当以相同的方式解释,即,如此结合的元素中的“一个或更多个”。除由“和/或”子句具体标识的元素之外,可以可选地存在其他元素,无论与具体标识的那些元素相关还是不相关。因此,作为非限制性示例,当结合开放式语言如“包括”使用时,对“A和/或B”的引用在一个实施方式中可以指仅A(可选地包括除B之外的元素),在另一个实施方式中指仅B(可选地包括除A之外的元素),在又一个实施方式中指A和B两者(可选地包括其他元素)等。

[0153] 如本文在说明书和权利要求中使用的,在参考一个或更多个元素的列表中的短语“至少一个”应当理解是指从元素列表中的任何一个或更多个元素所选择的至少一个元素,但不一定包括元素列表内具体列出的每个元素中的至少一个,并且不排除元素列表中的元素的任何组合。该定义还允许元素可以可选地存在,而不是短语“至少一个”所指的元素列表中具体标识的元素,无论与具体标识的那些元素相关还是不相关。因此,作为非限制性示例,“A和B的至少一个”(或等同地,“A或B中的至少一个”,或等同地“A和/或B中的至少一个”)可以在一个实施方式中指至少一个、可选地包括多于一个、A、不存在B(并且可选地包括除B之外的元素);在另一个实施方式中指至少一个、可选地包括多于一个、B、不存在A(并且可选地包括除A之外的元素);在又一个实施方式中指至少一个、可选地包括多于一个、A以及至少一个、可选地包括多于一个、B(并且可选地包括其他元素)等。

[0154] 此外,本文使用的措辞和术语是出于描述的目的,并且不应当被认为是限制性的。本文中使用的“包括”、“包含”或“具有”、“含有”、“涉及”及其变体意味着包括其后列出的项目及其等同物以及另外的项目。

[0155] 在权利要求中以及在上述说明书中,所有过渡性短语如“包含”、“包括”、“携带”、“具有”、“含有”、“涉及”、“持有”、“由……构成”等应当理解为开放式的,即,意味着包括但不限于。只有过渡性短语“由...组成”和“基本上由……组成”分别是封闭或半封闭的过渡性短语。

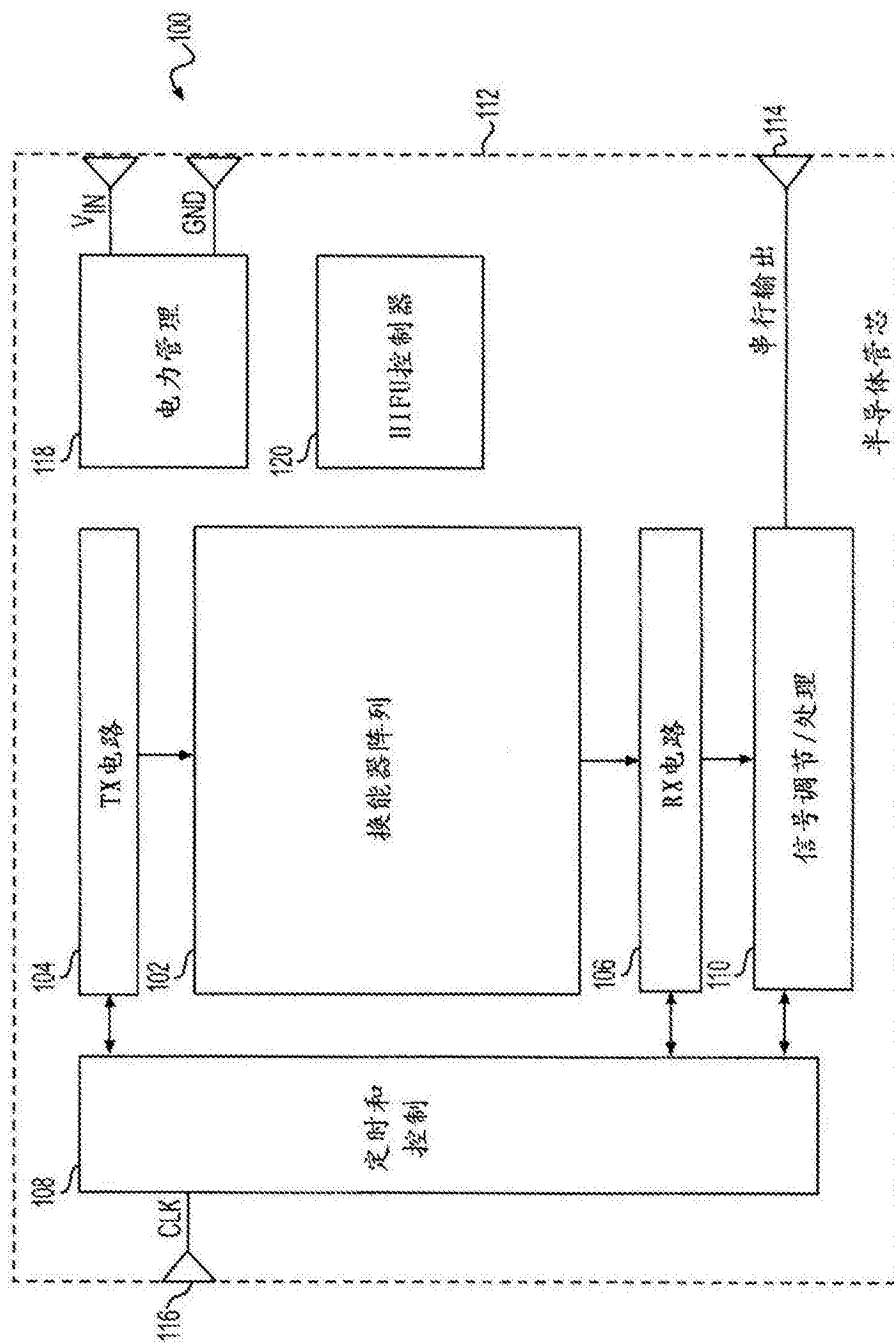


图1

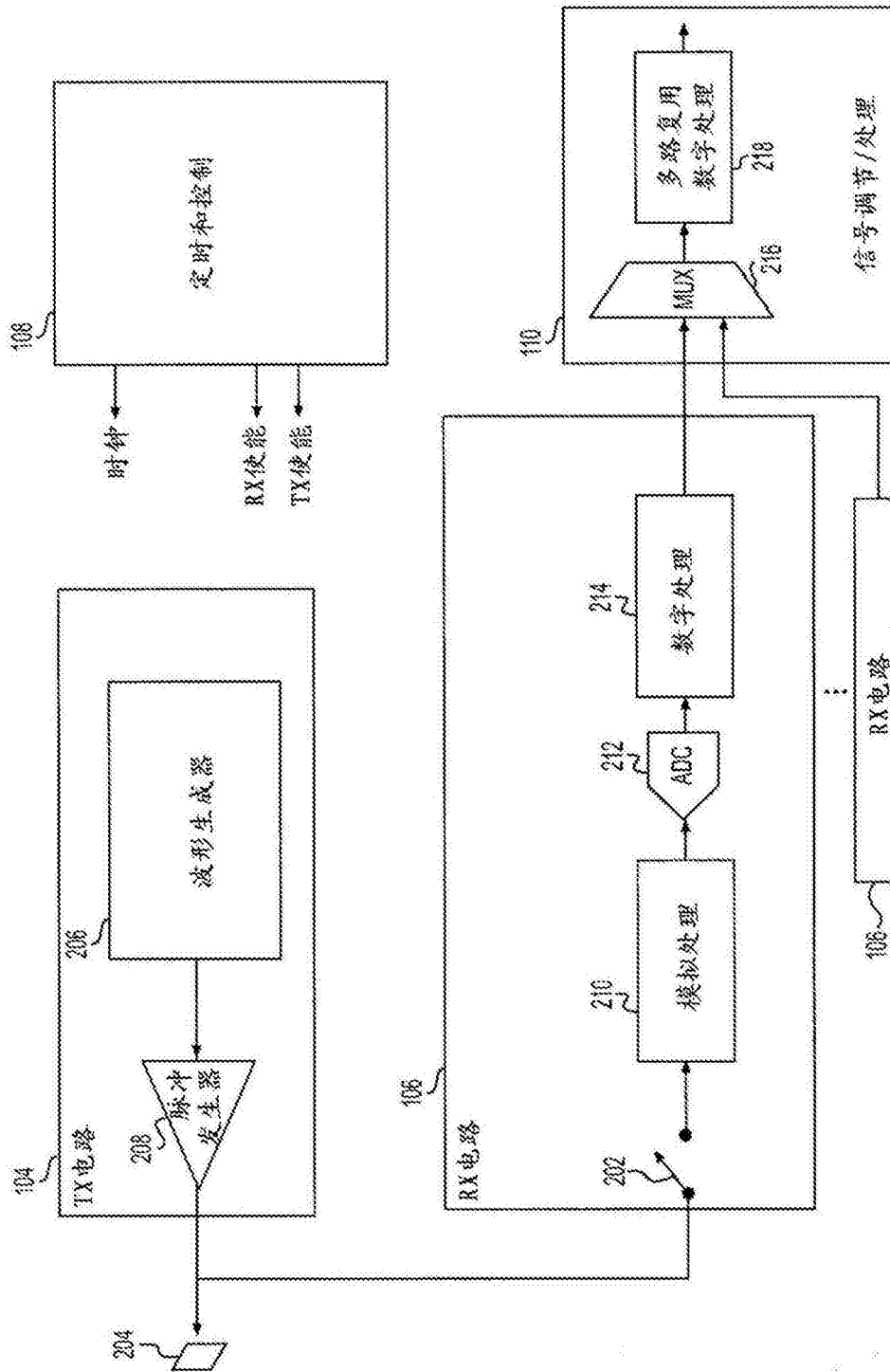


图2

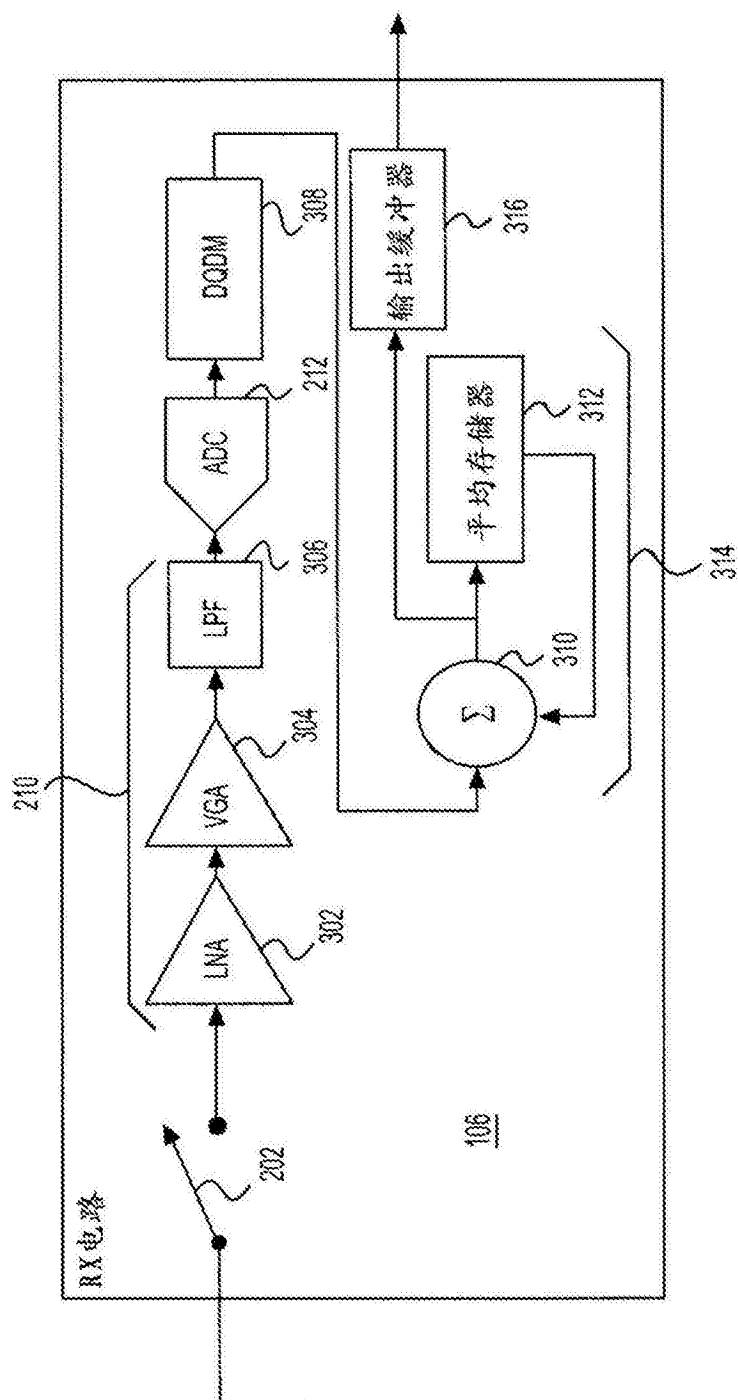


图3

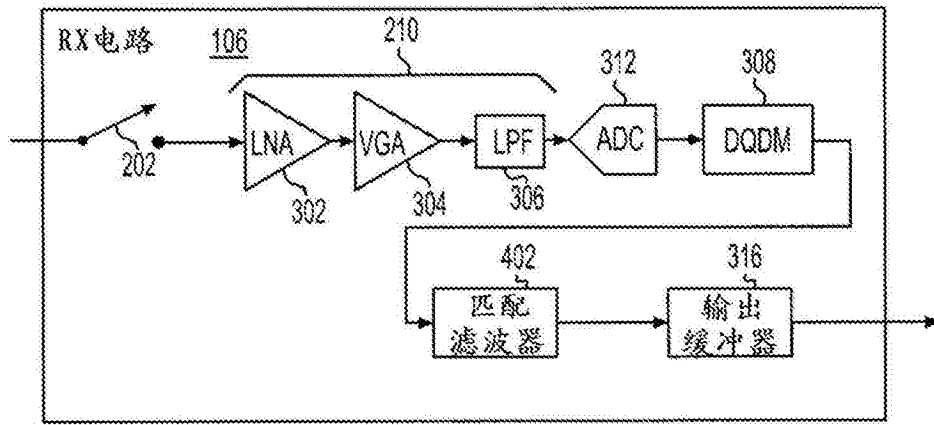


图4

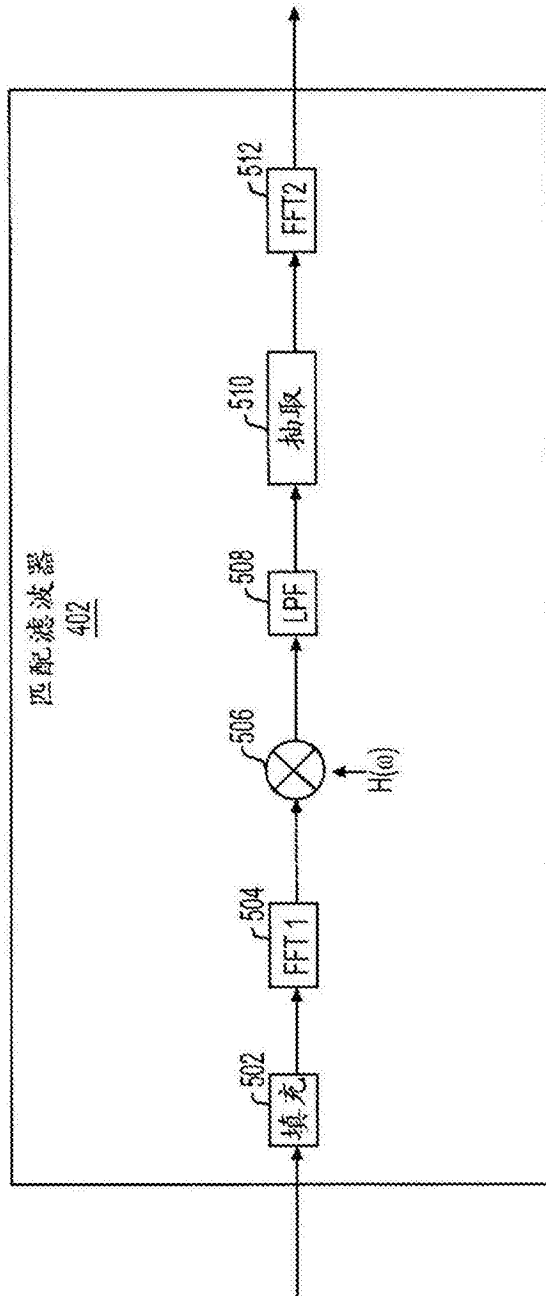


图5

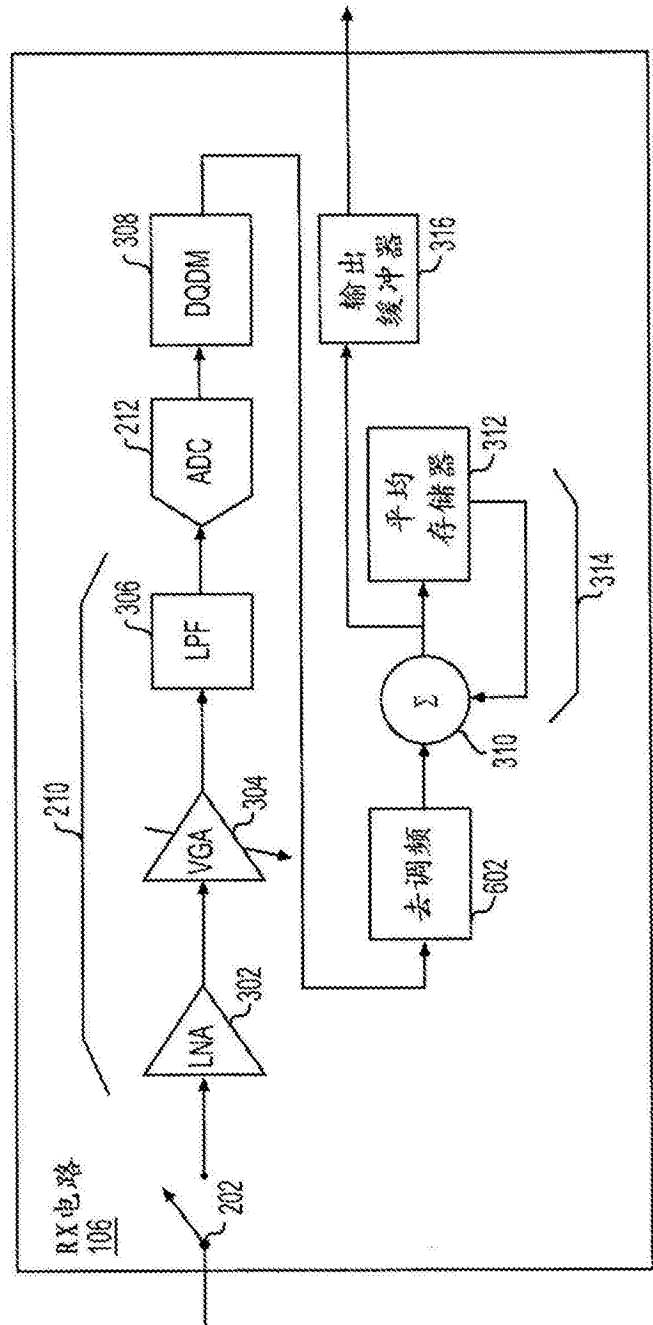


图6

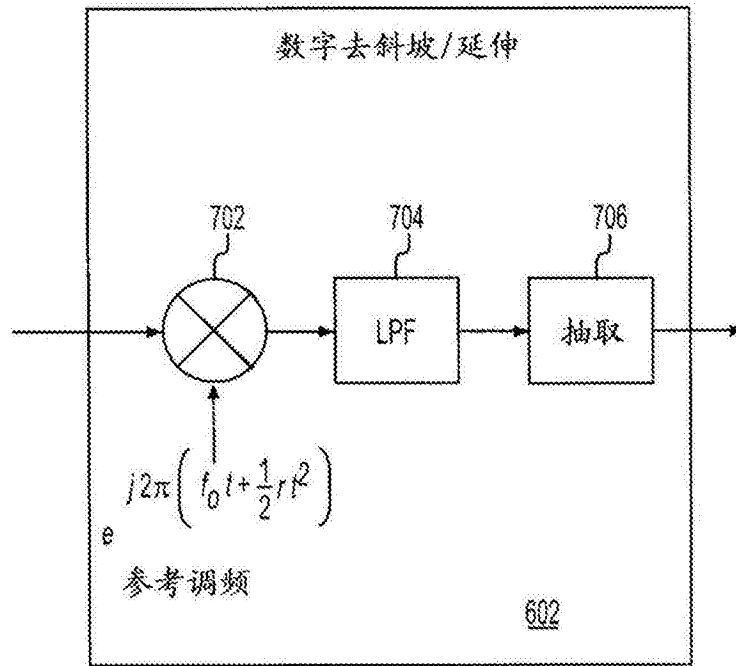


图7

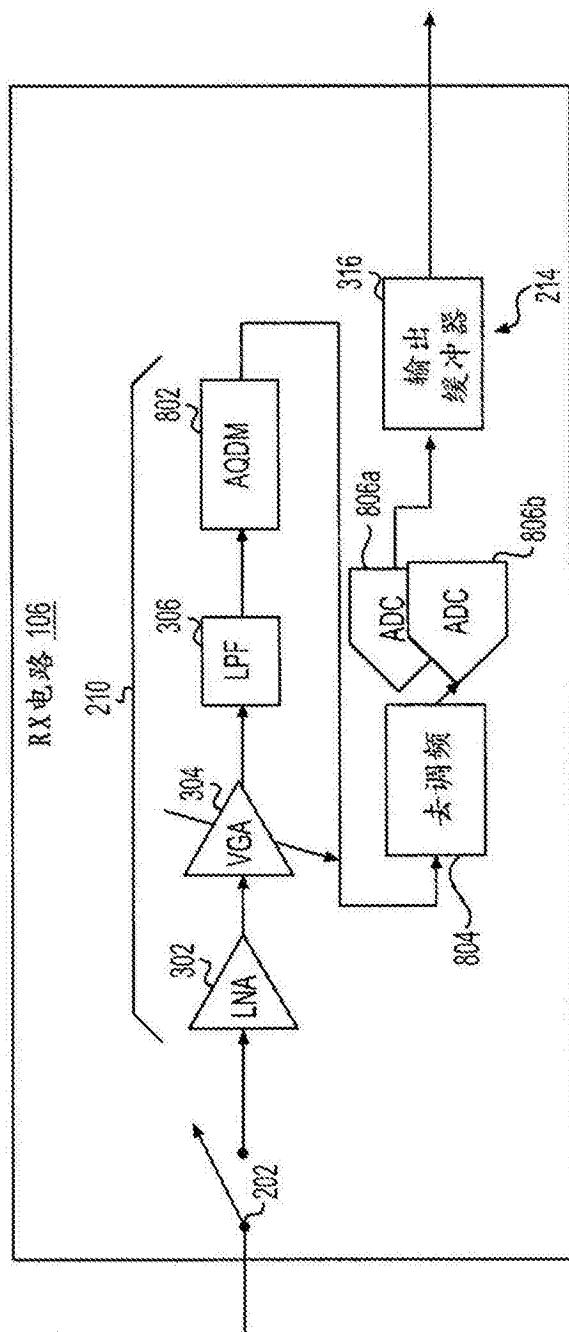


图8

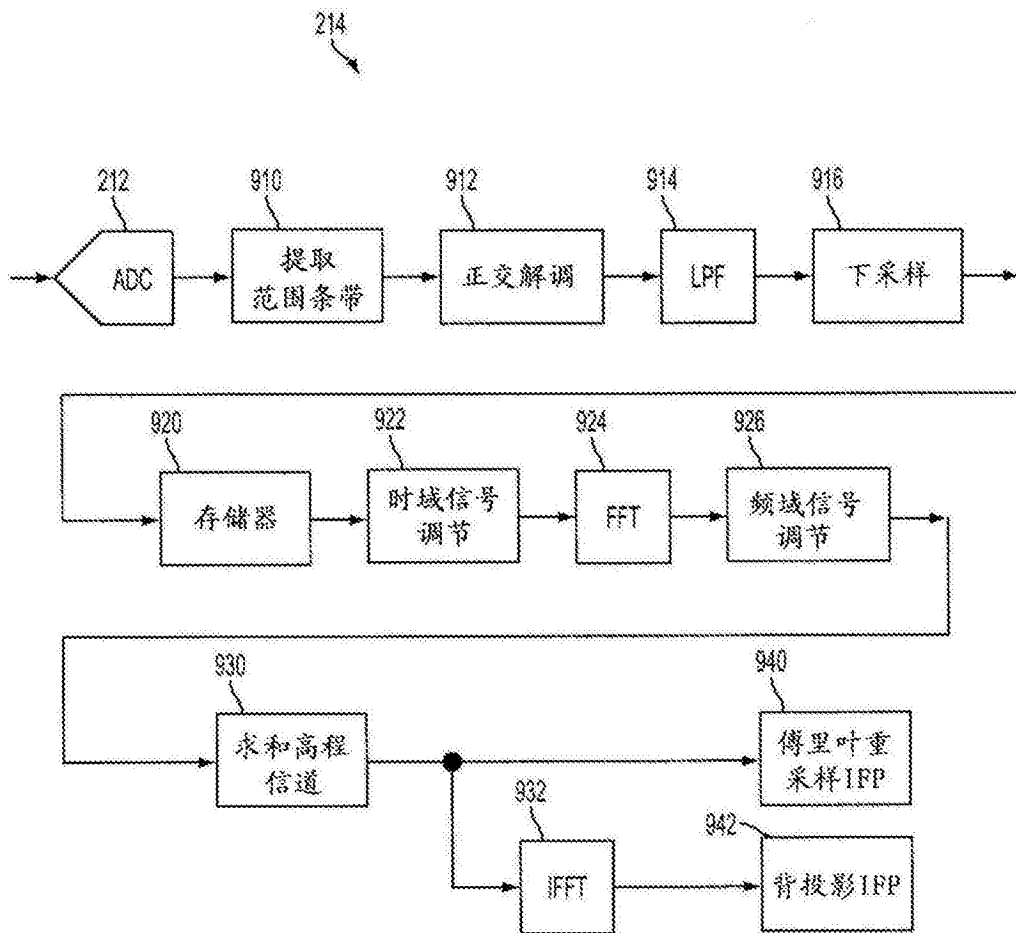


图9

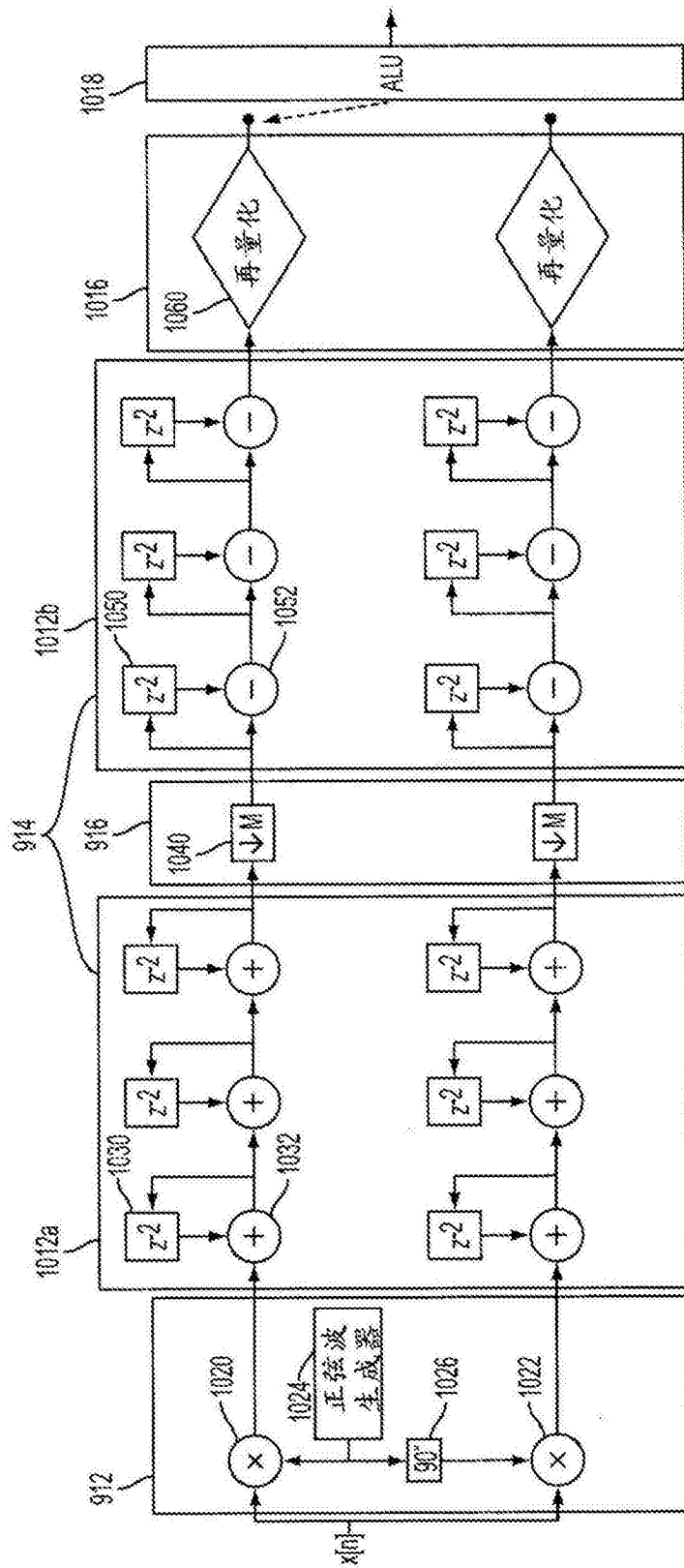


图10

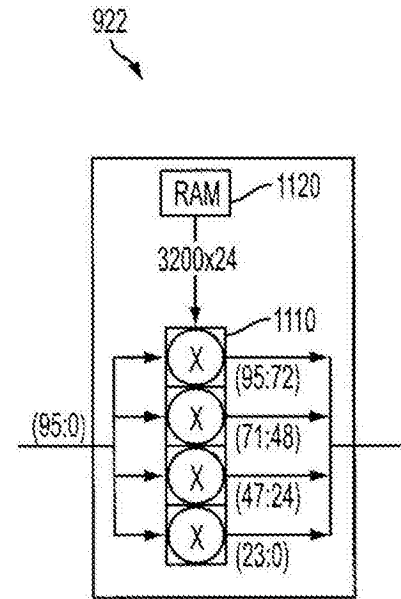


图11

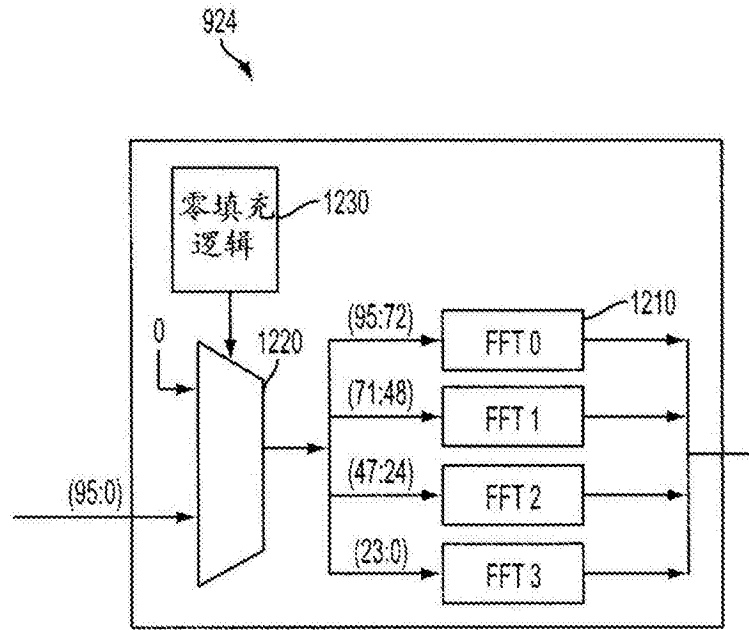


图12

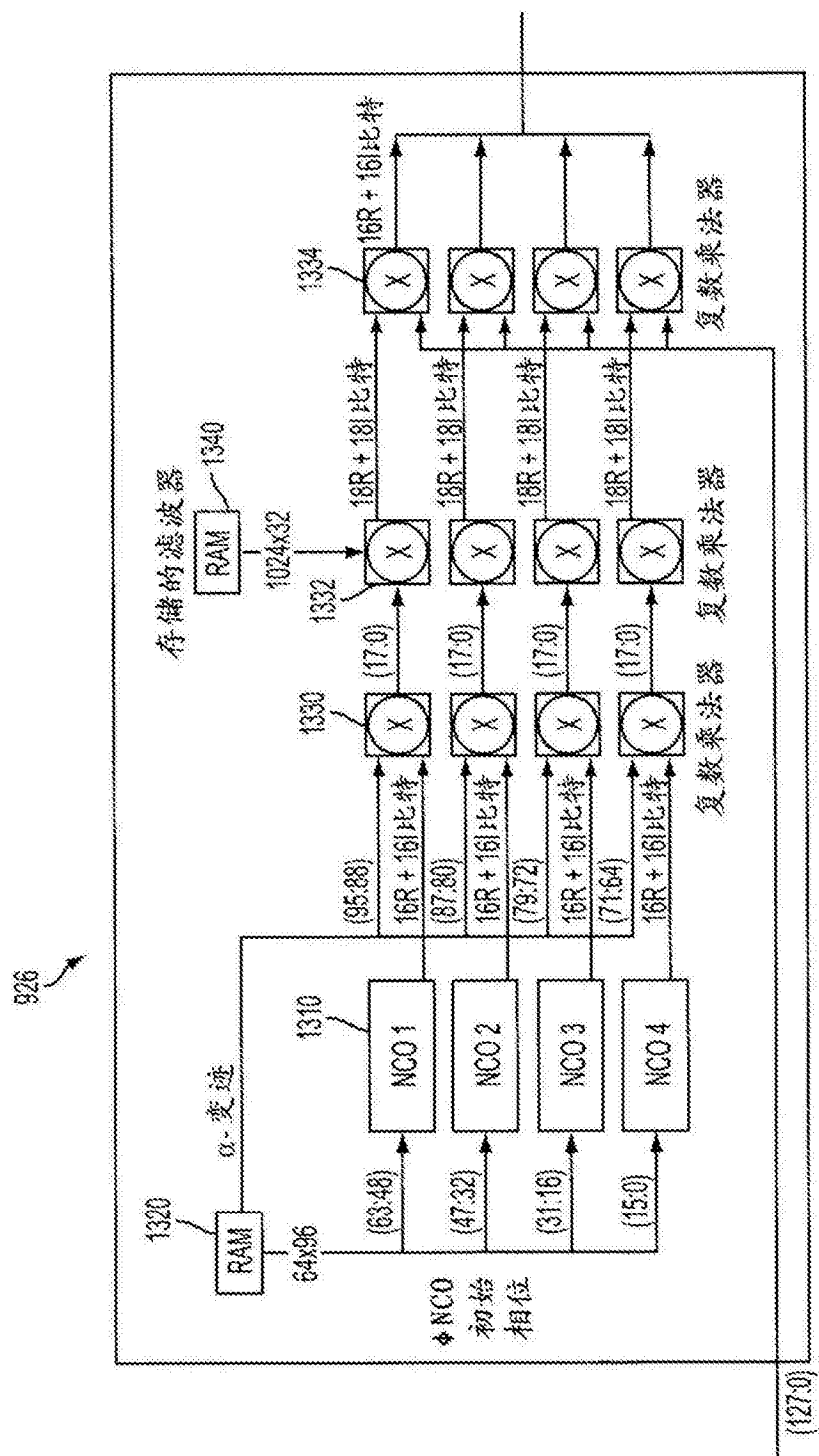


图13

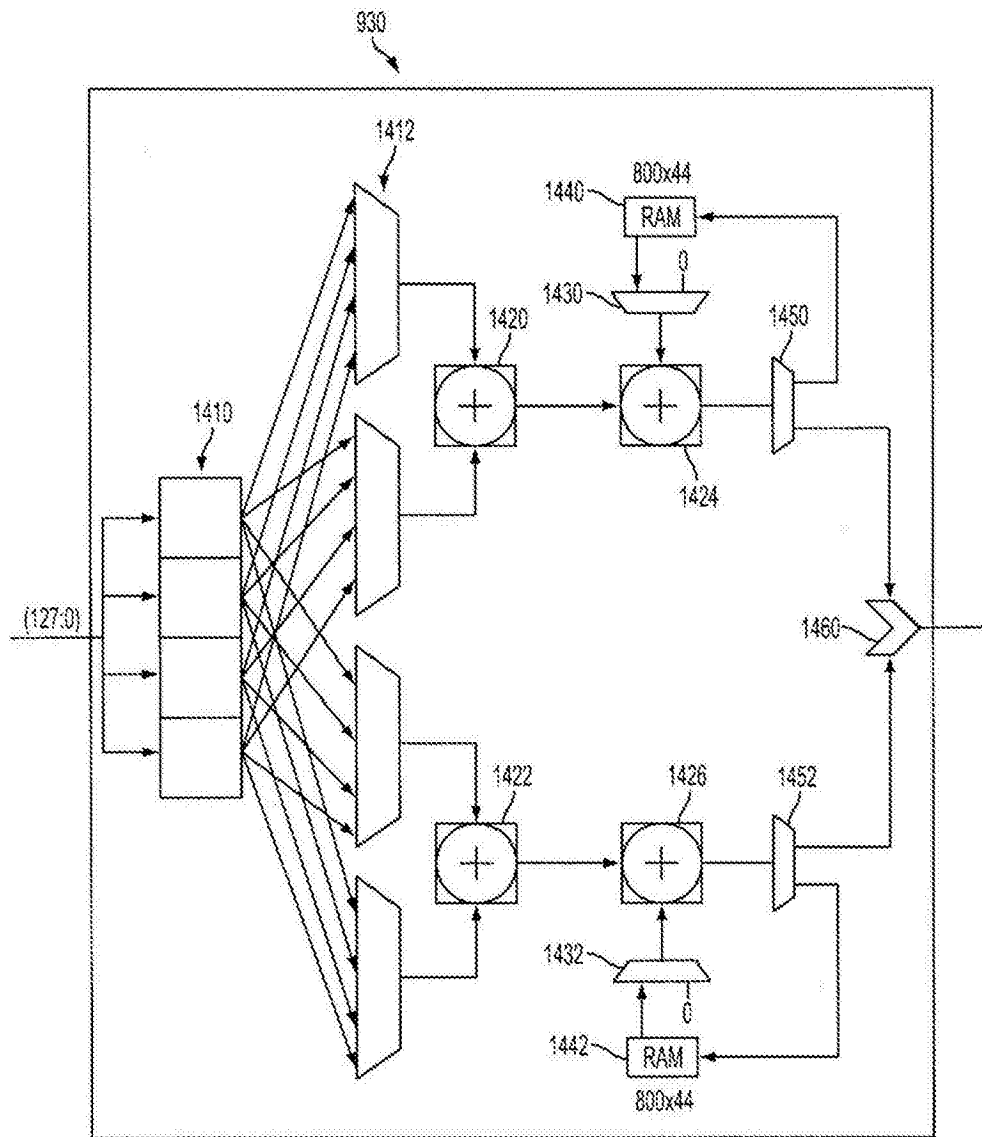


图14

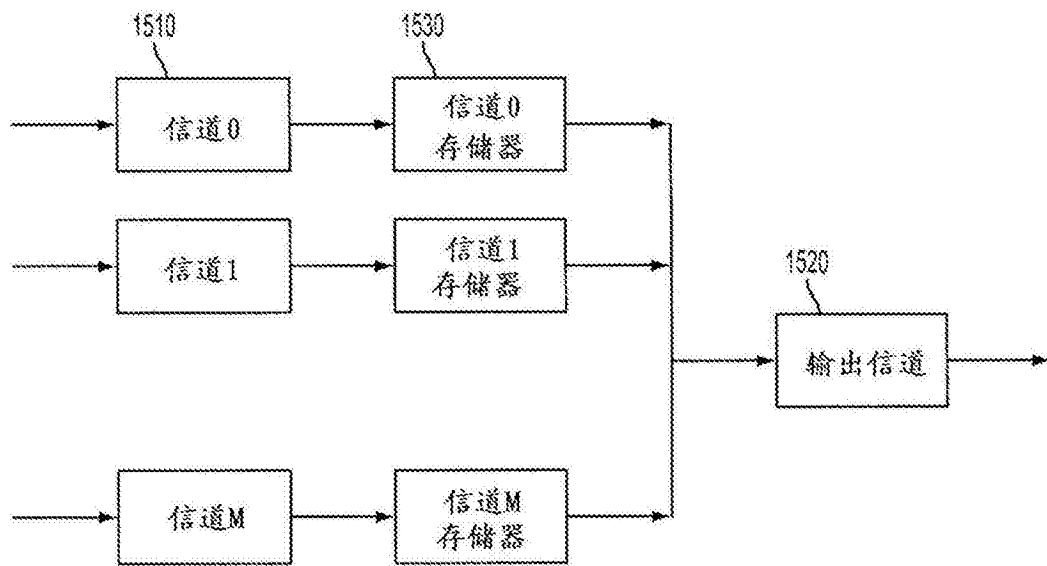


图15

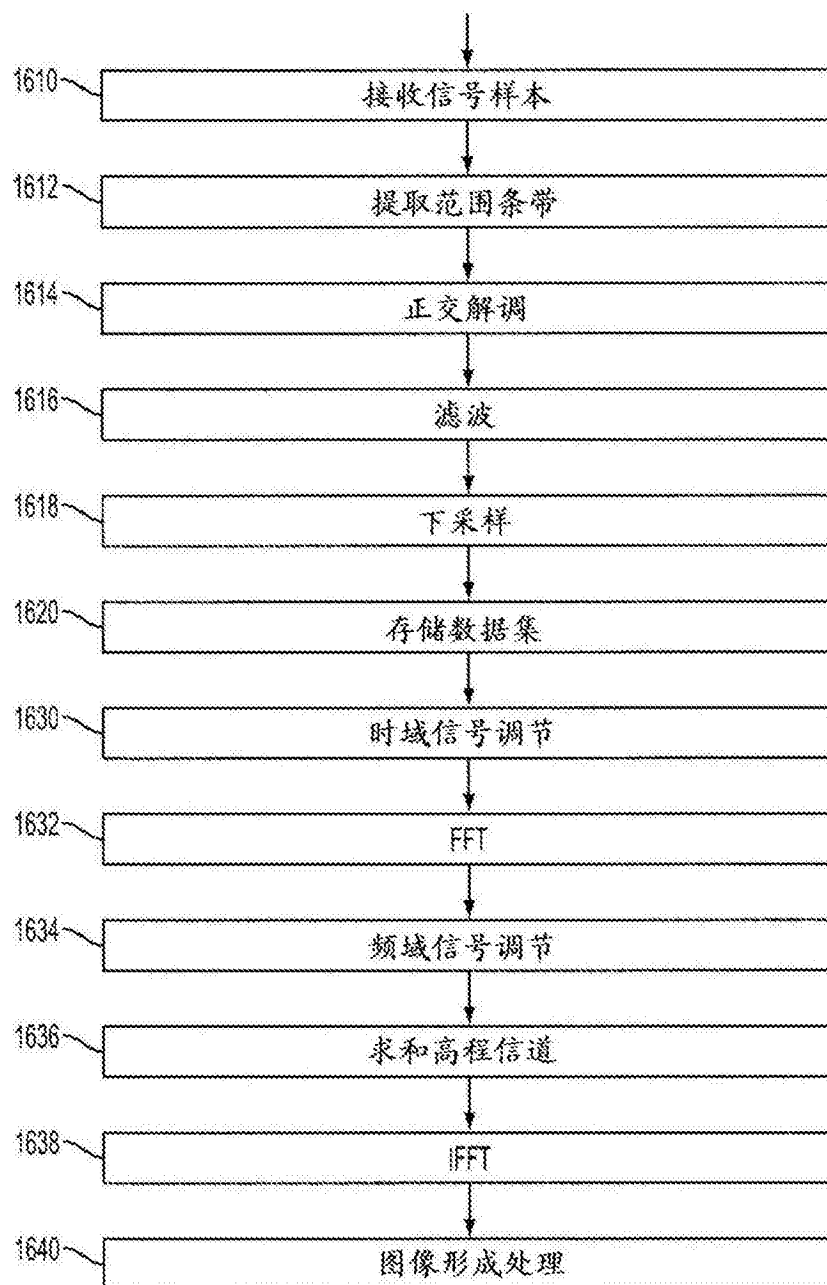


图16