



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104380610 B

(45)授权公告日 2016.08.17

(21)申请号 201380023270.8

(22)申请日 2013.06.06

(30)优先权数据

61/657,650 2012.06.08 US

13/892,210 2013.05.10 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2014.11.03

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2013/044541 2013.06.06

(87)PCT国际申请的公布数据

W02013/184933 EN 2013.12.12

(73)专利权人 迪尔公司

地址 美国伊利诺伊州

(72)发明人 理查德·G·基根 杰瑞·E·奈特

(74)专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司 11021

代理人 汪洋

(51)Int.Cl.

H04B 1/12(2006.01)

(56)对比文件

US 2010/0067363 A1,2010.03.18,全文.

WO 2010/097349 A2,2010.09.02,全文.

审查员 莫春红

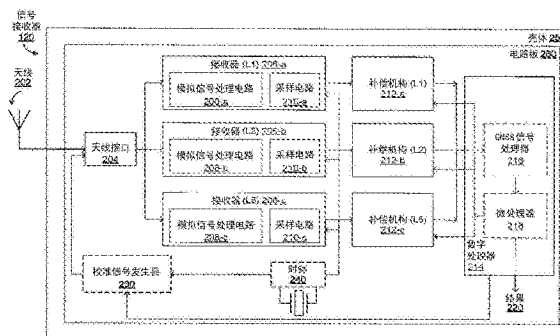
权利要求书4页 说明书16页 附图13页

(54)发明名称

具有群延迟和振幅失真补偿的信号接收器

(57)摘要

一种信号接收器(120),包括:用于从天线(202)接收信号的天线接口(204);模拟信号处理电路(208-a,208-b,208-c),其被耦合到天线接口(204),用于处理接收到的信号以产生经滤波的信号;采样电路(210-a,210-b,210-c),用于对经滤波的信号进行采样以产生数字化的接收信号;数字补偿器(212-a,212-b,212-c),其用于接收数字化的接收信号并补偿由模拟信号处理电路(208-a,208-b,208-c)引入的不一致的群延迟和振幅失真以产生经补偿的数字化的接收信号;和数字处理器(214),其用于处理经补偿的数字化的接收信号以产生一结果(220)。



1. 一种信号接收器,包括:

天线接口,所述天线接口用于从天线接收信号;

校准信号发生器,所述校准信号发生器耦合到天线接口以在天线接口处注入校准信号,所述校准信号包括在预定频率范围内具有多个正交频率分量的多频音信号;

模拟信号处理电路,所述模拟信号处理电路耦合到天线接口,用于处理接收到的信号以产生经滤波的信号;

采样电路,所述采样电路用于对经滤波的信号进行采样以产生数字化的接收信号;

数字补偿器,所述数字补偿器用于接收数字化的接收信号并补偿由模拟信号处理电路引入的不一致的群延迟和振幅失真以产生经补偿的数字化的接收信号,其中,所述数字补偿器根据响应于天线接口处的校准信号的注入而由数字补偿器接收到的信号的傅里叶变换产生的相位和振幅值进行配置,所述傅里叶变换产生与所述校准信号的所述正交频率分量相对应的多个频率的所述相位和振幅值;和

数字处理器,所述数字处理器用于处理经补偿的数字化的接收信号以产生结果。

2. 根据权利要求1所述的信号接收器,其中数字补偿器被配置成通过使用具有复合滤波器系数的有限脉冲响应滤波器(FIR滤波器)处理数字化的接收信号以补偿由至少模拟信号处理电路引入的不一致的群延迟和振幅失真。

3. 根据权利要求2所述的信号接收器,其中,FIR滤波器的复合滤波器系数对应于目标相位值与数字化的接收信号的相应频率分量的所述傅里叶变换产生的相位值之间的残余相位差,并且对应于一个或多个目标振幅值与数字化的接收信号的相应频率分量的所述傅里叶变换产生的振幅值之间的振幅比。

4. 根据权利要求1-3中任一项所述的信号接收器,其中,振幅失真包括模拟信号处理电路的量值响应与在预先定义的频率范围内的一致的量值响应或与关于所述预先定义的频率范围的预先定义的中心频率对称的量值响应曲线的偏离。

5. 根据权利要求1所述的信号接收器,其中,所述校准信号选自于由与预先定义的频率范围内的正交频率分量相对应的时域信号、步阶载波信号、和扫频载波信号构成的组。

6. 根据权利要求1所述的信号接收器,其中,所述数字处理器包括:

控制指令,所述控制指令用于控制校准信号发生器在天线接口处注入校准信号的时间,并且用于根据响应于天线接口处的校准信号的注入而接收到的数字化的接收信号控制数字补偿器的配置。

7. 根据权利要求1所述的信号接收器,其中,数字处理器通过执行一系列操作部分地控制数字补偿器的配置,所述一系列操作包括:

对响应于在天线接口处注入的校准信号而接收到的数字化的接收信号进行从时域到频域的变换,以产生数字化的接收信号的复值频域表示;

从数字化的接收信号的复值频域表示中提取量值和相位值;

获得目标频率相关相位信息和目标量值响应信息;

通过从目标频率相关相位信息中减去被提取的相位值执行相位残余的计算;

通过确定被提取的量值与目标量值响应信息的比执行量值响应的计算;

由计算得出的相位残余和量值响应残余生成一组复值;和

对所述一组复值进行从频域到时域的变换,以产生与有限脉冲响应滤波器相对应的复

值时域滤波器系数。

8. 根据权利要求7所述的信号接收器,其中,所述一系列操作进一步包括:用初始的一组复值时域滤波器系数乘以开窗函数以产生与有限脉冲响应滤波器相对应的复值时域滤波器系数。

9. 根据权利要求1所述的信号接收器,其中,校准信号发生器在天线接口处以小于百分之一的占空比注入校准信号。

10. 根据权利要求1所述的信号接收器,进一步包括壳体,其中天线接口、模拟信号处理电路、采样电路、数字补偿器、数字处理器和校准信号发生器被容纳在所述壳体中。

11. 根据权利要求1所述的信号接收器,其中,校准信号具有比来自天线的接收到的信号的振幅大至少40dB的振幅。

12. 根据权利要求1所述的信号接收器,其中校准信号的振幅和持续时间是根据如下判定标准确定的,即,校准信号的平均功率被保持为低于将影响信号接收器的增益控制电路的增益设定的值。

13. 根据权利要求1所述的信号接收器,进一步包括时钟,所述时钟用于将经同步的时钟定时信号提供给校准信号发生器和采样电路。

14. 根据权利要求1所述的信号接收器,进一步包括单个电路板,其中天线接口、模拟信号处理电路、采样电路、数字补偿器、数字处理器和校准信号发生器被安装在所述单个电路板上。

15. 根据权利要求1所述的信号接收器,其中校准信号发生器由数字处理器至少部分地控制。

16. 根据权利要求1所述的信号接收器,其中,所述信号接收器是卫星信号接收器,并且所述数字补偿器在与由信号接收器接收到的卫星信号的频率相对应的一个或多个预先定义的频率范围内对由模拟信号处理电路产生的信号失真进行补偿。

17. 根据权利要求1所述的信号接收器,进一步包括多个寄存器,每一个寄存器都用于存储和平均来自于由接收到的信号生成的多个正交基带信号中的相应的正交基带信号的样本。

18. 根据权利要求1所述的信号接收器,其中所述数字处理器处理所述经补偿的数字化的接收信号以产生导航结果。

19. 根据权利要求18所述的信号接收器,其中导航结果选自于由至一个或多个卫星的一个或多个距离、地理定位或位置信息、和时值构成的组。

20. 根据权利要求1所述的信号接收器,其中,所述信号接收器是卫星信号接收器。

21. 根据权利要求1所述的信号接收器,其中,天线接口包括一个或多个滤波器和一个或多个放大器。

22. 一种在信号接收器处执行的信号补偿方法,所述方法包括下述步骤:

通过使用校准信号发生器在所述信号接收器处注入校准信号,其中所述校准信号包括在预定频率范围内具有多个正交频率分量的多频音信号;

根据响应于所述校准信号通过所述校准信号发生器在信号接收器处的注入而由数字补偿器接收到的数字信号在信号接收器处配置数字补偿器,所述配置步骤包括:

通过使用响应于所述信号接收器处的校准信号的注入而由所述数字补偿器接收到的

信号的傅里叶变换产生相位和振幅值,其中所述傅里叶变换产生与所述校准信号的所述正交频率分量相对应的多个频率的所述相位和振幅值;和

根据由所述傅里叶变换产生的相位和振幅值配置所述数字补偿器以补偿由信号接收器的模拟信号处理电路引入的不一致的群延迟和振幅失真;

在信号接收器处接收信号;

在信号接收器处处理接收到的信号以产生数字化的接收信号;

使用数字补偿器补偿数字化的接收信号以产生经补偿的信号;和

处理所述经补偿的信号以产生结果。

23. 根据权利要求22所述的方法,其中所述配置数字补偿器的步骤包括:

将由数字补偿器接收到的数字信号从时域变换到频域,以产生经处理的数字信号的复值频域表示;

从经处理的数字信号的复值频域表示中提取量值和相位值;

获得目标频率相关相位信息和目标量值响应信息;

通过从目标频率相关相位信息中减去被提取的相位值计算相位残余;

通过确定被提取的量值与目标量值响应信息之比计算量值响应残余;

由计算出的相位残余和量值响应残余产生一组复值;和

将所述一组复值从频域变换到时域,以产生与有限脉冲响应滤波器相对应的复值时域滤波器系数。

24. 根据权利要求23所述的方法,其中所述变换步骤包括用初始的一组复值时域滤波器系数乘以开窗函数以产生与有限脉冲响应滤波器相对应的复值时域滤波器系数。

25. 一种在信号接收器处执行的信号补偿方法,所述方法包括下述步骤:

通过使用校准信号发生器在所述信号接收器处注入校准信号,所述校准信号包括在预定频率范围内具有多个正交频率分量的多频音信号;

从天线接收信号;

通过模拟信号处理电路处理接收到的信号以产生经滤波的信号;

通过采样电路对经滤波的信号进行采样以产生数字化的接收信号;

针对由模拟信号处理电路引入的不一致的群延迟和振幅失真,通过数字补偿器对所述数字化的接收信号进行补偿,以产生经补偿的数字化的接收信号,其中,所述数字补偿器根据响应于天线接口处的校准信号的注入而由数字补偿器接收到的信号的傅里叶变换产生的相位和振幅值进行配置,所述傅里叶变换产生与所述校准信号的所述正交频率分量相对应的多个频率的所述相位和振幅值;和

处理所述经补偿的数字化的接收信号,以产生结果。

26. 根据权利要求25所述的方法,进一步包括以下步骤:通过使用具有复合滤波器系数的有限脉冲响应滤波器(FIR滤波器)配置数字补偿器以处理数字化的接收信号,以补偿由至少模拟信号处理电路引入的不一致的群延迟和振幅失真。

27. 根据权利要求26所述的方法,其中,FIR滤波器的复合滤波器系数对应于目标相位值与数字化的接收信号的相应频率分量的相位值之间的残余相位差,并且对应于一个或多个目标量值与数字化的接收信号的相应频率分量的量值之间的振幅比。

28. 根据权利要求25所述的方法,其中,振幅失真包括模拟信号处理电路的量值响应与

在预先定义的频率范围内的一致的量值响应或与关于所述预先定义的频率范围的预先定义的中心频率对称的量值响应曲线的偏离。

29. 根据权利要求25所述的方法,进一步包括:在数字处理器处储存控制指令,所述控制指令用于控制校准信号发生器在天线接口处注入校准信号的时间,以及用于根据响应于在天线接口处的校准信号的注入而接收到的数字化的接收信号控制数字补偿器的配置。

30. 根据权利要求25所述的方法,其中,所述配置数字补偿器的步骤包括:

将响应于校准信号的注入而接收到的数字化的接收信号从时域变换到频域以产生所述数字化的接收信号的复值频域表示;

从所述数字化的接收信号的复值频域表示中提取量值和相位值;

获得目标频率相关相位信息和目标量值响应信息;

通过从目标频率相关相位信息中减去被提取的相位值计算相位残余;

通过确定被提取的量值与目标量值响应信息之比计算量值响应残余;

由计算出的相位残余和量值响应残余生成一组复值;和

将所述一组复值从频域变换到时域,以产生与有限脉冲响应滤波器相对应的复值时域滤波器系数。

31. 根据权利要求30所述的方法,其中所述变换步骤包括用初始的一组复值时域滤波器系数乘以开窗函数以产生与有限脉冲响应滤波器相对应的复值时域滤波器系数。

32. 根据权利要求25所述的方法,其中,校准信号发生器在天线接口处以小于百分之一的占空比注入校准信号。

33. 根据权利要求25所述的方法,其中,校准信号选自于由与预先定义的频率范围内的正交频率分量对应的时域信号、步阶载波信号和扫频载波信号构成的组。

34. 根据权利要求26所述的方法,其中,校准信号具有比从天线接收到的信号的振幅大至少40dB的振幅。

35. 根据权利要求25所述的方法,其中校准信号的振幅和持续时间是根据如下判定标准确定的,即,校准信号的平均功率被保持为低于将影响信号接收器的增益控制电路的增益设定的值。

36. 根据权利要求25所述的方法,进一步包括将来自时钟的经同步的时钟定时信号提供给校准信号发生器和采样电路。

37. 根据权利要求25所述的方法,其中,补偿数字化的接收信号的步骤包括补偿预先定义的频率范围内的信号失真,所述预先定义的频率范围包括1559MHz至1591MHz、或1559MHz至1610MHz、或1211MHz至1243MHz、或1160MHz至1192MHz。

38. 根据权利要求25所述的方法,其中,配置数字补偿器的步骤包括以相干地累积与注入的校准信号相对应的数字化的接收信号。

39. 根据权利要求25所述的方法,其中,所述结果包括导航结果。

具有群延迟和振幅失真补偿的信号接收器

技术领域

[0001] 公开的实施例总体涉及在信号接收器处进行信号处理的技术领域,并且具体地涉及一种用于在信号接收器处对群延迟失真以及可选择地对振幅失真进行补偿的系统和方法。

背景技术

[0002] 信号接收器通常包括对接收到的信号进行调节以具有期望的振幅、相位和/或频率特性的设备和电路(例如,模拟信号处理电路)。信号接收器处的设备和电路还可以被设计成用于在被信号接收器接收之前消除或减小沿着信号传播路径引入到信号中的干涉噪声及其它失真。

发明内容

[0003] 在调节接收到的信号的处理过程中,信号接收器处的设备和电路(例如,模拟信号处理电路)可能会将额外的信号失真或不期望的特性引入所述接收到的信号。

[0004] 可能由所述设备和电路在信号接收器处引入的信号失真的一种形式是相位失真(有时在本文中称作群延迟失真)。由信号接收器的分量引入的相位失真源自于信号接收器的相应分量的非线性的相位响应。通过非线性相位与频率特性的关系图、或所关注的频率通带上的不一致的群延迟,可以观察到相位失真。相位失真限制了信号接收器合并来自具有不同频率的信号的信息的能力,从而限制了根据由合并多个信号或多频信号获得的宽带信号得到的测量结果的精度。

[0005] 由所述设备和电路在信号接收器处可能引入的信号失真的另一种形式是振幅失真。由信号接收器的分量引入的振幅失真源自于信号接收器的相应分量的非对称的量值响应。通过在所关注的频率通带范围内的非对称振幅与频率特性的关系图可以观察到振幅失真。

[0006] 一些实施例提供了一种信号接收器,所述信号接收器包括:用于从天线接收信号的天线接口;模拟信号处理电路,所述模拟信号处理电路耦合到天线接口,用于处理接收到的信号以产生经滤波的信号;采样电路,所述采样电路用于对经滤波的信号进行采样以产生数字化的接收信号;补偿机构,所述补偿机构用于接收数字化的接收信号并补偿由模拟信号处理电路引入的不一致的群延迟和振幅失真以产生经补偿的数字化的接收信号;和数字处理器,所述数字处理器用于处理经补偿的数字化的接收信号以产生一结果。

[0007] 一些实施例提供一种在信号接收器处执行的信号补偿方法。所述方法包括:在信号接收器处根据响应于由校准信号发生器在信号接收器处的校准信号的注入而由补偿机构接收到的处理的数字信号配置补偿机构,所述配置步骤包括配置补偿机构以补偿由信号接收器的模拟信号处理电路引入的不一致群延迟和振幅失真。所述方法进一步包括:在信号接收器处接收信号;在信号接收器处处理接收到的信号以产生数字化的接收信号;以及使用补偿机构补偿数字化的接收信号以产生经补偿的信号。

[0008] 一些实施例提供一种在信号接收器处执行的信号补偿方法。所述方法包括以下步骤：从天线接收信号；通过模拟信号处理电路处理接收到的信号以产生经滤波的信号；通过采样电路对经滤波的信号进行采样以产生数字化的接收信号；通过数字补偿器对所述数字化的接收信号中的由模拟信号处理电路引入的不一致的群延迟和振幅失真进行补偿，以产生经补偿的数字化的接收信号；和处理经补偿的数字化的接收信号以产生一结果。

[0009] 在上述实施例中的一些实施例中，补偿机构通过以下步骤配置而成：在信号接收器处注入校准信号；将由补偿机构接收到的与注入的校准信号相对应的数字信号从时域变换到频域，以产生经处理的数字信号的复值频域表示；以及从经处理的数字信号的复值频域表示中提取振幅和相位值。配置补偿机构进一步包括：通过从目标频率相关相位信息中减去被提取的相位值来计算相位残余；通过确定被提取的量值与目标量值响应信息之比计算量值响应残余；由计算出的相位残余和量值响应残余生成一组复值；以及将所述一组复值从频域变换到时域以产生对应于有限脉冲响应滤波器的复值时域滤波器系数。

附图说明

[0010] 图1示出了根据一些实施例的具有群延迟补偿的信号接收器的示例性应用(GNSS卫星导航系统)；

[0011] 图2是描绘了根据一些实施例的具有群延迟补偿的信号接收器的方框图；

[0012] 图3A-3F包括描绘了根据一些实施例的具有群延迟补偿的信号接收器的部件的方框图；

[0013] 图4A包括描绘了根据一些实施例的具有群延迟补偿的信号接收器的补偿机构的配置流程图；

[0014] 图4B-4C包括描绘了根据一些实施例的具有振幅失真补偿的信号接收器的补偿机构的配置流程图；

[0015] 图5A-5D包括描绘了根据一些实施例的在信号接收器处进行信号补偿的方法的流程图；

[0016] 在所有附图中，类似的附图标记表示相对应的部件。

具体实施方式

[0017] 应当理解的是，虽然术语“第一”、“第二”等在本文中可以用于描述各种元件，但是这些元件不应该受限于这些术语。这些术语仅用于将元件彼此区分开。例如，第一接触件可以被称为第二接触件，并且类似地，第二接触件可以被称为第一接触件，而不会改变所描述的含义，只要所有“第一接触件”都被一致地重新命名并且所有第二接触件都被一致地重新命名。第一接触件和第二接触件两个都是接触件，但是它们不是同一个接触件。

[0018] 这里使用的术语仅用于描述具体实施例，并且不意图限制权利要求。如在实施例和所附权利要求的描述中所使用的，单数形式“一”、“一个”和“所述”用于也包括复数形式，除非上下文清楚地另有说明。还应当理解的是，本文中使用的术语“和/或”表示并包括相关的所列项中的一个或多个项的任何以及所有可能的组合。还应当理解的是，说明书中使用的术语“包括”表示所列举特征、整数、步骤、操作、元件、和/或部件的存在，但是不排除还存在或额外地具有一个或多个其它特征、整数、步骤、操作、元件、部件、和/或由它们构成的

组。

[0019] 本文中所使用的术语“如果(if)”可以基于上下文而被解释为“当...时”、或“一旦...就...”、“响应于...的判断”、或“根据...的决定”或“响应于...的检测”,表明前文所述的条件为真或得到满足。类似地,措词“如果确定[前述条件为真]”、或“如果[前述条件为真]”、或“当[前述条件为真]时”可以基于上下文而被解释为表示“一旦确定前述条件为真,就...”或“响应于前述条件为真的判断”或“根据前述条件为真的确定”或“一旦检测到前述条件为真...就...”或“响应于前述条件为真的检测”。

[0020] 以下将参照各种实施例进行详细描述,其中所述实施例的示例在附图中被示出。在以下的详细说明中,阐述了许多具体细节以提供对所述实施例的全面理解。然而,在没有这些具体细节的情况下也可以实施所述各种实施例。在其它的情况下,公知的方法、程序、部件、和电路都没有进行详细的说明,以避免无法分清这些实施例的各个方面的主次。

[0021] 图1包括示出了根据一些实施例的包括具有群延迟和振幅补偿的信号接收器(例如,信号接收器120)的系统(例如,全球导航卫星系统(GNSS)100)的一个示例的方框图。

[0022] GNSS 100包括一个或多个GNSS卫星110和信号接收器120。GNSS卫星110发送信号(例如,含有导航信息的信号)以被信号接收器120接收到。由GNSS卫星110发送的信号在到达信号接收器120之前穿过各种传播媒介(例如,大气层)。

[0023] 传播媒介包括不期望的噪声和失真源130,所述不期望的噪声和失真源将噪声和/或失真引入到传输信号中,从而使有由GNSS卫星110传输的信号受到不利影响。由一个或多个噪声和失真源130引入的噪声和失真的一些不利影响包括信噪比的恶化(例如,由具有落入所关注的频带范围之外的并且通常位于其之内的频谱的不期望的噪声功率的引入而导致的)、和使传输信号的振幅、频率和相位内容产生不期望的、并且通常非一致的、不确定的变化。

[0024] 信号接收器120通常包括用于至少部分地减轻或抵消一个或多个噪声和失真源130在所接收的信号上产生的不利影响的模拟和数字电路。

[0025] 进一步地,信号接收器120包括在模拟信号处理电路中的信号调节元件(例如,滤波器和放大器),所述信号调节元件选择性地增强具有所关注的频率的信号,并拒绝或衰减频率不在所关注的带宽内的信号。

[0026] 图2是示出了根据一些实施例的信号接收器120的方框图。在一些实施例中,信号接收器120从天线202接收信号。信号接收器120包括天线接口204、用于每个所关注的频带的接收器206和补偿机构212(这里也称作数字补偿器)、和数字处理器214。信号接收器120还可选择地包括校准信号发生器230、时钟240、壳体250、和电路板260。

[0027] 天线接口204从天线(例如,天线202)并可选择地从校准信号发生器(例如,校准信号发生器230)接收信号。

[0028] 接收器206包括模拟信号处理电路208和采样电路210。模拟信号处理电路208被联接到天线接口204以处理接收到的信号从而产生经滤波的信号。在一些实施例中,模拟信号处理电路208包括各种频率、振幅和相位调节部件,例如,一个或多个模拟滤波器和/或一个或多个增益(放大)级。在一些实施例中,模拟信号处理电路208对应于或包括低噪声放大器。在一些实施方案中,模拟信号处理电路208包括对接收到的信号进行降频转换以产生正交基带信号(例如,正交的I和Q信号分量)的(正交)解调器。采样电路210对来自模拟信号处

理电路208的经滤波的信号进行采样以产生数字化的接收信号。在一些实施例中,用于产生数字化的接收信号的电路进一步包括量化电路和数字化电路。在一些实施方案中可能要注意的是,信号接收器120包括分别用于两个或更多个所关注的频带的单独的接收器206(并因此包括单独的模拟信号处理电路208和采样电路210)。可选择地,信号接收器120包括用于每一个所关注的频带的单独的接收器206。如图2中的示例中所示,接收器206-a(并因此模拟信号处理电路208-a和采样电路210-a)被配置成在L1频带(例如,1575.42±16MHz;或1559MHz-1591MHz)下工作,接收器206-b(并因此模拟信号处理电路208-b和采样电路210-b)被配置成在L2频带(例如,1227.6±16MHz;或1211MHz-1243MHz)下工作,以及接收器206-c并因此模拟信号处理电路208-c和采样电路210-c)被配置成在L5频带(例如,1176.45±16MHz;或1160MHz-1192MHz)下运行。

[0029] 补偿机构212接收数字化的接收信号并对不一致的群延迟以及在一些实施方案中对由模拟信号处理电路208引入的振幅失真进行补偿,以产生经补偿的数字化的接收信号。在一些实施例中,补偿机构(例如,补偿机构212)在一个或多个预先定义的频率范围内对由模拟信号处理电路产生的数字化的接收信号中的信号失真进行补偿。在一些实施例中,信号失真是由模拟信号处理电路208的非线性相位响应引入的相位失真。对跨越期望的频率范围中的信号进行处理时,模拟信号处理电路208的非线性相位响应导致群延迟中的不期望变化。在一些实施例中,信号失真包括由模拟信号处理电路208的非对称的量值响应引入的振幅失真。模拟信号处理电路208的非对称的量值响应导致对在期望的频率范围内的信号的不期望影响。

[0030] 在一些实施方案中,在数字信号处理器(有时被称作DSP)中实现补偿机构212。在其它实施方案中,在诸如FIR滤波器和一个或多个寄存器的电路中实现补偿机构212。可选地,或额外地,在由通用处理器运行的软件中实现补偿机构212。要注意的是如,这里所使用的术语“不一致的”表示在预先定义的频率范围内对于不同的频率具有不同的延迟。在一些实施方案中,信号接收器120被配置成包括用于每一个所关注的频带的单独的补偿机构212。如图2中的示例所示,补偿机构212-a被配置成在L1频带(例如,1559MHz-1591MHz的频带)下工作,补偿机构212-b被配置成在L2频带(例如,包括1211MHz-1243MHz的频带)下工作,以及补偿机构212-c被配置成在L5频带(例如,包括1160MHz-1192MHz的频带)下工作。

[0031] 应该理解的是,所述频带和频带宽度(例如,L1、L2、和L5频带,和相应的带宽)仅仅是说明性和代表性的;这里所述的信号接收器和由信号接收器执行的方法可以被配置成在本文中未具体列出的频带或频率下工作。

[0032] 数字处理器214处理经补偿的数字化的接收信号以产生结果220。在一些实施方案中,结果(例如,结果220)包括至一个卫星的距离、至多个卫星的距离、导航结果、地理位置、和/或卫星时值。在一些实施例中,通过使用一个或多个微处理器或其它可编程的处理器来实现数字处理器214。这里参照图3F进一步描述数字处理器214。在一些实施方案中,在基带系统内或靠近基带系统实现数字处理器214。按照这种方式,数字处理器214被配置成在基带信号上运行。在一些实施例中,数字处理器214可选择地包括GNSS处理器216和微处理器218。GNSS处理器216通常包括用于分析从GNSS卫星接收到的信号并因此辅助微处理器218执行导航功能以及可选择的其它功能的电路,例如,相关器。数字处理器214包括并执行控制指令,以用于控制下文所述的校准信号发生器230在天线接口204处注入校准信号的时

间,以及用于根据响应于在天线接口204处的校准信号的注入而接收到的数字化的接收信号控制补偿机构212的配置(例如,通过由微处理器218提供的控制信号)。

[0033] 在一些实施例中,校准信号发生器230被耦合到天线接口204以在天线接口204处注入校准信号。

[0034] 在一些实施例中,时钟240将同步的时钟定时信号提供给校准信号发生器230和采样电路210。

[0035] 在一些实施例中,天线接口204、模拟信号处理电路208、采样电路210、补偿机构212、数字处理器214和校准信号发生器230都被容纳在壳体250中。

[0036] 在一些实施例中,天线接口204、模拟信号处理电路208、采样电路210、补偿机构212、数字处理器214和校准信号发生器230安装在单个电路板(例如,电路板260)上。可选地,天线接口204不安装在上面安装有其它部件的电路板上。通常,在包括壳体250的实施例中,电路板260被容纳在壳体250内。

[0037] 在一些实施例中,信号接收器(例如,信号接收器120)是卫星信号接收器。

[0038] 图3A是示出了根据一些实施例的天线接口204的方框图。如图3A所示图3,天线接口204包括一个或多个滤波器(例如,滤波器304-a和滤波器304-b),以将接收信号302的频率限制到所关注的频率。滤波器304-a和滤波器304-b包括具有固定的或可变的(例如,可调的)特性的滤波器。天线接口204还包括用于放大或增强所关注的信号的一个或多个放大器306。放大器306可以包括具有固定的或可变的(例如,可调的)特性的一个或多个放大器。

[0039] 图3B是示出了补偿机构212和可选择的配置机构320的方框图。如上所述,补偿机构212接收数字化的接收信号(例如,数字化的接收信号312),并对不一致的群延迟进行补偿,并且在一些实施方案中,对由天线接口204和模拟信号处理电路208引入的振幅失真进行补偿,以产生经补偿的数字化的接收信号(例如,经补偿的数字化的接收信号316)。

[0040] 在一些实施例中,补偿机构212被配置成(例如,通过使用配置机构320)通过使用有限脉冲响应滤波器或FIR滤波器(例如,复合FIR 314)处理数字化的接收信号312以补偿不一致的群延迟,其中,所述有限脉冲响应滤波器或FIR滤波器使用一组复合的滤波器系数(例如,复合的FIR系数334),并且在一些实施方案中,补偿机构212补偿至少由模拟信号处理电路(例如,模拟信号处理电路208)引入的振幅失真。

[0041] 在一些实施例中,补偿机构(例如,补偿机构212)响应于例如通过校准信号发生器230在天线接口处的校准信号的注入、根据由该补偿机构接收到的信号而被配置(例如,通过配置机构320)。

[0042] 在一些实施例中,配置机构320执行如以下参照图5A-5D描述的配置补偿机构的方法。

[0043] 如图3B所示,在一些实施方案中,配置机构320包括相干采样累积器322(在图3E中更详细地示出),所述相干采样累积器用于存储和相干地(在多个校准周期中)累积响应于校准信号的注入而接收到的数字化的接收信号,并因此输出相干地累积的样本。在一些实施方案中,相干累积是通过使用诸如求和、平均、滤波(例如,通过利用Kalman滤波器或贝叶斯(Bayesian)评估器)或其任意组合的方式在多个校准周期中通过相干地合并响应于校准信号的注入而接收到的数字化的接收信号的样本而执行的。相干采样累积器322可以在硬件(例如,累积寄存器、时钟分配器等)或在由数字信号处理器或通用微处理器执行的软件

中实现。

[0044] FFT 324(例如,N点FFT324-a,如图3E所示)在相干地累积的(例如,加和的或平均的)样本上执行复合傅里叶变换以针对多个频率分量产生一组复合值。例如,例如,对于N点FFT而言,FFT 324的输出是N个复合值或包括N个复合值,且每一个复合值都具有实部和虚部。FFT 324可以在软件、硬件(例如,在FFT芯片上)中、或在数字信号处理器上实现。在一些实施方案中,FFT 324的输出被变换以产生测得的相位响应(其在图4A中被称作实际相位响应402),并且在一些实施方案中,产生天线接口204和模拟信号处理电路208的测得的量值响应(其在图4B中被称为实际量值响应412,而在图4C中被称为实际量值响应422)。测得的相位响应表示在存在于经滤波的信号中的各种频率下的经滤波的信号(例如,响应于注入的校准信号而接收到的数字化的接收信号)的测得的相位。测得的量值响应表示在存在于经滤波的信号中的各种频率下的经滤波的信号(例如,响应于注入的校准信号而接收到的数字化的接收信号)的测得的量值。在一些实施例中,通过在各种频率下对经滤波的信号(例如,响应于注入的校准信号而接收到的数字化的接收信号)的测得的相位进行多项式拟合(例如,多项式滤波(*polynomial smoothing*))来获得测得的相位响应(在图4A中被称作实际相位响应402)。在这种实施例中,测得的相位响应由具有序号的多项式表示;所述序号被选择以消除经滤波的信号的测得的相位的多项式表达中的不期望的噪声,同时保留(例如,逼近)对经滤波的信号的测得的相位的群延迟失真的影响。在一些实施例中,随后在多个频率(例如,对应于N点FFT 324-a的频格(*frequency bins*))下对多项式进行采样以在多个频率下产生经滤波的信号的平滑的测得相位。在一些实施例中,平滑的测得相位是通过使用内插法(例如,曲线拟合、多项式内插法、样条内插法、高斯内插法、回归法等)由数字化的接收信号的相应频率分量的相位值(例如,实际相位响应402)生成的。在一些实施例中,测得的量值响应(在图4B中被称作实际量值响应412,而在图4C中被称作实际量值响应422)是通过采用与上文所述的用于获得测得的相位响应的方法类似的方法由各种频率下的经滤波的信号的测得的量值获得的。

[0045] 目标响应曲线326(例如,图4A中所示的目标响应404和/或图4B中所示的目标量值响应414)分别对应于预先存储的或(可选择地)由实际相位响应402和/或实际量值响应412生成的期望的一组取决于频率的相位值和/或取决于频率的量值。在一些实施方案中,目标相位值(例如,目标响应曲线326或目标响应404)是通过将数字化的接收信号的相应的频率分量的相位值(例如,实际相位响应402)进行直线拟合(例如,直线404-a)而生成(例如计算得出)的。在一些实施例中,目标相位值(例如,目标响应曲线326或目标响应404)是通过使用内插法(例如,曲线拟合、多项式内插法、样条内插法、高斯内插法、回归法等)由数字化的接收信号的相应的频率分量的相位值(例如,实际相位响应402)生成的。可选地,目标相位值是预先确定的固定值,与测得的相位响应(例如,实际相位响应402)无关。在一些实施例中,目标量值是通过与上述用于获得目标相位值的方法类似的方法由数字化的接收信号的相应的频率分量的量值(例如,实际量值响应412,图2C所示)获得的。可替换地,目标量值是预先确定的固定值,与测得的量值响应(例如,实际量值响应412)无关。

[0046] 在一些实施例中,通过从目标相位值(例如,目标响应曲线326或目标响应404)中减去数字化的接收信号的相应的频率分量的相位值(例如,实际相位响应402)来计算残余相位差(*residual phase differences*)(例如,残余328或相位残余406)。在一些实施例中,

通过确定数字化的接收信号的相应的频率分量的被提取的量值(例如,实际量值响应412)与目标量值响应信息(例如,目标响应曲线326或目标响应404)的比来计算残余量值差(例如,残余328或量值残余416)。

[0047] 在残余相位差(例如,残余328或相位残余406)的表达上执行快速傅里叶逆变换(例如,iFFT 330),并且在一些实施方案中,在量值响应残余(例如,量值残余416)上执行快速傅里叶逆变换,以产生与FIR系数相对应的初始的一组复合值。要注意的是,可以通过使用硬件(例如,在FFT电路上)或通过由数字信号处理器或通用微处理器运行的软件实现iFFT 330。在一些实施方案中,通过使用同一FFT电路、或由数字信号处理器或通用微处理器运行的同一程序(一个或多个)实现FFT 324和iFFT330。

[0048] 可选择地,在由iFFT 330获得的一组初始复合值上执行开窗操作(开窗332),这通过使iFFT 330的结果乘以一开窗函数(例如,Tukey窗,或更具体地,Tukey 0.5窗)以减小iFFT 330的结果的边缘分量的振幅的方式调节由iFFT330产生的结果。在一些实施方案中,使用硬件或由数字信号处理器或通用微处理器运行的软件实现开窗332。iFFT 330的结果的“边缘分量”通常是不在该结果的预先定义的中心部分中的分量。在一个示例中,在产生从1连续编号到128的128个复合FIR系数作为iFFT 330的结果的实施方案中,中心分量至少包括分量32至96,而边缘分量包括分量1至31和97至128,或分量1至31和97至128的子集。

[0049] 在各种实施例中,多种开窗函数中的任一个用于对由iFFT 330获得的一组复合值进行开窗操作以产生复合的FIR系数,例如在Internal Report,Max-Planck-Institut fur Gravitationsphysik,Hannover,2002中刊登的G.Heinzel、A.Rudiger、和R.Schilling的“Spectrum and spectral density estimation by Discrete Fourier transform (DFT),including a comprehensive list of window functions and some new flat-top windows”、以及1987年的Proceedings of IEEE,vol.66,pp.51-83中刊登的FJ Harris的“On Use of windows for Harmonic Analysis with Discrete Fourier transform”中所述的开窗函数。

[0050] 由配置机构320执行的方法将参照图5A-5D进一步说明。

[0051] 图3C是示出了在补偿机构212中所使用的有限脉冲响应滤波器314的方框图。如图3C所示,FIR滤波器352(例如,复合FIR 314,图3B所示)使用复合滤波器系数354(例如,复合FIR系数334,图3B中所示)。在一些实施例中,用于FIR滤波器352的复合滤波器系数354被存储在系数寄存器356中。可选择地,在FIR滤波器352的内部实现系数寄存器356。如上所述,以及参照下文对于图5A-5D的描述,在一些实施方案中,通过在一个或多个校准周期内处理天线接口204处注入的校准信号(例如,通过配置机构320)来生成复合滤波器系数354。

[0052] 可替换地,在一些实施方案中,从滤波器系数库358获得存储在系数寄存器356中的滤波器系数。滤波器系数库358存储多组滤波器系数,如图3C所示。多路复用器359用于例如基于信号接收器120中或信号接收器120附近的工作条件(例如,温度)从滤波器系数库358中选择一组滤波器系数。在这些实施方案中,FIR滤波器352通过使用从滤波器系数库358选出的一组滤波器系数对数字化的接收信号进行滤波。在一些实施方案中,存储在滤波器系数库358中的多组滤波器系数是在多个不同的工作条件(例如,多个测得温度)下生成的滤波器系数。在滤波器系数库358中生成多组滤波器系数的过程有时被称为工厂校准,这是因为可以在制造信号接收器期间或在制造信号接收器不久之后“在工厂”生成所述系数。

在一些实施例中,通过工厂校准生成的滤波器系数是通过使用外部校准信号(即,在接收器外部生成的校准信号)获得的,并且在这种实施例中,信号接收器无须包括校准信号发生器230。

[0053] 图3D是示出了校准信号发生器230的方框图。如图2所示,校准信号发生器230被耦合到天线接口204,以在天线接口204处注入校准信号。

[0054] 在一些实施例中,由校准信号发生器230产生的校准信号包括与预先定义的频率范围内的正交频率分量相对应的时域信号。在这种实施例中,时域信号的持续时间(或周期)等于正交频率分量之间的频率间隔的倒数或是该倒数的整数倍。在一些实施例中,校准信号包括阶跃载波信号。在一些实施例中,校准信号包括扫频载波信号。在一些实施例中,校准信号包括均匀间隔开的频率分量,例如从X1MHz到X2MHz的以YMHz为增量(例如,以1MHz为增量)的频率分量,其中X1和X2 MHz对应于(在天线接口204处接收到的)接收信号的频带宽度或带宽(有时被称为所关注的带通),而YMHz规定连续的频率分量之间的(通常均匀的)间距(即,频率间隔)。在这种实施例中,一些实施方案提供的校准信号的持续时间(或周期)等于连续的频率分量之间的频率间隔(即,间距-例如,YMHz)的倒数或是该倒数的整数倍。

[0055] 在图3D所示的示例性实施方案中,校准信号是多频音(有时称作多载波)校准信号368,该多频音校准信号368为OFDM(正交频分复用)信号,或者所述校准信号是与OFDM信号类似的信号,只是该校准信号不生成或不传输数据。校准信号对应于跨越所关注的传输频带的多频音信号。例如,通过由OFDM调制器采用的方法生成多频音信号。在一些实施例中,诸如控制信号360等的控制信号(例如,启用,禁用,时间基准)被用于控制校准信号的注入的时刻和/或持续时间。在一些实施例中,数字处理器214至少部分地通过控制信号360控制校准信号发生器230。例如,在一些实施方案中,数字处理器214确定校准信号的注入的时刻和/或持续时间,包括注入事件之间的间隔、和与校准信号有关的占空比。如上所述,在一些实施方案中,校准信号的注入的时刻和/或持续时间等于构成校准信号368的连续的(并且正交的)频率分量之间的频率间隔的倒数,或是该倒数的整数倍。

[0056] 控制信号360控制时钟发生器361。在一些实施例中,时钟发生器361向正交调制器366和存储器362提供时间基准,其中所述存储器362存储用于生成正交频音的正交时间序列,也被称为多频音时域数字信号。在一些实施方案中,多频音时域数字信号被从存储器362中读取出来并通过一个或多个数模转换器(例如,DAC 364-a和DAC 364-b)被转换成模拟信号,其中所述数模转换器向正交调制器366提供所产生的模拟信号。正交调制器366将模拟信号调制到载波信号上以产生校准信号368。从另一个观点来看,存储器362存储一组目标多频音信号的时域表达,其中所述一组目标多频音信号通过一个或多个DAC 364被转换成模拟信号并随后被调制到载波信号上以产生校准信号368。

[0057] 在一些实施例中,校准信号发生器(例如,校准信号发生器230)以小于一预先定义的分数的占空比(例如,以小于1%的占空比)在天线接口204处注入校准信号。在一些实施例中,以低占空比(例如,小于10%、1%、0.1%或0.2%的占空比)注入校准信号。在一个示例中,针对每一个工作周期(例如,该周期的持续时间在20毫秒与2秒之间),校准信号都以持续一插入周期(有时也被称作校准周期)的方式添加。在一些实施例中,校准信号的插入周期具有不小于校准信号368的一个“符号周期(symbol period)”(例如,保持校准信号中的所有频率分量的正交性所需的时间周期)的持续时间。典型地,校准信号的插入周期具有

两个或更多个符号周期的持续时间。在一些实施例中,非常低的占空比校准信号最低程度地影响GNSS信号载波与噪声功率密度之比(CNo)。

[0058] 在一些实施例中,校准信号发生器在天线接口处注入校准信号作为伪随机或随机信号,以减少对各种GNSS信号结构的任何不利影响。

[0059] 在一些实施例中,校准信号具有一振幅,该振幅比从天线接收的信号的振幅大至少一预先定义量(例如,40dB)。在一些实施例中,校准信号的平均功率小于用于信号接收器的宽带噪声下限。在一些实施,校准信号的振幅和持续时间是根据如下标准来确定的,该标准是:校准信号的平均功率被保持为低于一个值,该值可能会影响信号接收器的增益控制电路(例如,自动增益控制电路)的增益设定。在一些实施例中,增益控制电路对应于信号接收器的模拟信号处理电路的AGC电路。在一些实施方案中,在诸如10毫秒、10秒、10分钟、20分钟等的固定的或可变的时间间隔之后注入校准信号。保持校准信号的注入事件之间的时间间隔有助于将平均校准信号功率保持为低于可能导致增益控制电路(例如,AGC电路)改变其增益设定的值(对应于信号接收器的宽带噪声下限)。在可选的实施例中,AGC电路可以在校准信号的注入期间被切断(或阻止改变其状态)。

[0060] 在一些实施例中,校准信号发生器(例如,校准信号发生器230)至少部分地由信号接收器120的数字处理器(例如,数字处理器214)控制。例如,数字处理器将确定注入的时刻和/或持续时间,并可能确定校准信号注入事件之间的间隔。此外,在具有两个或更多个接收器206(参见图2)的一些实施方案中,校准信号发生器230在数字处理器214的控制下对每一个接收器206注入不同的校准信号,其中用于每一个接收器接收器206的校准信号与用于其它接收器206注入的校准信号相比,具有储存在存储器362中的不同的一组多频音时域数字信号、各自的占空比、和不同的定时。

[0061] 图3E是示出了根据一些实施例的累积的FFT 370的方框图。在一些实施例中,累积的FFT 370包括两个或更多寄存器(例如,N级移位寄存器322-a和N级累积器322-b),每一个寄存器用于存储并相干地累积(例如,使用本文献中的其它地方所述的方法)来自由接收到的信号(例如,数字化的接收信号312)生成的两个或更多个正交基带信号的相应的正交基带信号的样本。样本的相干累积(例如,求和或平均)是通过在M个校准周期范围内执行相干(例如,时间同步)求和并且可选择地随后将所产生的值除以校准周期的数目(例如,M)(例如,这是通过使用移位寄存器实现的)以产生跨越M个校准周期的样本的相干和(并可选择地,相干平均值)来计算的。在一些实施例中,针对所关注的每一个不同频带计算样本的相干累积(例如,平均或求和)。在一些实施方案中,跨越多个校准周期的相干累积能够获得更好的校准精度。

[0062] 为此,累积的FFT 370包括相干样本累积器322和FFT 324(如前文参照图3B中的校准机构320所作的描述)。如图3E所示,累积FFT 370接收数字化的RF样本372(例如,由数字化的接收信号312获得)、样本时钟374和符号时间启用(Symbol Time Enable)(占空比)376。累积的FFT 370处理数字化的RF样本372以在M个符号378上产生N个复频域样本,如下所述。

[0063] 相干样本累积器322用于存储并相干地累积响应于校准信号在天线接口处的注入(例如,通过校准信号发生器230)而由补偿机构(例如,补偿机构212)接收到的数字化的RF样本372(例如,数字化的接收信号312)。因此,使用N级移位寄存器322-a移位并存储数字化

的RF样本372,并且所述数字化的RF样本被相干地累积(例如,通过求和或滤波的方法合并),并可选择地通过使用N级累积器322-b进行平均。

[0064] FFT 324(例如,(M个符号上的)N点FFT324-a)例如通过使用快速傅里叶变换实施方式在相干地累积的样本上执行复合傅里叶变换。

[0065] 在一些实施方案中,通过使用样本时钟374(例如,由时钟240获得或与时钟240同步)提供用于信号样本(例如,数字化的RF样本372)的时间基准。另一个时间基准,符号时间启用(占空比)376,能够使相干样本累积器322和FFT 324在校准信号的注入期间或在与校准信号的注入相对应的时刻启动操作。在一些实施例中,时钟分配器除以N个374-a并且除以M个374-b,样本时钟374的频率除以预先定义的值(例如,分别为N和M)以分别根据N级累积器322-b和(在M个符号上的)N点FFT324-a的要求产生频率降低的时钟定时信号。

[0066] 图3F是示出了根据一些实施例的数字处理器214的方框图。数字处理器214可以在图1所示的全球导航卫星系统(GNSS)应用中使用。数字处理器214通常包括一个或多个处理单元(CPU)602、一个或多个网络或其它通信接口604、存储器610、可选择的补充接收器670(例如,用于接收导航辅助信号的一个或多个接收器,诸如广域差分卫星定位系统信号)、和用于使这些部件相互连接的一个或多个通信总线609。通信总线609可以包括使系统部件相互连接并控制所述系统部件之间的通信的电路(有时称作芯片组)。数字处理器214被耦合到卫星定位系统接收器674(例如,除数字处理器214之外的信号接收器120)以接收用于处理的数字化的(并且通常是经补偿的)卫星信号。数字处理器214可选择地包括用户界面605,所述用户界面包括显示装置606和输入装置608(例如,键盘、鼠标、触摸屏、键盘等)。存储器610包括高速随机存取存储器,例如DRAM、SRAM、DDR、RAM或其它随机存取固态存储器装置;并且可选择地(通常)包括非易失性存储器,例如一个或多个磁盘存储装置、光盘存储装置、闪存装置、或其它非易失性固态存储装置。存储器610可选择地包括相对于CPU(一个或多个)602远程定位的一个或多个存储装置。存储器610,或可替换地存储器610内的非易失存储装置包括非暂时性的计算机可读存储介质。在一些实施例中,存储器610或存储器610的计算机可读的存储介质存储以下程序、模块和数据结构或它们的子集:

[0067] • 操作系统612,所述操作系统包括用于操作各种基本系统服务并用于执行基于硬件的程序;

[0068] • 通信模块614,所述通信模块用于将数字处理器214经由一个或多个通信接口604(有线或无线)和一个或多个通信网络(例如,因特网,其它广域网络、局域网、城域网等)连接到其它计算机、广域差分卫星定位系统、本地定位系统等;

[0069] • 可选择地,用户界面模块616,所述用户界面模块经由用户界面605的一个或多个输入装置608接收来自用户的指令,在显示装置606中生成用户界面对象,和/或显示与信号接收器120的位置相关的地图、坐标、路线等;

[0070] • 导航模块618,所述导航模块通过处理从卫星定位系统接收器674接收到的数字化的卫星信号产生导航结果(例如,至卫星的距离,至多个卫星的距离,地理定位、位置信息、和/或时间值);

[0071] • 校准模块620,所述校准模块620控制校准信号发生器230(图2)在天线接口204处注入校准信号的时间(例如,校准信号注入的时刻和/或持续时间)并用于控制补偿机构(一个或多个)212的配置;和

[0072] • 可选择地,存储的校准集622,所述存储的校准集包括多组滤波器系数(例如,存储在滤波器系数库358中的);可选择地,存储的校准集622对应于针对不同的工作条件(例如,针对不同的温度条件)预先执行的校准(例如,因素校准)。

[0073] 上述元素中的每一个都可以被存储在先前所述的存储装置中的一个或多个中,并且对应于用于执行上述功能的一组指令。所述一组指令可以由一个或多个处理器(例如,CPU 602)执行。上述模块或程序(即,指令集)不需要被实现为单独地软件程序、过程或模块,并因此在各种实施例中这些模块的各种子集可以被合并或以其它方式重新布置。在一些实施例中,存储器610可以存储上述模块和数据结构的子集。此外,存储器610可以存储以上没有描述的额外的模块和数据结构。

[0074] 虽然图3F显示了“数字处理器”,单图3F具意图作为可能存在于移动卫星导航接收器中的各种特征的功能描述,而不是这里所述的实施例的结构示意。实际上,本领域的普通技术人员可以认识到,单独显示的项可以合并,并且一些项可以分离。

[0075] 图4A是示出了先前结合图3B描述的配置机构320的流程图。如先前结合图3B所述,数字化的接收信号(例如,数字化的接收信号312)的相应的频率分量的相位值代表存在于校准信号中的各种频率下的经滤波的信号的测得相位(例如,实际相位响应402)。如上所述,在一些实施例中,通过对各种频率下的经滤波的信号(例如,响应于注入的校准信号而接收到的数字化的接收信号)的测得相位进行多项式拟合(例如,多项式平滑)而获得测得相位响应(实际相位响应402,图4A)的平滑版本。在这种实施例中,平滑的测得相位响应由选出的数字序号的多项式表示(例如,逼近)以消除经滤波的信号的测得相位的多项式表示中的不期望噪声,同时基本上保留对于经滤波的信号的测得相位的群延迟失真的影响。

[0076] 在一些实施例中,目标相位值被预先存储。在可选的实施例中,目标相位值(例如,目标响应曲线326或目标响应404)是通过例如对数字化的接收信号的相应的频率分量的相位值进行直线拟合(例如,直线404-a)而从各种频率下的经滤波的信号的测得相位(例如,实际相位响应402)计算得到的。

[0077] 在一些实施例中,通过从目标相位值减去数字化的接收信号的相应频率分量的相位值来计算残余相位差(例如,残余328或相位残余406)。如图4A所示,通过从目标响应404减去实际相位响应402来计算相位残余406。

[0078] 图4B-4C是示出了先前结合图3B描述的配置机构320的操作的流程图。如先前结合图3B所述,数字化的接收信号(例如,数字化的接收信号312)的相应频率分量的量值(magnitude values)表示存在于校准信号中的各种频率下的经滤波的信号的测得量值(例如,图4B中所示的实际量值响应412和图4C中所示的实际量值响应422)。

[0079] 在一些实施例中,目标量值被预先存储。在可选的实施例中,目标量值(例如,目标响应曲线326或图4B中所示的目标量值响应414或图4C中所示的目标量值响应424)是通过例如找到最佳的拟合平坦量值响应或最佳的拟合对称量值响应而由各种频率下的经滤波的信号的测得量值(例如,实际量值响应412)计算得出的。

[0080] 在一些实施例中,通过确定一个或多个目标振幅值与数字化的接收信号的相应频率分量的振幅值之间的振幅比来计算量值响应残余(例如,图4B中所示的残余328或量值残余416,或图4C中所示的量值残余426)。如图4B和图4C所示,通过使目标量值响应414(或424,图4C)除以实际量值响应412(或422,图4C)来计算量值残余406和量值残余416。

[0081] 在图4A-4C中,FIR滤波器(例如,复合FIR 314)的复合滤波器系数(例如,复合FIR系数334或FIR系数408、FIR系数418、或FIR系数428)对应于目标相位值(例如,目标响应曲线326或目标响应404)与数字化的接收信号(例如,数字化的接收信号312)的相应频率分量的相位值(例如,实际相位响应402)之间的残余相位差(例如,残余328或相位残余406)、和目标量值(例如,目标响应曲线326或目标量值响应414或目标量值响应424)与数字化的接收信号(例如,数字化的接收信号312)的相应频率分量的量值(例如,实际量值响应412或实际量值响应422)之间的残余量值比(例如,残余328或量值残余416或量值残余426)。在残余相位差(例如,残余328或相位残余406)和量值响应残余(例如,量值残余416或量值残余426)上执行逆FFT(例如,iFFT330),这将产生FIR滤波器(例如,复合FIR 314)的复合滤波器系数(例如,复合FIR系数334或FIR系数408)。可替换,iFFT产生初始的一组复合滤波器系数,所述复合滤波器系数然后乘以开窗函数(例如,Tukey窗)以产生被补偿机构212中的FIR滤波器使用的复合滤波器系数以对数字化的接收信号进行滤波,从而产生经补偿的数字化的接收信号。

[0082] 图5A-5C和图5D包括表示方法500和方法570的流程图,其中方法500和方法570根据本发明的特定实施例的分别用于在信号接收器(例如,信号接收器120)处执行的信号补偿。方法500和方法570可以由存储在计算机可读存储介质中的并且由一个或多个服务器的一个或多个处理器执行的指令支配。图5A-5D所示的操作中的每一项操作都可对应于存储在计算机存储器或计算机可读存储介质中的指令。计算机可读存储介质可以包括磁盘或光盘储存装置、诸如闪速存储器的固态存储装置、或其它非易失性存储装置。存储在计算机可读存储介质中的计算机可读指令为可由一个或多个处理器解释解析的源代码、汇编语言代码、目标代码、或其它指令的格式。

[0083] 根据图5A-5C所示的方法500,信号接收器(例如,信号接收器120)从天线(例如,天线202)接收(510)信号。信号接收器通过模拟信号处理电路(例如,模拟信号处理电路208)处理(512)接收到的信号以产生经滤波的信号。信号接收器通过采样电路(例如,采样电路210)对经滤波的信号进行采样(514)以产生数字化的接收信号(例如,数字化的接收信号312)。

[0084] 对于由模拟信号处理电路引入的不一致的群延迟和振幅失真信号,接收器通过补偿机构(例如,补偿机构212)对数字化的接收信号进行补偿(515),以产生经补偿的数字化的接收信号(例如,经补偿的数字化的接收信号316)。在一些实施例中,补偿数字化的接收信号的步骤包括在预先定义的频率范围内对信号失真进行补偿(516)。例如,如果信号接收器是GPS信号接收器,则预先定义的频率范围可选择地包括以下一个或多个:(L1,E1)1559MHz-1591MHz,1559MHz-1610MHz,(L2,L5)1211MHz-1243MHz,和1160MHz-1192MHz。在一些实施例中,振幅失真包括模拟信号处理电路的量值响应与在预先定义的频率范围内的均匀的量值响应或相对于预先定义的频率范围的预先定义的中心频率对称的量值响应曲线之间的偏离(deviation)(517)。例如,如图4B-4C所示,目标量值响应曲线(例如,目标量值响应414和目标量值响应424)关于预先定义的频率范围的预先定义的中心频率是对称的。

[0085] 信号接收器处理(518)经补偿的数字化的接收信号以产生结果(例如,结果220)。在一些实施方案中,所述结果包括(519)导航结果。例如,所述结果包括至一个卫星的距离、至多个卫星的距离、导航结果、地理位置、和/或卫星时值。

[0086] 在一些实施例中,信号接收器通过使用诸如复合FIR 314(图3B)的有限脉冲响应滤波器(FIR滤波器)、用复合滤波器系数(例如,图3B中所示的复合FIR系数334)的方式配置(520)补偿机构以处理数字化的接收信号,以补偿由至少模拟信号处理电路引入的不一致的群延迟和振幅失真。在一些实施例中,FIR滤波器的所述一组复合滤波器系数对应于目标相位值与数字化的接收信号的相应频率分量的相位值之间的残余相位差,以及对应于一个或多个目标振幅值与数字化的接收信号的相应频率分量的振幅值之间的振幅比。例如,如参照图4A-4C所示和所述,通过相位残余406和量值残余416(或量值残余426)的逆变换(iFFT330)获得FIR系数408。相位残余406是目标响应404与实际相位响应402之间的差(即,通过相减获得)。量值残余416是目标量值响应414与实际量值响应412之间的比(即,通过相除获得)。在一些实施例中,信号接收器120在如下所述的步骤526-550中执行用于配置(524)补偿机构212的额外的步骤。

[0087] 信号接收器通过使用被耦合到天线接口的校准信号发生器(例如,校准信号发生器230)在信号接收器的天线接口(例如,天线接口204)处注入(526)校准信号。在一些实施例中,校准信号发生器在天线接口处以小于预先定义的百分数(例如,1%)的占空比注入(528)校准信号。在一些实施例中,校准信号包括(530)对应于预先定义的频率范围内的正交频率分量的时域信号。在一些实施例中,校准信号包括(532)步阶载波信号。在一些实施例中,校准信号包括(534)扫频载波信号。在一些实施例中,校准信号具有(536)一个振幅,该振幅比来自信号接收器的天线(例如,天线202)的接收信号的振幅大至少一预先定义的量(例如,40 dB)。在一些实施方案中,校准信号的振幅和持续时间根据这样一个标准来确定(538),该标准为:校准信号的平均功率被保持成低于一个值,该值将会影响信号接收器的增益控制电路的增益设定。校准信号发生器的操作参照图3D在上文中进一步描述。

[0088] 在一些实施例中,信号接收器将来自时钟(例如,时钟240)的同步的时钟定时信号提供(540)给信号接收器的校准信号发生器和采样电路。

[0089] 在一些实施方案中,信号接收器120根据响应于校准信号在天线接口204处的注入而由补偿机构212接收到的信号来配置(542)补偿机构212。在一些实施例中,配置补偿机构212的步骤包括(543)相干地累积与注入的校准信号相对应的数字化的接收信号。例如,如图3E所示,相干样本累积器322(包括两个或更多个寄存器)被用于相干地累积与注入的校准信号相对应的数字化的接收信号。

[0090] 在一些实施例中,信号接收器120存储(544)数字处理器214处的指令。在一些实施方案中,控制指令包括(546)用于控制校准信号发生器230在天线接口204处注入校准信号的时间的指令。在一些实施方案中,控制指令包括(548)用于根据响应于校准信号在天线接口204处的注入而接收到的数字化的接收信号来控制补偿机构212的配置的指令。

[0091] 在一些实施例中,信号接收器120通过执行另外的或可选的接下来描述的步骤552-564,例如使用配置机构320(以上参照图3B所示和所述)来配置(550)补偿机构212。

[0092] 在一些实施例中,信号接收器120将响应于校准信号的注入而接收到的数字化的接收信号从时域变换(552)到频域,以产生数字化的接收信号的复值频域表示。需要注意的是,实值表示是复值表示的特殊情况。在一些实施方案中,从时域到频域的变换是例如通过使用快速傅里叶变换(FFT)方案实现的离散傅里叶变换。如结合图3B和图3E中的示例性实施例所作的描述,FFT 324用于在M个符号378上产生N个复频域样本。

[0093] 在一些实施例中,信号接收器120从数字化的接收信号的复值频域表示中提取(554)量值(例如,实际量值响应412,图4B)值和相位(例如,实际相位响应402,图4A)值。例如,对于复数 $z = x + jy$ 而言,其中 x 是实部, y 是虚部,复数 z 的幅值(r)和相位(φ)通过下述方式获得:

[0094] $r = |z| = \sqrt{x^2 + y^2}$ 以及

[0095] $\varphi = \arg(z) = \begin{cases} \arctan(\frac{y}{x}) & \text{如果 } x > 0 \\ \arctan(\frac{y}{x}) + \pi & \text{如果 } x < 0 \text{ 且 } y \geq 0 \\ \arctan(\frac{y}{x}) - \pi & \text{如果 } x < 0 \text{ 且 } y < 0 \\ \frac{\pi}{2} & \text{如果 } x = 0 \text{ 且 } y > 0 \\ -\frac{\pi}{2} & \text{如果 } x = 0 \text{ 且 } y < 0 \\ \text{不能确定} & \text{如果 } x = 0 \text{ 且 } y = 0 \end{cases}$

[0096] 在一些实施例中,如果数字化的接收信号的频带宽度或带宽上的总相变(或相移)超过 2π 弧度,则数字化的接收信号的相位(例如,实际相位响应402,图4A)中产生的中断(例如,由于相位缠绕而产生的)例如通过诸如“相位展开”(例如,通过加上或减去 2π 弧度的整数倍)的方法而被消除。结果,数字化的接收信号的相位(例如,实际相位响应402,图4A)通过消除例如由相位缠绕引入的中断而被转换成频率的连续函数。

[0097] 在一些实施方案中,信号接收器120获得(556)目标频率相关相位信息和目标量值响应信息。例如,目标频率相关相位信息(图3B中的目标响应曲线326或图4A中的目标响应404)对应于预先存储的或由相应频率分量的相位值(例如,实际相位响应402,图4A)生成的一组期望的频率相关相位值。在一些实施例中,目标(本文中也被称为“期望的”)频率相关相位信息是相位与频率之间的多项式(例如,线性)关系。例如通过对(实际)提取的相位信息(例如,实际相位响应402,图4A)进行多项式拟合(例如,诸如图4A中所示的直线404-a的直线拟合)或通过使用任意多项式(例如,已知斜率的直线)来获得相位与频率之间的多项式关系。因此,将被理解的是,目标频率相关相位信息是通过以下任一种方式获得的:通过在校准过程中对所提取的相位信息执行曲线拟合(或类似的拟合)生成所述信息,或通过检索预先定义的信息(诸如“目标”多项式或直线)而获得。在一些实施方案中,目标量值响应信息(图3B中的目标响应曲线326或图4B中的目标量值响应414)对应于预先存储的或由相应频率分量的量值(例如,实际量值响应412,图4B)生成的一组期望的频率相关量值。在一些实施例中,所述目标(本文中称之为“期望的”)量值响应信息是相位与频率之间的多项式(例如,对称)关系。

[0098] 在一些实施例中,信号接收器120通过从目标频率相关相位信息中减去提取的相位值来计算(558)相位残余。例如,如图4A所示,通过从目标响应404中减去实际相位响应402来计算相位残余406。在一些实施例中,信号接收器120通过确定提取的量值与目标量值响应信息的比值来计算(559)量值响应残余。例如,如图4B所示,通过用实际量值响应412

(作为被除数)除以目标量值响应414(作为除数)来计算量值残余416。

[0099] 在一些实施例中,信号接收器120从计算出的相位残余和量值响应残余生成(560)一组复值。例如,对于指定的频率而言,如果计算出的相位残余是“0”并且计算出的量值响应残余是“R”,则针对与量值“R”和相位残余“0”相对应的频率生成的复值将具有 $R(\cos\theta + j\sin\theta)$ 的形式。

[0100] 在一些实施方案中,信号接收器120将所述一组复值(例如,复合滤波器响应)从频域变换(562)到时域以产生与有限脉冲响应滤波器(例如,复合FIR314,图3B)相对应的复值时域滤波器系数(例如,FIR系数408,图4A)。在一些实施例中,从频域到时域的变换是例如通过快速傅里叶逆变换(iFFT)方案(例如,iFFT 330,图3B)实施的离散傅里叶逆变换。

[0101] 在一些实施方案中,信号接收器120使初始复值时域滤波器系数与开窗函数(例如,Tukey窗)相乘以产生复值时域滤波器系数。换句话说,变换的步骤包括使初始的一组复值时域滤波器系数乘以开窗函数(例如,开窗332,图3B)以产生与有限脉冲响应滤波器(例如,复合FIR 314,图3B)对应的复值时域滤波器系数(例如,FIR系数408,图4A)。所产生的系数由FIR滤波器在正常工作期间使用以补偿信号接收器处的群延迟失真。

[0102] 根据图5D中所示的方法570,信号接收器(例如,但不限于信号接收器120)接收(572)信号。信号接收器处理(574)在信号接收器处接收到的信号以产生数字化的接收信号。

[0103] 信号接收器根据响应于校准信号发生器(例如,但不限于校准信号发生器230)在信号接收器处的校准信号注入而由补偿机构接收到的数字信号配置(576)信号接收器处的补偿机构(例如,但不限于补偿机构212)。配置步骤包括(578)配置补偿机构以补偿由信号接收器的模拟信号处理电路引入的不一致的群延迟和振幅失真。在一些实施例中,振幅失真包括(579)模拟信号处理电路的量值响应与在预先定义的频率范围内一致的量值响应或与相对于所述预先定义的频率范围的预先定义的中心频率对称的量值响应曲线之间的偏离。例如,如图4B-4C所示,目标量值响应曲线(例如,目标量值响应414和目标量值响应424)相对于预先定义的频率范围的预先定义的中心频率对称。在一些实施例中,配置步骤包括(580)相干地累积与注入的校准信号相对应的数字化的接收信号。在一些实施例中,信号接收器通过执行上文结合方法500描述的额外的步骤(例如,步骤552-564中的所有或一个子集,图5C)来配置(582)补偿机构。在一些实施方案中,例如基于由信号接收器处的数字处理器提供的控制信号在各种情况下及时地(例如,间歇地和/或周期性地)执行配置补偿机构的步骤(576)。

[0104] 信号接收器使用补偿机构补偿(582)数字化的接收信号以产生补偿信号。在一些实施例中,补偿数字化的接收信号的步骤包括(517)在预先定义的频率范围内补偿信号失真,所述预先定义的频率范围包括(L1,E1)1559MHz-1591MHz、或1559MHz-1610MHz,或(L2,L5)1211MHz-1243MHz、或1160MHz-1192MHz。

[0105] 信号接收器处理(586)补偿信号以产生一结果。在一些实施方案中,所述结果包括(588)导航结果。例如,所述结果包括至一个卫星的距离、至多个卫星的距离、导航结果、地理位置、和/或卫星时值。

[0106] 已经参照具体的实施例描述了用于进行说明的以上描述。然而,以上说明书论述不旨在进行穷举或将本发明限制到所公开的具体形式。根据以上教导可以进行许多修改和

改变。选择并描述所述实施例以最好地说明本发明的原理及其实际应用,以从而使本领域技术人员能够最好地利用具有尤其适于所构思的使用的各种修改的本发明和各种实施例。

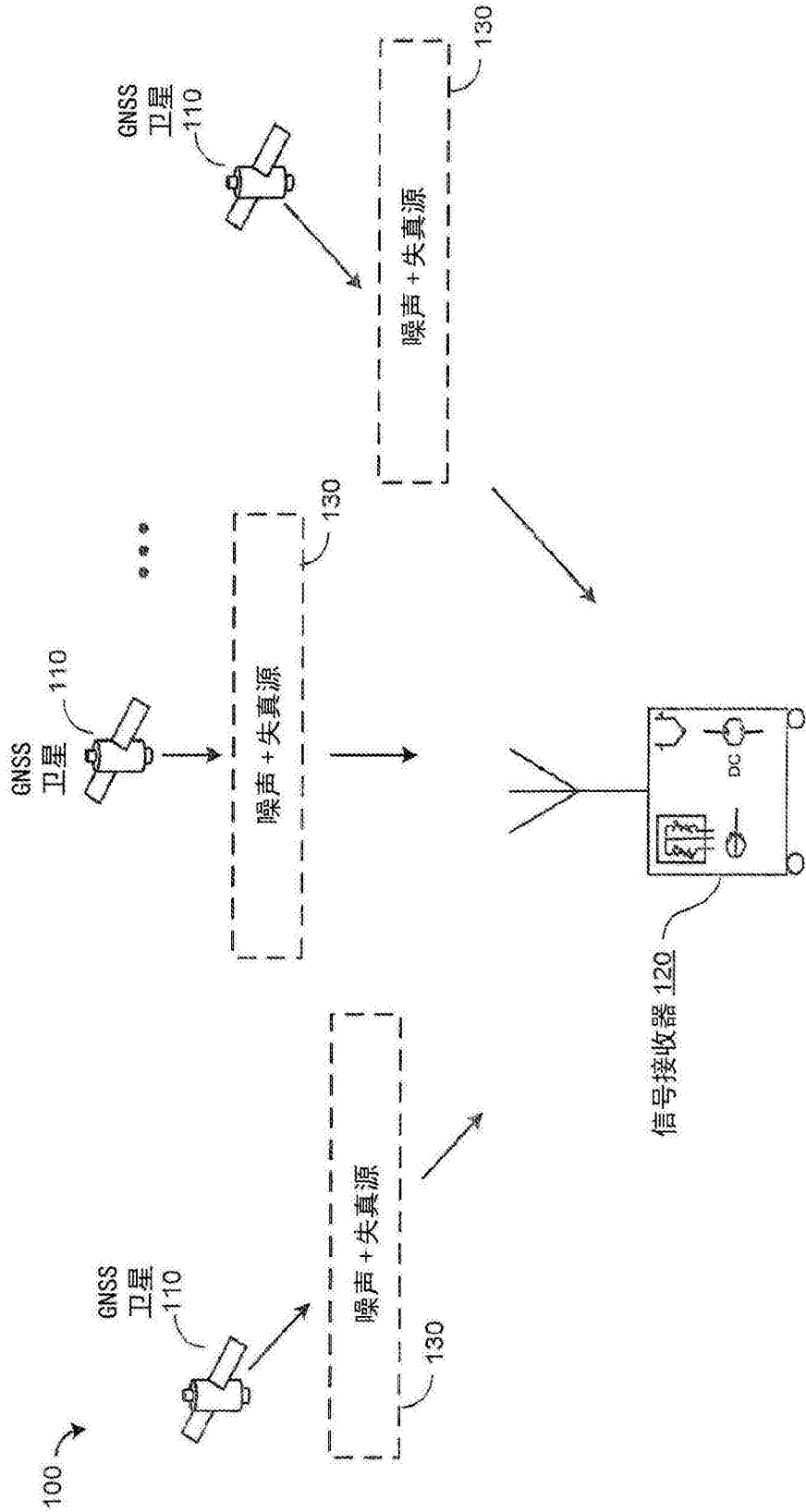


图1

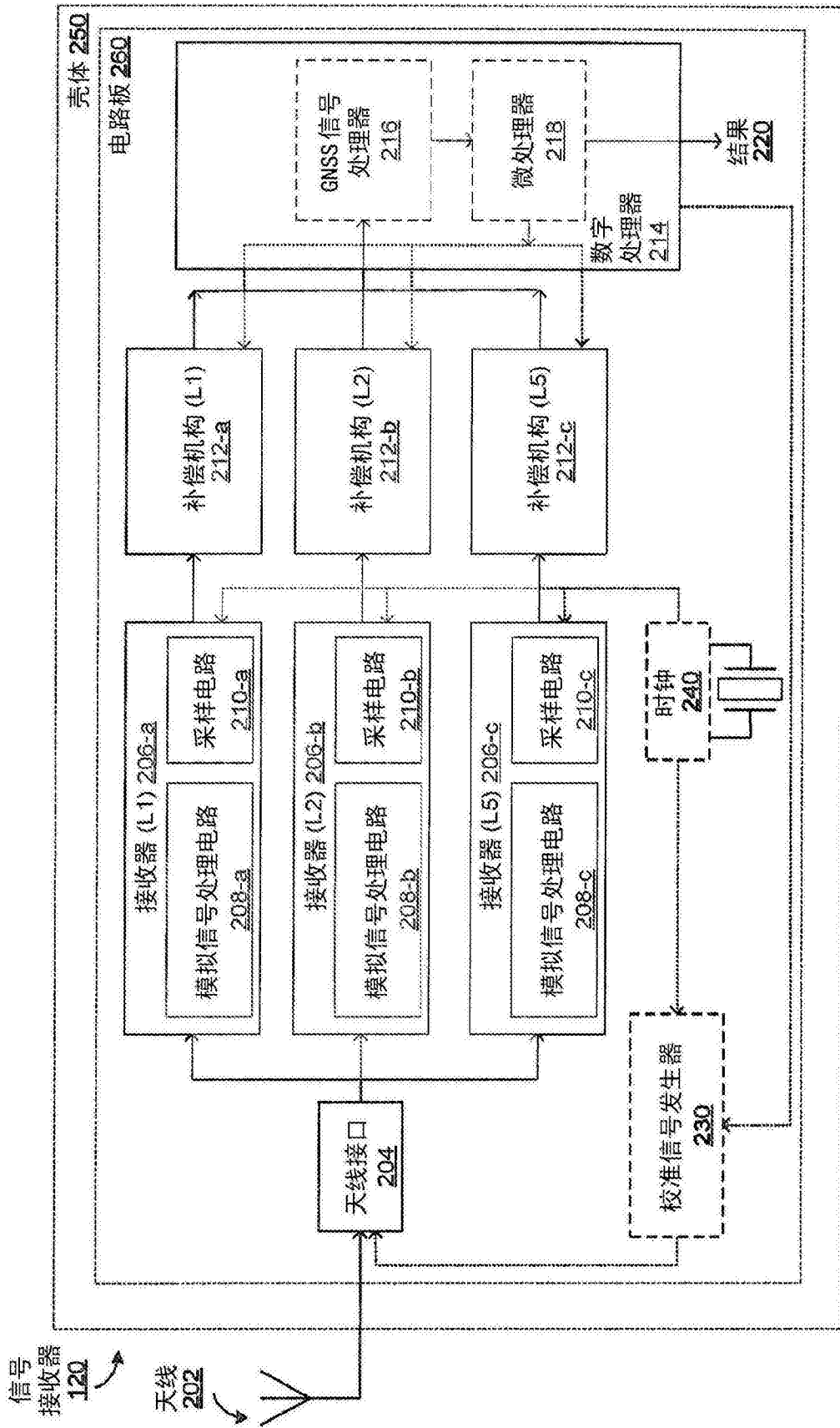


图2

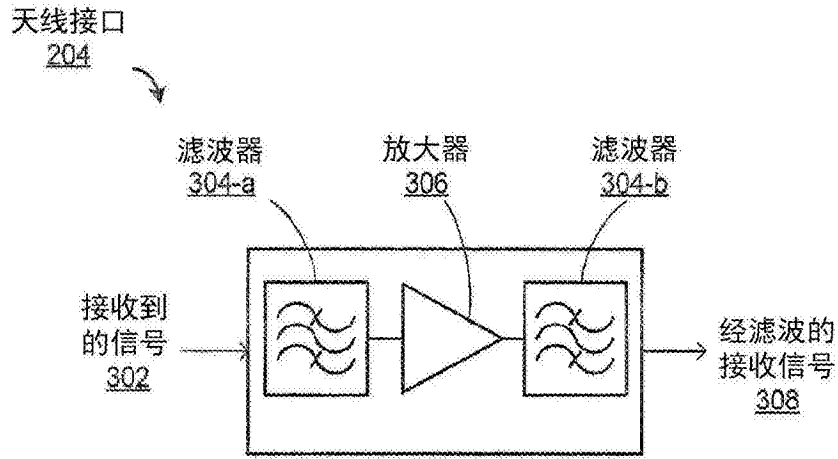


图3A

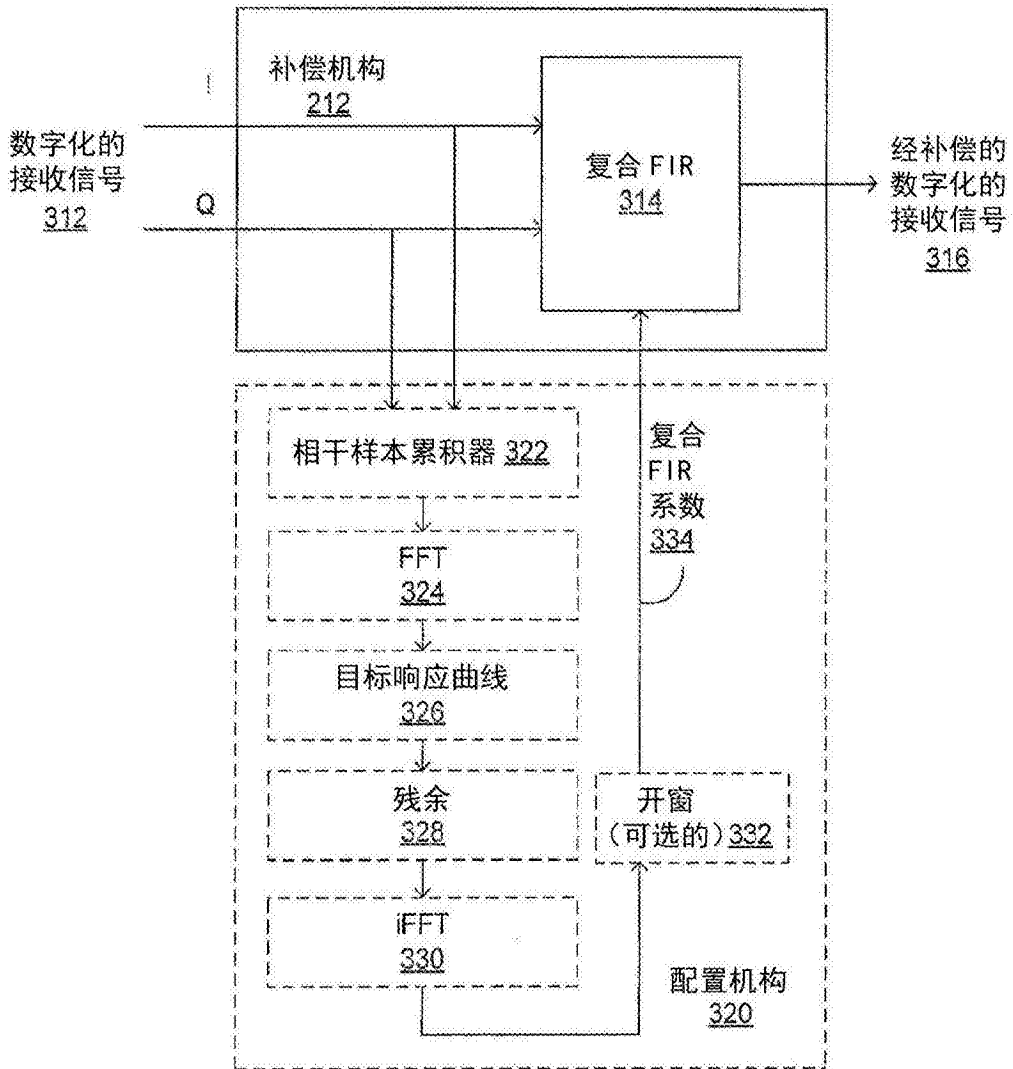


图3B

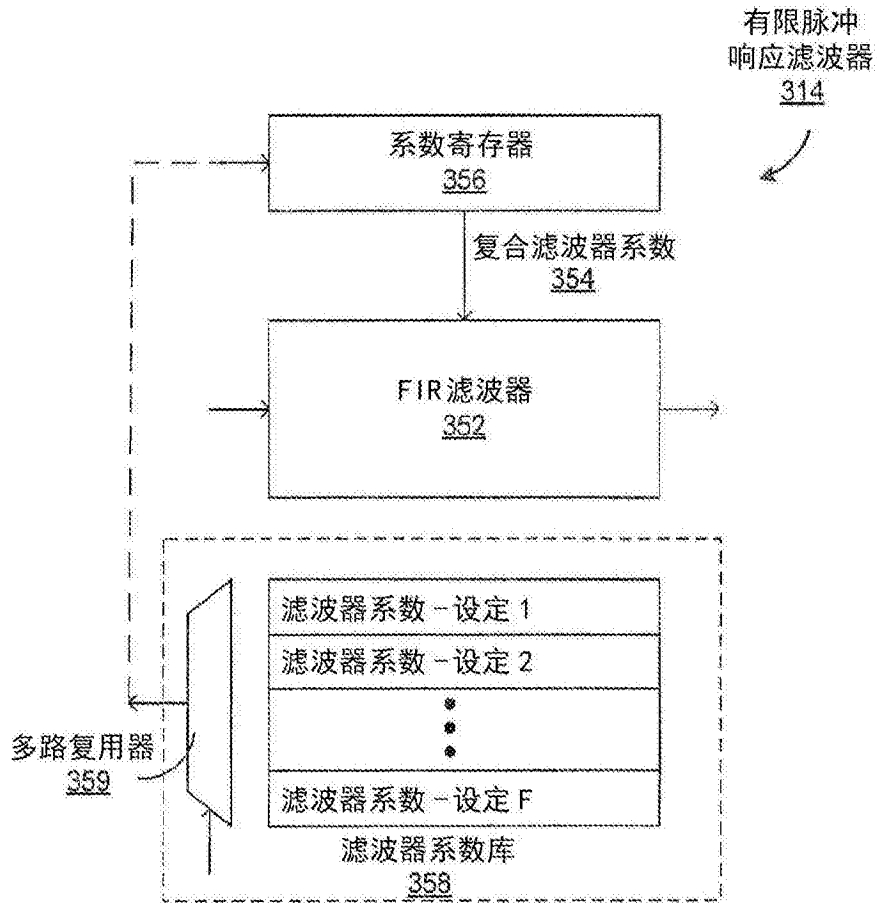


图3C

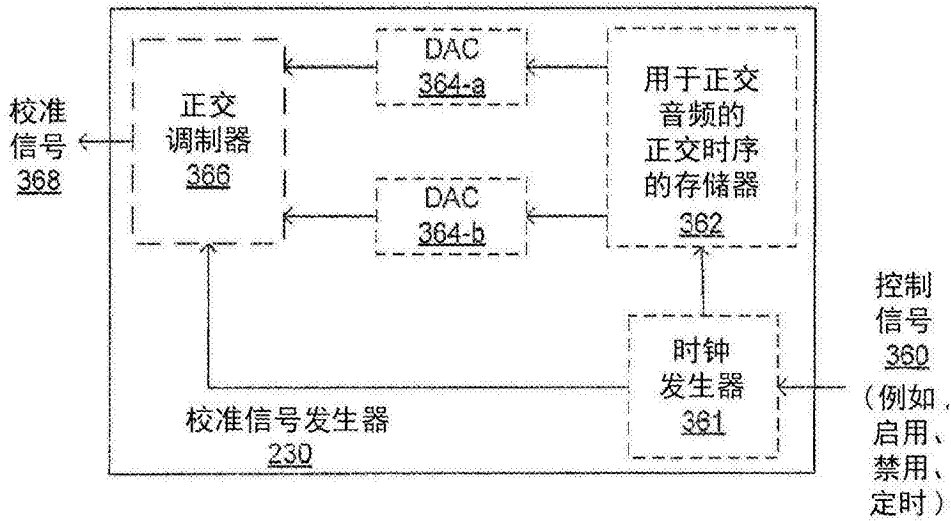


图3D

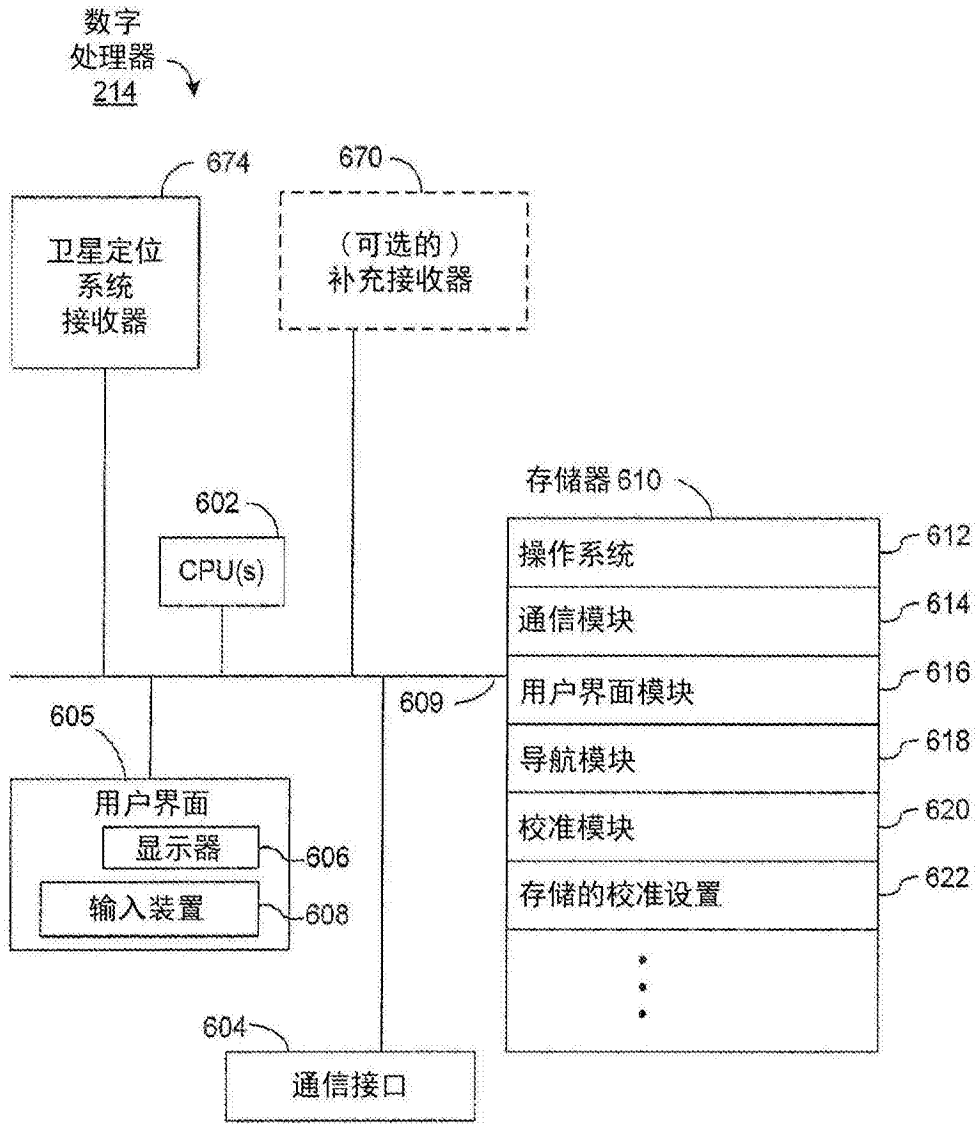


图3F

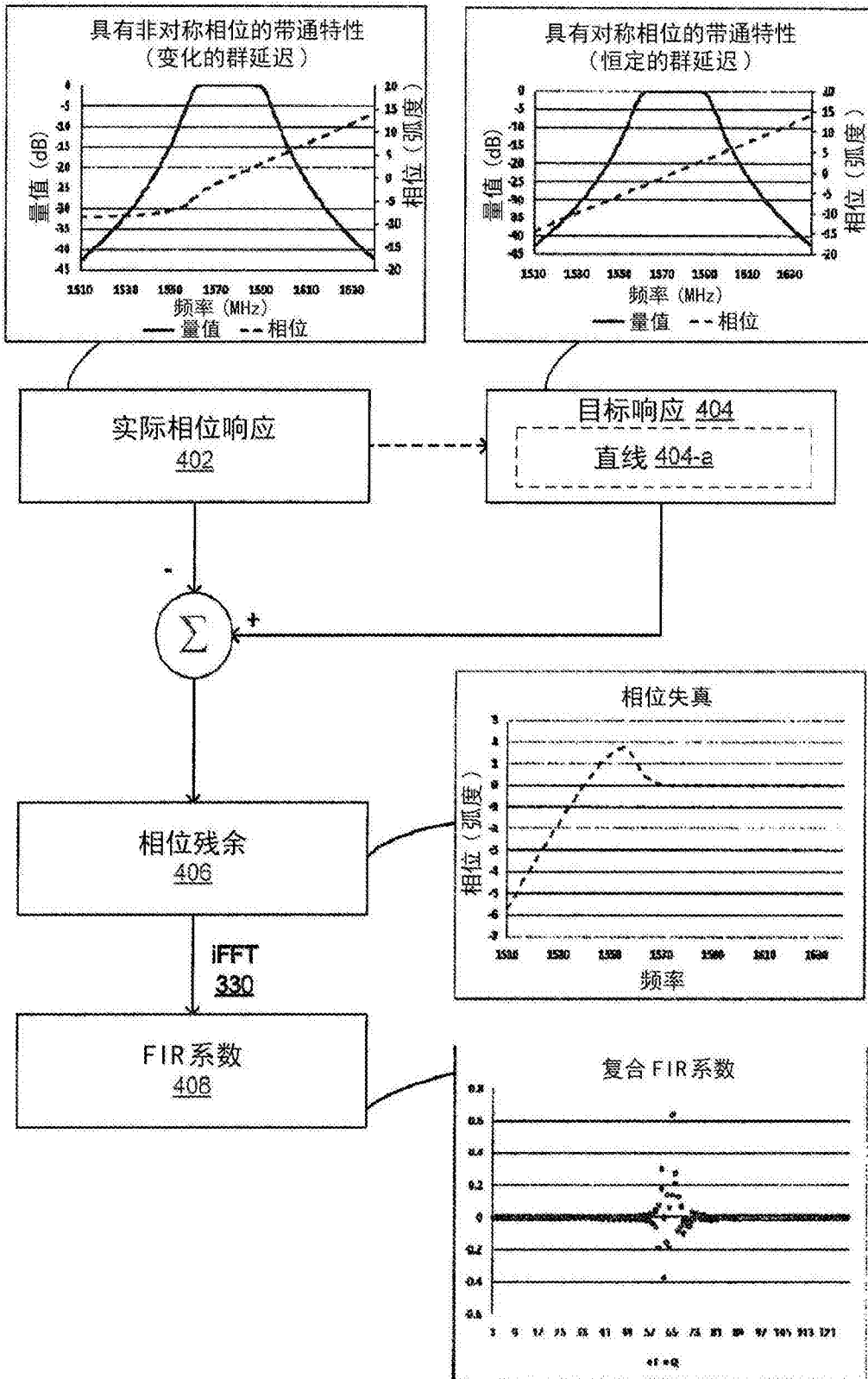


图4A

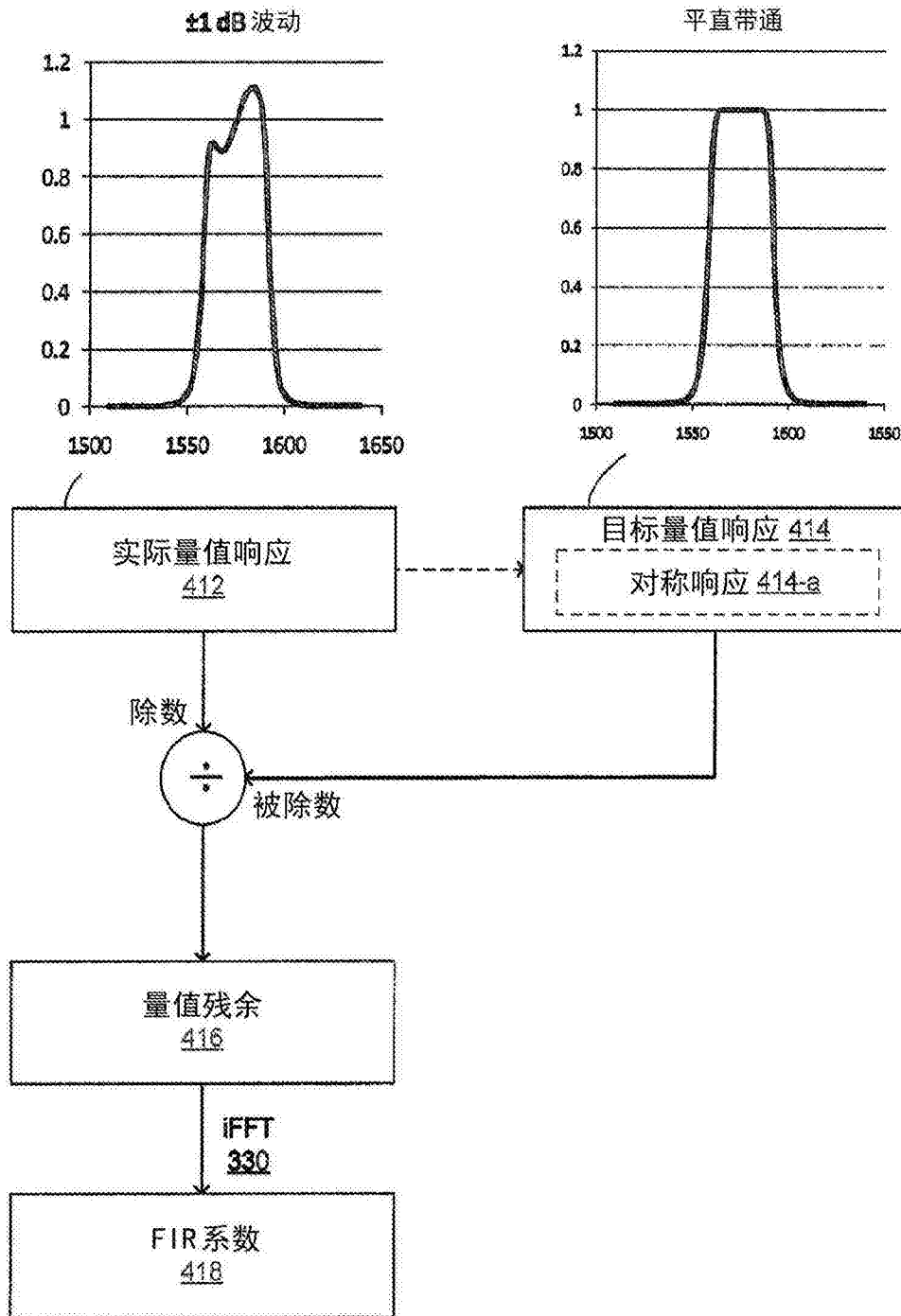


图4B

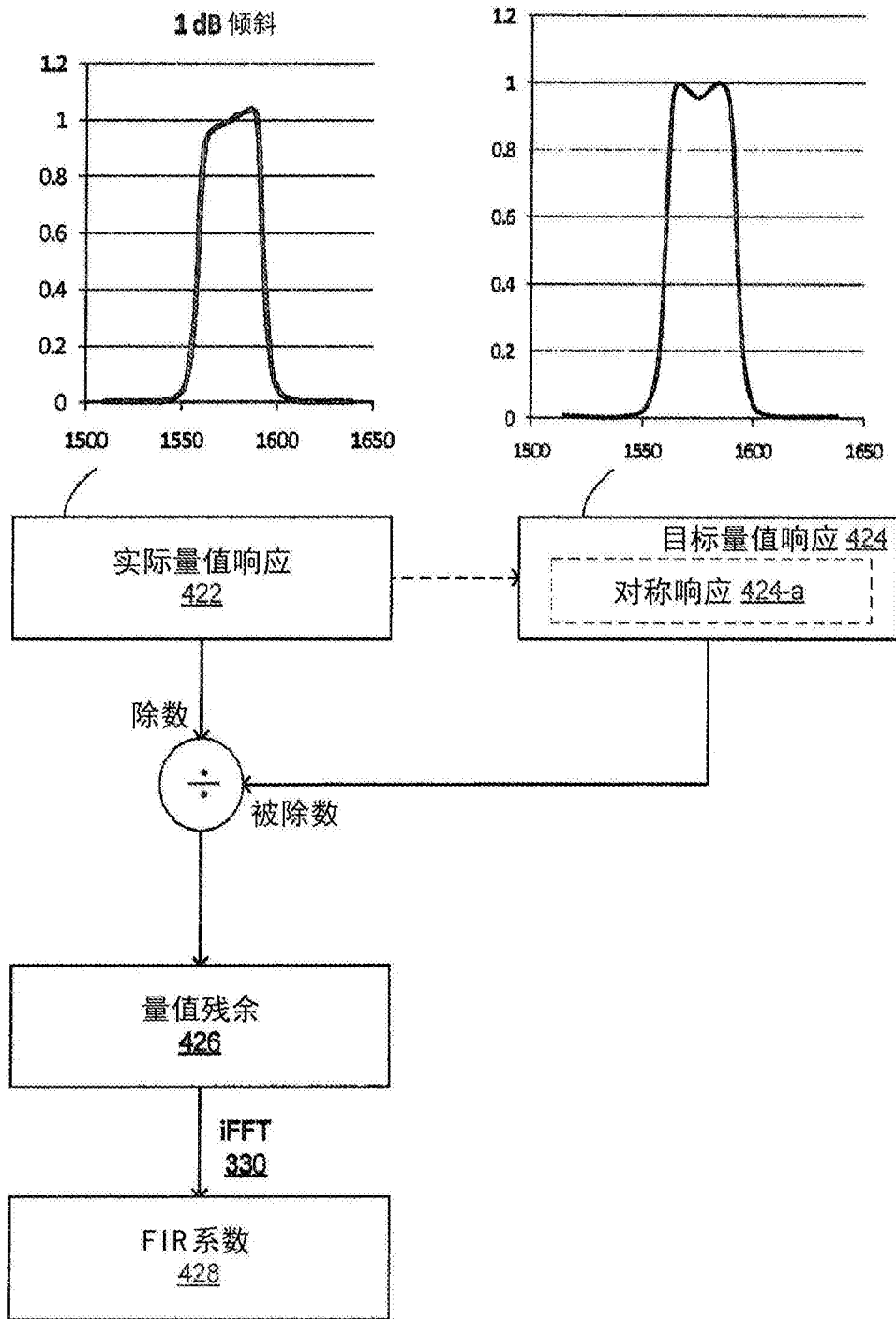


图4C

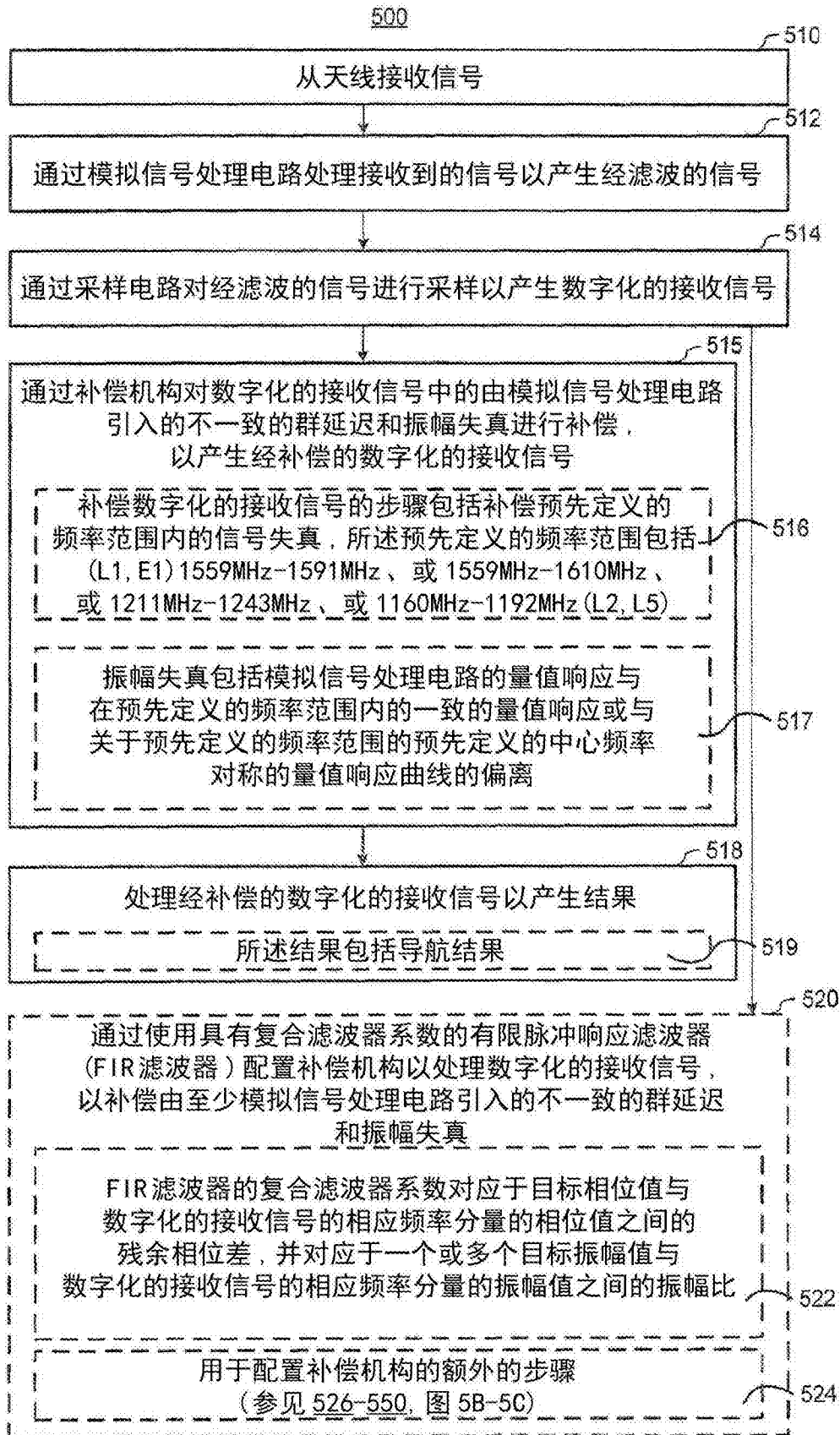


图5A

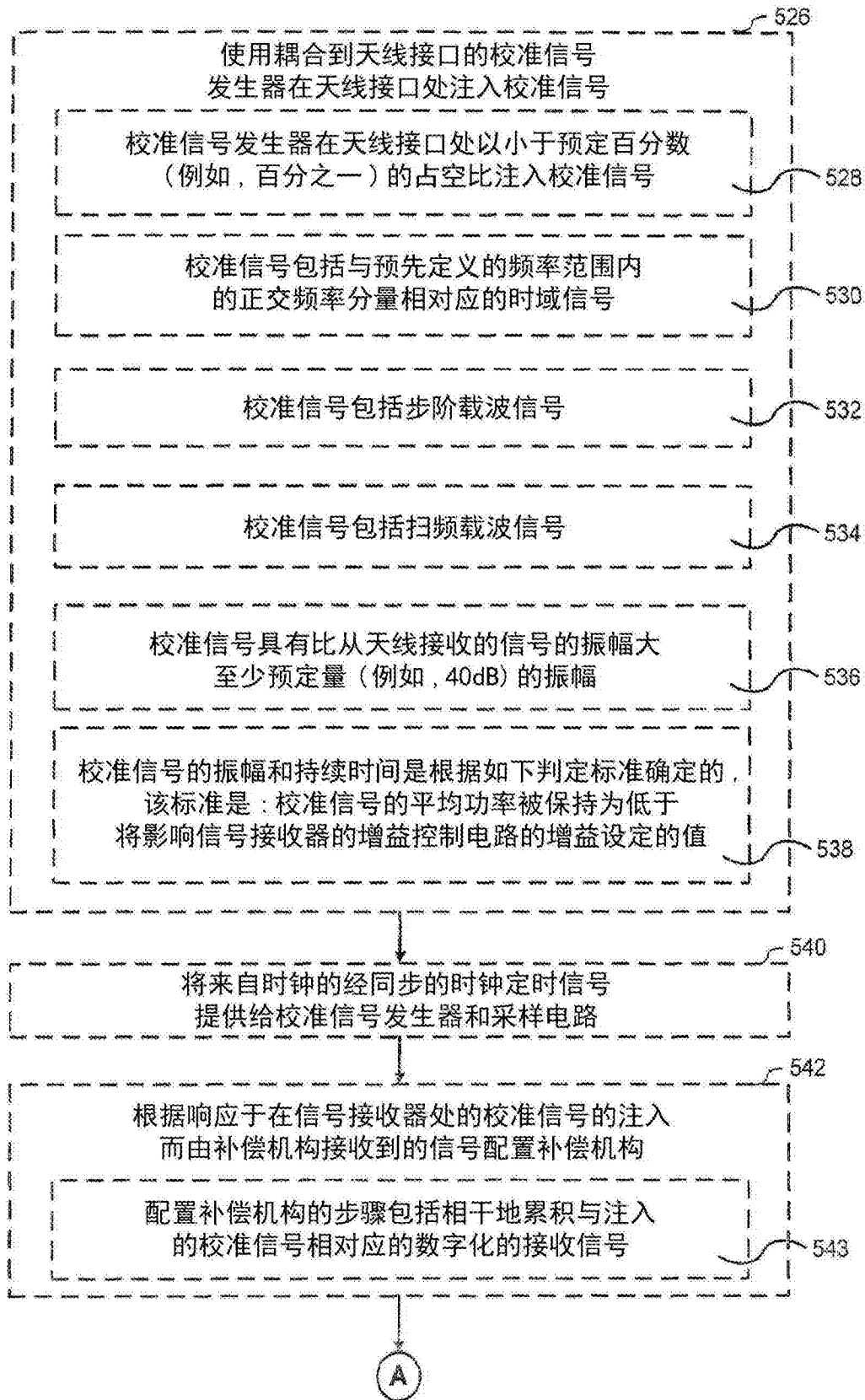


图5B

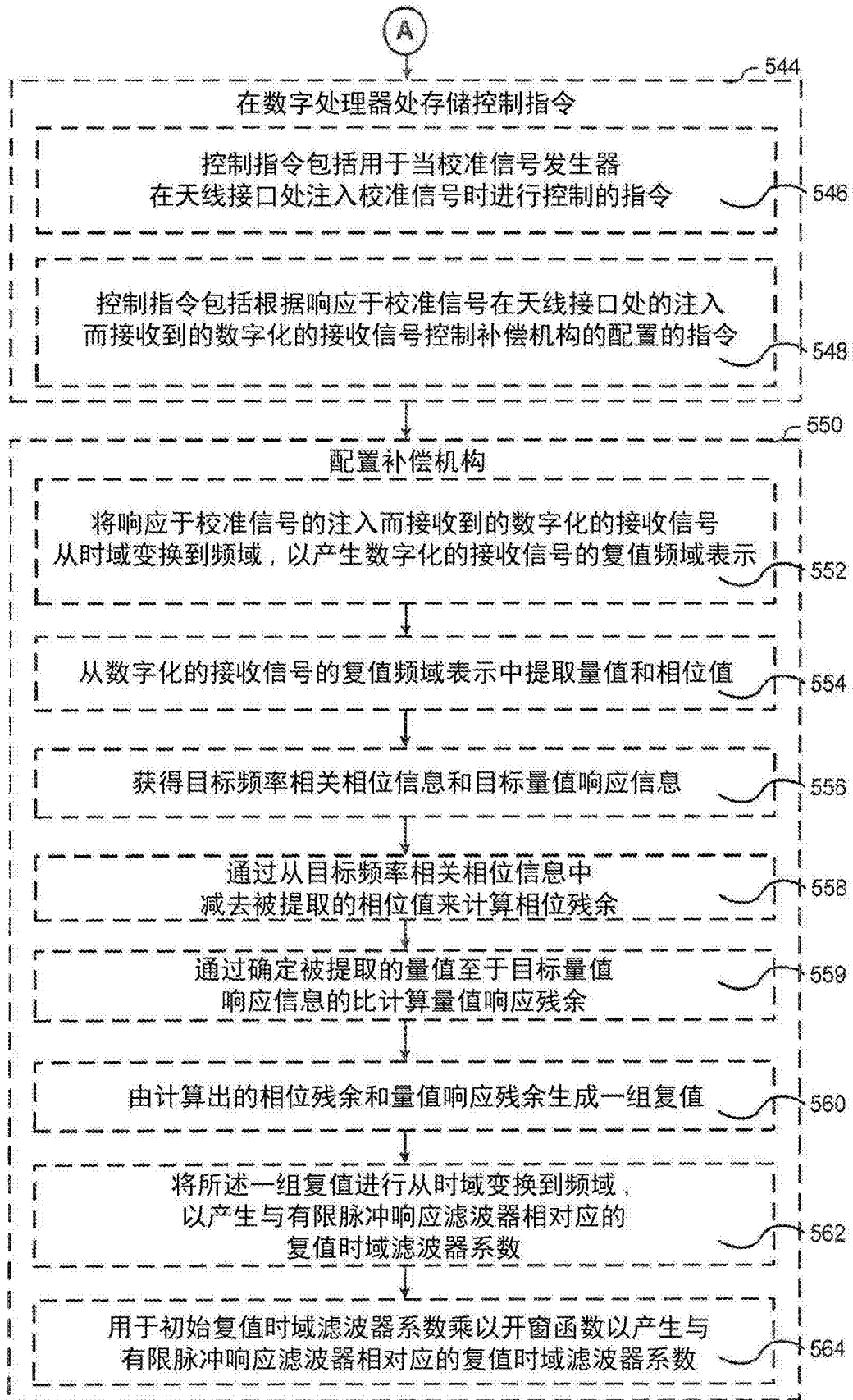


图5C

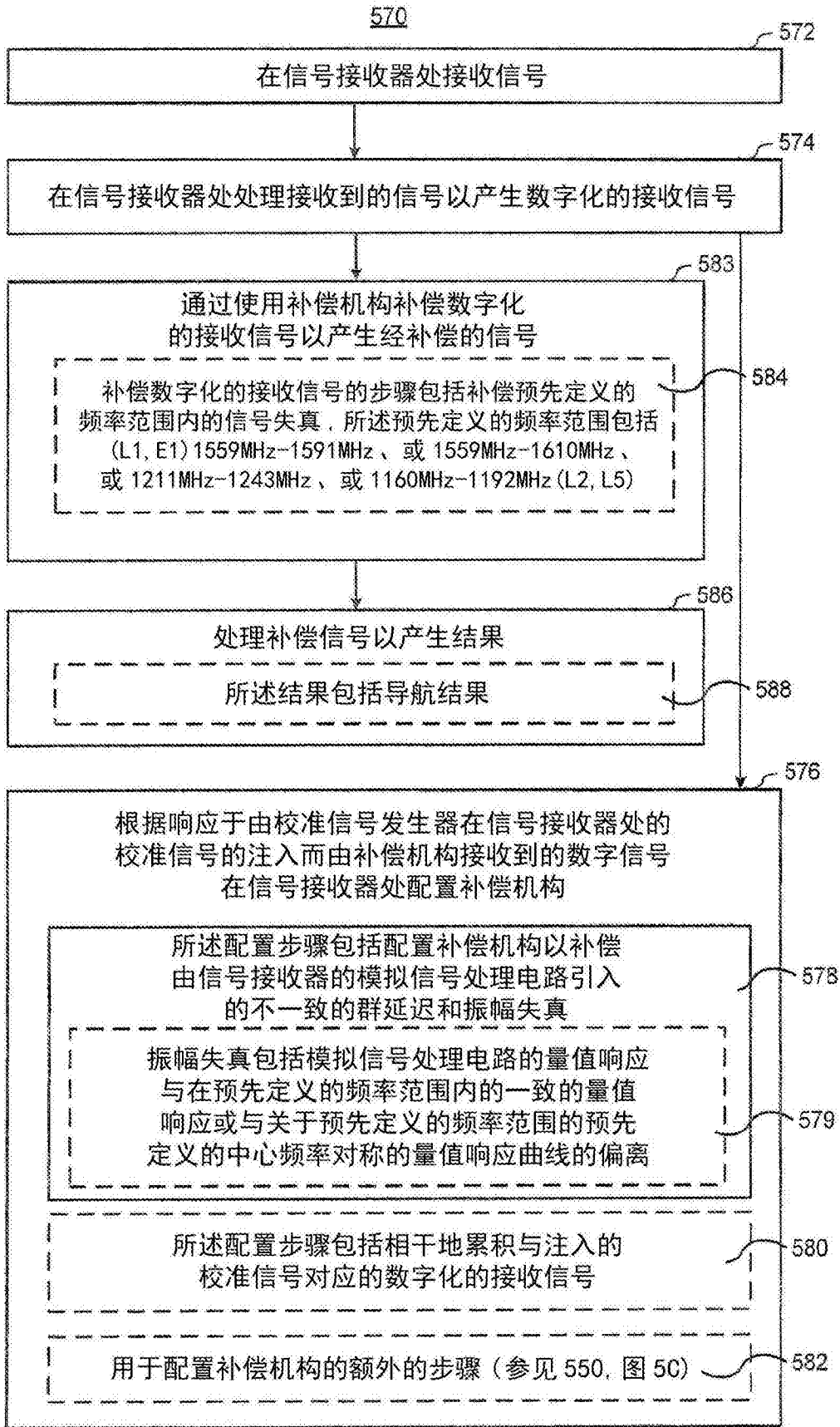


图5D