



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109655820 B

(45) 授权公告日 2024.09.10

(21) 申请号 201810989405.0

(51) Int.Cl.

(22) 申请日 2018.08.28

G01S 13/46 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

G01S 13/72 (2006.01)

申请公布号 CN 109655820 A

(56) 对比文件

(43) 申请公布日 2019.04.19

US 2017003376 A1, 2017.01.05

(30) 优先权数据

审查员 李晶晶

62/571,155 2017.10.11 US

15/840,968 2017.12.13 US

(73) 专利权人 波音公司

地址 美国伊利诺伊州

(72) 发明人 B·K·法伊弗 D·O·艾德瓦尔德

D·S·萨默斯 N·卡尔森

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

专利代理人 黄纶伟

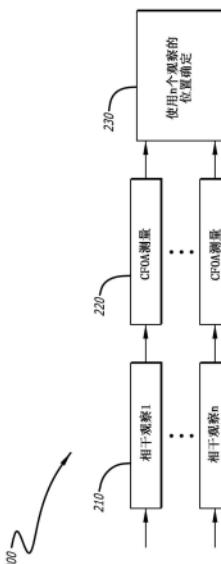
权利要求书2页 说明书13页 附图13页

(54) 发明名称

使用从单个移动平台测量的到达频率的发射器的位置确定

(57) 摘要

使用从单个移动平台测量的到达频率的发射器的位置确定。公开了使用从单个移动平台测量的到达频率 (FOA) 进行发射器的位置确定的系统、方法和设备。在一个或更多个示例中，所公开的系统允许使用相干到达频率 (CFOA) 多普勒历史测量来从移动平台进行静止脉冲射频 (RF) 发射器的位置确定。术语“相干”用于指示该过程需要RF相干脉冲序列，例如由现代雷达生成的脉冲序列。在一个或更多个示例中，所公开的系统采用两种公开的CFOA测量方法（方法1：CFOA相位线性回归 (LRP)，方法2：CFOA互相关频谱 (CCFS)）中的一种。所公开的系统还允许处于已知位置的发射器的地理辨别 (GeoD)，或者另选地，处于未知位置的发射器的地理定位。



1. 一种用于位置确定的方法,该方法包括以下步骤:
由安装在移动平台(110)上的天线(115)接收从多个发射器(120)发送的多个信号(125);
从所述信号(125)识别感兴趣的信号SOI(410);
将所述SOI(410)分割成多个观察段(310);
从所述观察段确定到达频率FOA测量;以及
使用所述FOA测量确定所述多个发射器(120)中发送所述SOI(410)的发射器(120)的位置,

其中,确定所述FOA测量的步骤包括:
将各个观察段(310)下变频(620)以生成下变频的观察段;
将各个下变频的观察段相干地解调(640)以生成解调的观察段;
从各个解调的观察段获得(650)脉冲到相位测量;
将所述脉冲到相位测量展开(660)以生成展开的脉冲序列相位超前(700);
执行线性回归和缩放(670)以确定各个展开的脉冲序列相位超前(700)的斜率;以及
从各个展开的脉冲序列相位超前(700)的斜率(710)确定所述FOA测量(220)。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,当所述发射器(120)处于未知位置时,使用所述FOA测量(220)确定发送所述SOI(410)的发射器(120)的位置的步骤包括:使用所述FOA测量(220)执行地理定位。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中,发送所述SOI(410)的发射器(120)的位置是已知具有与发送所述SOI(410)的发射器(120)相同类型的发射器(120)的位置。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中,符合下列中的至少一个:
所述信号(125)是射频RF信号;以及
所述信号(125)是相干脉冲序列信号(500)和连续波CW信号中的至少一种。
5. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述移动平台(110)是载具。
6. 根据权利要求5所述的方法,其中,所述载具是空中载具、陆地载具或海上载具。
7. 根据权利要求1所述的方法,其中,符合下列中的至少一个:
所述发射器(120)中的每一个是已知类型的发射器(120);
所述天线(115)是反射器天线(115)、多馈天线或相控阵天线;以及
所述FOA测量(220)是相干到达频率测量。

8. 一种用于位置确定的系统,该系统包括:
天线(115),该天线(115)被安装在移动平台(110)上,以接收从多个发射器(120)发送的多个信号(125);以及

处理电路(145),该处理电路(145)被配置为从所述信号(125)识别感兴趣的信号SOI(410),将所述SOI(410)分割成多个观察段(310),从所述观察段(310)确定到达频率FOA测量(220),并使用所述FOA测量(220)确定所述多个发射器(120)中发送所述SOI(410)的发射器(120)的位置,

其中,当所述处理电路(145)被配置为确定所述FOA测量(220)时,所述处理电路(145)还被配置为:将各个观察段(310)下变频(620)以生成下变频的观察段,将各个下变频的观察段相干地解调(640)以生成解调的观察段,从各个解调的观察段获得(650)脉冲到相位测

量,将所述脉冲到相位测量展开(660)以生成展开的脉冲序列相位超前(700),执行线性回归和缩放(670)以确定各个展开的脉冲序列相位超前(700)的斜率(710),并从各个展开的脉冲序列相位超前(700)的斜率(710)确定所述FOA测量(220)。

9.根据权利要求8所述的系统,其中,当所述发射器(120)处于未知位置时,所述处理电路(145)被配置为通过使用所述FOA测量(220)执行地理定位来使用所述FOA测量(220)确定发送所述SOI(410)的发射器(120)的位置。

10.根据权利要求8所述的系统,其中,所述移动平台(110)是载具。

11.根据权利要求10所述的系统,其中,所述处理电路(145)位于所述载具上或所述载具以外的不同位置处。

12.根据权利要求8至10中任一项所述的系统,其中,所述处理电路(145)包括处理器、下变频器、滤波器、解调器、快速傅里叶变换处理器、插值器和模数转换器ADC中的至少一者。

使用从单个移动平台测量的到达频率的发射器的位置确定

技术领域

[0001] 本公开涉及发射器的位置确定。具体地讲,涉及使用从单个移动平台测量的到达频率(FOA)的发射器的位置确定。

背景技术

[0002] 频率的精确测量是定位过程的必要组成部分。对于发射脉冲信号的发射器来说这是困难的,因为各个脉冲通常不够长,不足以允许以足以支持确定发射器位置的精度来进行频率测量。因此,需要一种改进的用于发射器的位置确定的技术。

发明内容

[0003] 本公开涉及一种使用从单个移动平台测量的到达频率(FOA)来进行发射器的位置确定的方法、系统和设备。在一个或更多个示例中,所公开的系统允许使用相干到达频率(CFOA)多普勒历史测量来从移动平台进行静止脉冲射频(RF)发射器的位置确定。术语“相干”在本文中用于指示该过程需要RF相干脉冲序列,例如由现代雷达生成的脉冲序列。在一个或更多个示例中,所公开的系统采用两种公开的CFOA测量方法(方法1:CFOA相位线性回归(LRP),方法2:CFOA互相关频谱(CCFS))中的一种。

[0004] 在一个或更多个示例中,一种用于位置确定的方法包括由安装在移动平台上的天线接收从多个发射器发送的多个信号。该方法还包括从信号识别感兴趣的信号(SOI)。另外,该方法包括将SOI分割成多个观察(look)段。另外,该方法包括从观察段确定到达频率(FOA)测量(例如,相干到达频率(CFOA)测量)。此外,该方法包括使用FOA测量来确定多个发射器中发送SOI的发射器的位置。

[0005] 在至少一个示例中,一种用于位置确定的系统包括天线,其被安装在移动平台上,以接收从多个发射器发送的多个信号。此外,该系统包括处理器,其被配置为从信号识别感兴趣的信号(SOI),将SOI分割成多个观察段,从观察段确定到达频率(FOA)测量(例如,相干到达频率(CFOA)测量),并且使用FOA测量来确定多个发射器中发送SOI的发射器的位置。

[0006] 特征、功能和优点可在本公开的各种示例中独立地实现,或者可在其它示例中组合。

附图说明

[0007] 关于以下描述、所附权利要求和附图,本公开的这些和其它特征、方面和优点将变得更好理解,附图中:

[0008] 图1A是示出根据本公开的至少一个示例的所公开的使用从单个移动平台测量的到达频率(FOA)进行发射器的位置确定的系统的图。

[0009] 图1B是示出根据本公开的至少一个示例的所公开的使用从单个移动平台测量的到达频率(FOA)进行发射器的位置确定的系统的示例性硬件的图。

[0010] 图2是示出根据本公开的至少一个示例的所公开的位置确定处理的高级例示的

图。

[0011] 图3是示出根据本公开的至少一个示例的包括若干观察(即,相干到达频率(CFOA)测量)的多普勒历史的图。

[0012] 图4是示出根据本公开的至少一个示例的利用一个接收器监测一个或两个感兴趣的信号(SOI)的示例性观察时间表的图。

[0013] 图5是示出根据本公开的至少一个示例的仅使用复包络样本(CES)重构的示例性复脉冲序列观察的大小的曲线图。

[0014] 图6是示出根据本公开的至少一个示例的使用相位线性回归(LRP)的脉冲发射器的相干到达频率(CFOA)估计的图。

[0015] 图7是示出根据本公开的至少一个示例的使用脉冲序列相位超前的示例性估计的CFOA的曲线图。

[0016] 图8是示出根据本公开的至少一个示例的使用频率功率谱的互相关(CCFS)的CFOA估计的图。

[0017] 图9是示出根据本公开的至少一个示例的脉冲序列观察的快速傅里叶变换(FFT)的示例性功率谱的曲线图。

[0018] 图10是示出根据本公开的至少一个示例的图9的功率谱的互相关的曲线图。

[0019] 图11是示出根据本公开的至少一个示例的第一观察的自相关谱与第一观察和另一观察的互相关谱的比较的曲线图。

[0020] 图12是示出根据本公开的至少一个示例的辨别统计分布和决策逻辑的曲线图。

具体实施方式

[0021] 本文所公开的方法和设备提供了一种使用从单个移动平台测量的到达频率(FOA)进行发射器的位置确定的操作系统。在一个或更多个示例中,本公开的系统允许使用相干到达频率(CFOA)多普勒历史测量从移动平台进行固定脉冲射频(RF)发射器的位置确定,其允许已知位置处的发射器的地理辨别(GeoD)或者另选地,未知位置处的发射器的地理定位。在至少一个示例中,本公开提供用于参考由移动平台提供的移动参考系来确定静止发射器的位置。术语“相干”在本文中用于指示该过程需要RF相干脉冲序列,例如由现代雷达生成的脉冲序列。

[0022] 如上面先前提及的,频率的精确测量是定位过程的必要组成部分。对于脉冲信号来说这是困难的,因为各个脉冲通常不够长,不足以允许以支持发射器位置确定所需的精度进行频率测量。公开了提供所需测量精度的两种互补的相干到达频率(CFOA)测量方法。这两种CFOA方法是:(1)方法1:CFOA相位线性回归(LRP),其对随机脉冲间隔来说更为通用和必要,但需要任何有意的脉冲内调制的解调;(2)方法2:CFOA互相关频谱(CCFS),其利用了相干脉冲信号的谱线结构并且不需要脉冲内解调,但需要脉冲间隔的一致周期性序列。

[0023] 这两种方法均可通过大大减小的处理带宽(需要不大于脉冲重复频率(PRF)的小倍数)实现。好处在于信号缓冲区大小和计算负荷减小,且几乎不会有损测量精度。

[0024] 本公开还提供了一种从一组已知的可能发射器位置区分发射器位置的地理辨别(GeoD)技术。该GeoD方法采用了从移动平台测量的信号的多普勒历史与候选位置(即,已知发射相同信号的位置)的计算的多普勒历史的统计模式匹配。该方法利用了多普勒频移原

理并且不需要绝对知道发射器的频率。与特定射频(RF)处的发射器关联的多普勒历史通常对于发射器的位置来说是唯一的。当与高多普勒测量精度组合时,所公开的统计模式匹配方法揭示了发射器的真实位置。应该注意,尽管本公开仅考虑用于GeoD的脉冲信号,但所公开的技术同样适用于连续波(CW)信号。

[0025] 在以下描述中,阐述了许多细节以便提供对系统的更彻底的描述。然而,对于本领域技术人员而言将显而易见的是,所公开的系统可在没有这些具体细节的情况下实践。在其它情况下,公知特征没有详细描述,以免不必要地模糊该系统。

[0026] 本文中可从功能和/或逻辑组件和各种处理步骤方面描述本公开的示例。应该理解,这些组件可通过被配置为执行指定功能的任何数量的硬件、软件和/或固件组件来实现。例如,本公开的示例可采用可在单个或多个处理器、微处理器或其它控制装置的控制下执行各种功能的各种集成电路组件(例如,存储器元件、数字信号处理元件、逻辑元件、查找表等)。另外,本领域技术人员将理解,本公开的示例可结合其它组件来实践,并且本文所描述的系统仅仅是本公开的一个示例。

[0027] 为了简明起见,与位置确定系统有关的传统技术和组件以及系统的其它功能方面(以及系统的各个操作组件)在本文中可能没有详细描述。此外,本文所包含的各种图中所示的连线旨在表示各种元件之间的示例功能关系和/或物理联接。应该注意,在本公开的示例中可能存在许多另选或附加功能关系或物理连接。

[0028] I. 使用CFOA的位置确定

[0029] 图1A是示出根据本公开的至少一个示例的所公开的使用从单个移动平台测量的到达频率(FOA)进行发射器的位置确定的系统的图100。特别是,该图示出了可用作所公开的系统的移动平台的示例性载具(即,飞行器110)。应该注意,在另选示例中,如图1A所示的飞行器110以外的载具也可用于所公开的系统的移动平台。可用于移动平台的其它类型的载具包括(但不限于)陆地载具(例如,卡车或坦克)、海上载具(例如,船或舟)以及其它类型的空中载具(例如,诸如低地球轨道(LEO)卫星、中地球轨道(MEO)卫星和地球静止轨道(GEO)卫星的卫星)。

[0030] 在该图中,示出了飞行器110和多个发射器(例如,发送天线)120a、120b、120c、120d。飞行器110包括接收天线115和接收器(参照图1B的140)以接收射频(RF)信号。接收天线115被安装到飞行器110上,飞行器110用作接收天线115的移动平台。移动平台(即,飞行器110)提供移动参考系以用于确定静止发射器120a、120b、120c、120d。对于天线115,系统可采用各种不同类型的天线,包括(但不限于)反射器天线、多馈天线和相控阵天线。在一个或更多个示例中,天线115可包括一个或更多个天线。在至少一个示例中,发射器120a、120b、120c、120d是静止的并且处于已知位置处(例如,地面上或固定建筑物上的已知位置处)。在其它示例中,发射器120a、120b、120c、120d是静止的并且处于未知位置处。在一个或更多个示例中,该系统包括至少两个发射器120a、120b、120c、120d。在至少一个示例中,系统可包括比图1A中所示更多或更少的发射器120a、120b、120c、120d。

[0031] 在一个或更多个示例中,发射器120a、120b、120c、120d为已知类型,具有相同的信号参数。例如,发射器120a、120b、120c、120d可以非常特定的频率发送信号,这些频率允许识别用于发射器120a、120b、120c、120d的特定类型的发送器(例如,已知以特定频率发送的商业现货(COTS)发送器)。

[0032] 在所公开的系统的操作期间,当飞行器110在地球上空移动时,飞行器110上的接收天线115接收从静止发射器120a、120b、120c、120d发送的射频(RF)信号125a、125b、125c、125d。在一个或更多个示例中,信号125a、125b、125c、125d是RF相干脉冲序列(即,包括许多脉冲)信号。在另选示例中,信号125a、125b、125c、125d是连续波(CW)信号。

[0033] 然后,由飞行器110上的接收器(参照图1B的140)接收信号125a、125b、125c、125d。处理电路(参照图1B的145)利用所公开的至少一个CFOA方法来处理信号125a、125b、125c、125d,以确定发射感兴趣的信号(SOI)(例如,信号125a、125b、125c或125d之一)的发射器(即,120a、120b、120c或120d)的位置。

[0034] 图1B是示出根据本公开的至少一个示例的所公开的使用从单个移动平台测量的到达频率(FOA)进行发射器的位置确定的系统的示例性硬件的图130。在该图中,示出了天线115、接收器140和处理电路145。处理电路145包括各种不同类型的单元以处理信号125a、125b、125c、125d。处理电路145可包括的各种不同类型的单元包括(但不限于)至少一个处理器150、至少一个下变频器155、至少一个滤波器160、至少一个解调器165、至少一个快速傅里叶变换(FFT)处理器170、至少一个相关器175、至少一个插值器180和至少一个模数转换器(ADC)185。应该注意,在一些示例中,至少一个处理器可简单地用于处理电路145的一些单元(例如,插值器180)。

[0035] 处理电路145可与飞行器110上的接收器140共同定位,或者可被定位于通过至少一个通信信道链接到接收器140的单独位置处,所述通信信道至少传递来自信号125a、125b、125c、125d的最小必要数据以用于进行处理。图2中示出端到端处理链。

[0036] 图2是示出根据本公开的至少一个示例的所公开的位置确定处理的高级例示的图200。该图示出了用于定位处理的高级过程,其包括(1)相干观察生成210、(2)多普勒CFOA测量220和(3)位置确定230。在该图中,首先执行相干观察生成210,其包括由至少一个处理器检测、捕获和隔离感兴趣的信号(SOI);以及由至少一个处理器将SOI的信号分割成n个“观察”段,其中n大于一。然后,执行多普勒CFOA测量220(或多普勒FOA测量),其包括针对各个“观察”进行CFOA测量(或FOA测量)。然后,执行位置确定230,其包括使用统计辨别过程(称为地理辨别(GeoD))将已知类型的所检测发射器的所测量的多普勒FOA历史与相同发射器类型的已知位置的所计算的多普勒历史进行比较,或者另选地,执行处于未知位置的所检测发射器的地理定位。下面更详细地描述这三个过程(即,(1)相干观察生成210、(2)多普勒CFOA测量220和(3)位置确定230)。

[0037] A. 相干观察生成

[0038] 在相干观察生成过程期间,接收器接收从发射器发送的信号。然后,接收器向处理电路发送至少来自信号的最小必要数据,以便于处理电路能够执行处理。然后,处理电路对信号进行检测、参数化、解交织(根据需要)、然后分类和识别(例如,识别哪一信号是感兴趣的信号(SOI))。

[0039] 应该注意,接收器利用了宽带宽前端,其选择(例如,通过由带通滤波器(BPF)滤波)适合于感兴趣的信号(SOI)的通带。由于频率测量本质上是窄带过程,所以不需要在大于脉冲重复频率(PRF)和反脉冲持续时间中的较大者的小倍数的带宽中收集信号。这大大减少了需要存储、传送和处理的数据量。

[0040] 然后,在识别并隔离SOI之后,在SOI的总观测时间(称为停留周期)320(参照图3)

上,SOI数据由至少一个处理器分成多个单独相干的“观察”310a、310b、310c、310d、310e,从其测量到达频率(FOA)并用于确定作为时间的函数的多普勒频移(即,FOA(或多普勒)历史)。图3是示出根据本公开的至少一个示例的包括若干观察310a、310b、310c、310d、310e(即,相干到达频率(CFOA)测量)的多普勒历史的图300。

[0041] 图4是示出根据本公开的至少一个示例的利用一个接收器监测一个感兴趣的信号(SOI)410或两个感兴趣的信号(SOI)420的示例性观察时间表的图400。如该图所示,停留(例如,10秒)415、425被划分成1秒或更短的5个或更多个“观察”(根据CFOA的需要)。对于各个观察,进行FOA测量。各个观察的可能持续时间由驻留415、425的上端的频率测量精度要求以及在驻留(例如,大致10个脉冲)415、425的下端观测到不同谱线结构所需的脉冲数界定。

[0042] 所需频率精度由操作要求确定,包括(但不限于)平台视场(FOV)中感兴趣的发射器的位置、平台速度和平台高度。频率测量精度存在理论极限,通常被称为Cramer-Rao下界。在这种情况下,频率测量的精度极限与观测时间成反比,并且与信噪比(SNR)的平方根成反比。因此,延长测量观测时间(即,观察持续时间)就必须使用多个观察。

[0043] 1.脉冲信号的相干FOA

[0044] 应该注意,相干FOA(CFOA)是指测量包括许多脉冲的RF相干脉冲序列的基础载波信号的频率的过程。RF相干性是一种信号性质,意指RF脉冲序列在基带处生成(包括任何脉冲内调制)并且被相干地转换为操作RF以用于传输,其中脉冲之间的随机相位偏差是弧度的一小部分。这种类型的信号由现代电子和信号处理组件实现,如今常用在所有类型的雷达中,但是尤其用在为了检测移动目标、测量目标速度并通过合成孔径技术成像而测量多普勒的那些雷达中。

[0045] CFOA的实现方式需要另外考虑接收器系统的设计。典型的电子支援措施(ESM)接收系统在观察期间不存储整个信号。它们可仅从包括RF、脉冲持续时间、脉冲重复频率(PRF)等的脉冲参数方面存储脉冲的描述。该描述在历史上称为脉冲描述符字(PDW)。但是,为了执行CFOA,假设脉冲序列为RF相干的,需要附加信息以确定脉冲序列上的基础载波信号的相位超前。与PDW捆绑的脉冲的附加精确时间标记的预检测的复(同相和正交)包络样本(CES)用于重构原始信号的脉冲序列(参照图5)。然后在CES和PDW数据中完全且精确地捕获包括RF脉冲序列的雷达信号,其在后续处理中用于相干地重构复信号(参照图5)并用于测量FOA(多普勒)历史。图5是示出根据本公开的至少一个示例的仅使用复包络样本(CES)重构的示例性复脉冲序列观察的大小的曲线图500。在该曲线图上,x轴表示时间,y轴表示信号幅度。

[0046] B.多普勒CFOA测量

[0047] 公开了以下方法以通过相干地处理所有单独的脉冲相位信息来确定观察的多普勒FOA。对于每种方法,使用捕获的复包络样本(CES)以及来自观察的各个脉冲的关联时间标签来相干地重构各个观察上的预检测复脉冲序列(参照图5)。

[0048] 1.方法1:通过相位线性回归(LRP)的CFOA

[0049] 图6中示出用于通过相位线性回归(LRP)的CFOA的系统和过程。图6是示出根据本公开的至少一个示例的使用相位线性回归(LRP)的脉冲发射器的相干到达频率(CFOA)估计的图600。

[0050] 在该图中,首先,由下变频器将各个观察610a、610b、610c、610n的重构信号下变频620a、620b、620c、620n为接近零的频率,并且由至少一个处理器确定脉冲内调制(如果有的话)的类型。然后由模数转换器(ADC)将模拟的下变频信号数字化630a、630b、630c、630n以生成数字信号。

[0051] 然后,如果需要,由解调器640a、640b、640c、640n将信号的脉冲相干地解调。在线性调频(LFM)脉冲的情况下,以测量的啁啾率将整个预检测复脉冲序列信号相干地去啁啾。对于二进制相移键控(BPSK)相位调制脉冲,整个预检测复脉冲序列信号被平方以恢复基础载波信号。如果脉冲未被调制,则不需要解调。

[0052] 然后,由至少一个处理器从所得信号获取脉冲到脉冲相位测量650a、650b、650c、650n。然后由至少一个处理器将相位测量的模负二 π (-2 π)模糊度展开660a、660b、660c、660n(参照图7)。从展开的脉冲序列相位超前,然后由至少一个处理器执行线性回归(例如,最小二乘拟合)和缩放670a、670b、670c、670n,以确定观察时间上的展开的脉冲序列相位超前的斜率。

[0053] 图7是示出根据本公开的至少一个示例的使用脉冲序列相位超前的示例性估计的CFOA的曲线图700。在该图上,x轴表示时间,y轴表示相位。还示出与曲线图700关联的脉冲序列包络720(表示出其脉冲重复间隔(PRI))。

[0054] 应该注意,图7的曲线图700是概念上的,并未精确地说明脉冲之间的实际时间,这意味着对于低占空因子脉冲序列,脉冲间展开会成问题。为了减轻此问题,可采用调谐直方图的复杂用途以在线性回归之前分离出模糊度。CFOA测量(即, $\Delta\varphi/2\pi\Delta T$,其中 $\Delta\varphi$ 是相位变化, ΔT 是时间变化)是在整个观察持续时间期间拟合到相位超前的线的斜率710,如图7所示。

2. 方法2:通过互相关频谱(CCFS)的CFOA

[0056] 图8中示出用于通过互相关频谱(CCFS)的CFOA的系统和过程。图8是示出根据本公开的至少一个示例的使用频率功率谱(CCFS)的互相关的CFOA估计的图800。通过CCFS的CFOA使用更佳的方法,该方法为脉冲内调制不可知的并且利用了独立于脉冲内调制类型工作的RF相干脉冲序列的离散谱线结构。

[0057] 如图8所示,频率测量过程包括首先由模数转换器(ADC)将模拟的观察810a、810b、810c、810n中的每一个数字化820a、820b、820c、820n,以生成数字信号。然而,应该注意,在其它示例中,感兴趣的信号(SOI)在被分割成观察810a、810b、810c、810n之前由至少一个模数转换器(ADC)数字化,因此,对于这些示例,观察810a、810b、810c、810n是数字信号。

[0058] 然后,该过程包括由至少一个快速傅里叶变换(FFT)处理器单独地计算各个数字信号的功率谱(即,FFT的大小)830a、830b、830c、830n。对于恒定脉冲重复间隔(PRI)脉冲序列,各个功率谱(例如,参照图9的曲线图900)将呈现具有等于脉冲重复频率的精确间距的一系列离散峰(即,谱线),但是对于具有交错PRI的脉冲序列会更复杂。

[0059] 图9是示出根据本公开的至少一个示例的脉冲序列观察的快速傅里叶变换(FFT)的示例性功率谱的曲线图900。在该曲线图900上,x轴表示频率,y轴表示幅度。由于多普勒频移,脉冲序列频谱将移位(包括所有谱线)。在观测时间内在第一观察(例如,观察1)与其它观察(例如,观察2、观察3、观察n)之间这些线的位置的频率迁移对(vs.)时间提供了CFOA(多普勒)历史。

[0060] 返回参照图8,在获得各个观察的功率谱(即,FFT的大小)之后,由至少一个相关器将第一观察(即,观察1)的功率谱与自身自相关840a,以生成自相关谱(例如,参照图11的1110)。另外,由至少一个相关器将第一观察(即,观察1)的功率谱与其它观察(即,观察2、观察3、观察n)的各个功率谱互相关840b、840c、840n,以生成各个其它观察(即,观察2、观察3、观察n)的互相关谱(例如,参照图10的1000和图11的1120)。图10是示出根据本公开的至少一个示例的图9的功率谱的示例性互相关的曲线图1000。在该曲线图1000上,x轴表示频率,y轴表示幅度。

[0061] 图11是示出根据本公开的至少一个示例的第一观察(例如,观察1)的自相关谱1110与第一观察(例如,观察1)和另一观察(例如,观察2、观察3或观察n)的互相关谱1120的比较的曲线图1100。在该曲线图1100上,x轴表示频率,y轴表示幅度。自相关谱1110(表示出其脉冲重复频率(PRF))基本上用作参考。即,自相关谱1110和与另一观察(例如,观察2、观察3或观察n)的互相关谱1120的比较用于确定在第一观察(例如,观察1)与后续观察(例如,观察1、观察2、观察n)之间线迁移了多少,以确定用于CFOA的多普勒历史。第一观察(即,观察1)的自相关(即,自相关谱1110)以及然后第一观察(即,观察1)与后续观察(即,观察2、观察3、观察n)的互相关(即,互相关谱1120)提供了精确测量观察到观察频率超前的手段。

[0062] 返回参照图8,在将第一观察(即,观察1)的功率谱与自身自相关840a以生成自相关谱,并且将第一观察(即,观察1)的功率谱与其它观察(即,观察2、观察3、观察n)的各个功率谱互相关840b、840c、840n以生成互相关谱之后,对谱进行插值850a、850b、850n以生成插值信号。然后,从插值信号进行CFOA测量860a、860b、860n。

[0063] 3.其它方法

[0064] 可使用其它方法来确定多个脉冲的CFOA。传统上使用的复模糊函数(CAF)方法可用于比较观察以在排列时间相关之后解决频移。此方法在计算上比上面所讨论的所公开的方法1和方法2更昂贵,因为此方法需要许多CAF点来寻找最大峰值。当使用此方法寻找局部最大值代替总最大值时,也存在顾虑。并且,对于形成更大的模糊区域的线性频率调制(LFM)信号,此方法存在困难。另外,对于随机脉冲模式无法采用此方法。然而,一旦处理,此方法的CFOA输出就可用于进一步的位置确定处理(在下面详细描述)。

[0065] C.位置确定

[0066] 本节描述使用上面所获得的多普勒历史的位置确定。对于具有脉冲的信号,可使用CFOA,对于不需要额外相干处理的连续波(CW)信号,可使用更通用的到达频率(FOA)来完成位置确定。

[0067] 位置确定过程包括使用最佳可用平台状态矢量数据来计算在与上面测量的FOA历史相同的时间段上观测的各个位置i的多普勒历史。该技术的基础原理在于,通常,由于相对于载具状态矢量的位置差异,各个位置将具有唯一FOA历史。

[0068] 1.地理定位

[0069] 当发射器不处于已知位置时,将执行地理定位。对于发射器的地理定位,可使用针对各个观察找到的FOA数据执行标准地理定位。这导致取决于所接收的信号的质量(通常由信噪比(SNR)表示)、观察的持续时间、停留的持续时间、观察的数量和接收器的质量的误差区域。该误差常常根据与所得地理定位将落在该区域内的概率对应的圆形或椭圆形区域来定义。在此方案中,度量通常是圆的半径、圆概率误差(CEP)或者椭圆的半长轴、椭圆概率误

差(EEP)。在一个或更多个示例中,在至少一个处理器上运行使用针对各个观察找到的FOA数据的标准地理定位的算法以执行发射器的地理定位。

[0070] 2. 地理辨别(GeoD)

[0071] 当在已知位置处存在有限数量的发射器时,将执行地理辨别(GeoD)。对于GeoD,所测量的FOA历史与已知的可能发射器位置的匹配比地理定位更容易,因为仅执行哪一已知位置最有可能辐射SOI的辨别。GeoD在顺序决策测试(SDT)之后使用针对各个候选对计算的决策边界阈值 T_f 在成对的基础上从候选位置处的发射器获取FOA历史。该阈值允许在错误的概率与没有作出决策的概率之间进行权衡,是确保对错误率的控制的重要因素。对于M个可能发射器位置和 $M(M-1)/2$ 个成对组合,在至少一个处理器上运行的算法决定所测量的FOA历史与所测量的FOA历史最佳匹配的位置。并非全部 $M(M-1)/2$ 种组合均需要测试,因为一旦候选发射器位置的成对测试失败,就可将其从任何进一步的测试移除。当除了一个外均被消除时保证最小错误概率。如果任何成对匹配均是模糊的,则不做出决策。

[0072] 图12中示出用于各个候选位置对的决策逻辑,其中 σ_s 是决策统计数据的标准偏差, $\mu_{S/A}$ 和 $\mu_{S/B}$ 分别是给定A和B的决策统计数据的均值。从所测量和计算的FOA历史的统计数据确定决策边界阈值 T_f 的值。图12是示出根据本公开的至少一个示例的辨别统计分布和决策逻辑的曲线图1200。在该曲线图1200上,x轴表示辨别统计数据(S),y轴表示概率。有关用于确定图12上所示的辨别统计分布和决策逻辑的顺序辨别测试的详细讨论在下节中提供。在一个或更多个示例中,在至少一个处理器上运行用于将来自已知位置处的发射器的FOA历史应用于顺序辨别测试的GeoD的算法,以执行发射器的GeoD。

[0073] II. 具有非固定但已知的均值的过程之间的顺序辨别测试

[0074] 设 $X = [X_1, X_2, \dots, X_n]$ 表示取自两个不同的高斯随机过程A或B之一的独立随机样本(参照图12)。假设A和B二者具有共同的固定方差 σ^2 ,并且以 $P(A) + P(B) = 1$ 发生互斥。过程A和B仅通过均值来区分,其中A具有预先已知的可变均值历史 $\eta = [\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n]$,过程B具有也已知的可变均值历史 $v = [v_1, v_2, \dots, v_n]$ 。

[0075] 主要目标是基于将在过程A或过程B之间辨别的随机样本来设计顺序测试。次要目标是:(1)设计测试以确保出现辨别错误的概率至多为 p_f ;以及(2)推导并表达成功辨别的概率。

[0076] 顺序测试是统计数据 $S = S(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 和两个阈值 $k_1 < k_2$ 的公式,使得:

[0077] 如果 $S \geq k_2$,则选择A

[0078] 如果 $S \geq k_1$,则选择B

[0079] 如果 $k_1 < S < k_2$,则无决策 (0.1)

[0080] 该测试被称为顺序测试,因为当更多样本变得可用时,统计数据S和阈值 k_1, k_2 可更新,这提供了作出更准确决策的机会。

[0081] 统计数据S基于似然比:

$$[0082] L = \frac{f(x_1, x_2, \dots, x_n | A)}{f(x_1, x_2, \dots, x_n | B)} \quad (0.2)$$

[0083] 其中 $f(x_1, x_2, \dots, x_n | A)$ 是给定A的X的联合概率密度函数,

[0084] $f(x_1, x_2, \dots, x_n | A) = \frac{1}{(2\pi\sigma)^{n/2}} \exp \left[-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{j=1}^n (x_j - \eta_j)^2 \right]; \quad (0.3)$

[0085] 并且 $f(x_1, x_2, \dots, x_n | B)$ 是给定 B 的 X 的联合概率密度函数,

[0086] $f(x_1, x_2, \dots, x_n | B) = \frac{1}{(2\pi\sigma)^{n/2}} \exp \left[-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{j=1}^n (x_j - \nu_j)^2 \right]. \quad (0.4)$

[0087] 对于限定测试的统计数据 S 和阈值 k_1, k_2 , 从不等式推导由 Neyman-Pearson 定理保证的最佳统计数据:

[0088] $c_1 \leq L \leq c_2, \quad (0.5)$

[0089] 其中 L 是似然比。将 (0.3) 和 (0.4) 代入 (0.2), 然后进行一些代数操作得到:

[0090] $k_1 \leq \sum_{j=1}^n (x_j - \nu_j)^2 - \sum_{j=1}^n (x_j - \eta_j)^2 \leq k_2. \quad (0.6)$

[0091] 设 $\langle x, y \rangle = \sum_{j=1}^n x_j y_j$ 表示标准欧几里德内积和欧几里德范数 $\|x\| = \sqrt{\langle x, x \rangle}$, 不等式 (0.6) 可根据其被改写为:

[0092] $k_1 \leq 2\langle x, \eta \rangle - 2\langle x, \nu \rangle + \langle \nu, \nu \rangle - \langle \eta, \eta \rangle \leq k_2. \quad (0.7)$

[0093] 从 (0.7), 我们将辨别统计数据 S 定义为:

[0094] $S = 2\langle x, \eta \rangle - 2\langle x, \nu \rangle + \langle \nu, \nu \rangle - \langle \eta, \eta \rangle. \quad (0.8)$

[0095] 符号 $S | A$ 意指利用来自过程 A 的样本来评估统计数据 S, $S | B$ 意指利用来自过程 B 的样本来评估统计数据 S。需要注意, $S | A$ 是具有均值:

[0096] $\mu_{S|A} = E[2\langle x, \eta \rangle - 2\langle x, \nu \rangle + \langle \nu, \nu \rangle - \langle \eta, \eta \rangle]$

[0097] $= 2\langle \eta, \eta \rangle - 2\langle \eta, \nu \rangle + \langle \nu, \nu \rangle - \langle \eta, \eta \rangle$

[0098] $= \langle \eta - \nu, \eta - \nu \rangle = \| \eta - \nu \|^2 \quad (0.9)$

[0099] 和方差:

[0100]
$$\begin{aligned} \sigma_{S|A}^2 &= var[2\langle x, \eta - \nu \rangle + \langle \nu, \nu \rangle - \langle \eta, \eta \rangle] \\ &= 4\sigma^2 \|\eta - \nu\|^2 \end{aligned} \quad (0.10)$$

[0101] 的正态分布随机变量。

[0102] 类似地, $S | B$ 是具有均值:

[0103] $\mu_{S|B} = -\| \eta - \nu \|^2 \quad (0.11)$

[0104] 和方差:

[0105] $\sigma_{S|B}^2 = 4\sigma^2 \|\eta - \nu\|^2 \quad (0.12)$

[0106] 的正态分布。

[0107] 从其观测到:

[0108] $\sigma_S^2 = \sigma_{S|A}^2 = \sigma_{S|B}^2 = 4\sigma^2 \|\eta - \nu\|^2. \quad (0.13)$

[0109] 利用决策逻辑 (0.1), 只有在:

[0110] $S \geq k_2$, 当 B 为真时

[0111] $S \leq k_1$, 当 A 为真时 $\quad (0.14)$

[0112] 的情况下, 才会出现辨别错误。

[0113] 因此,为了将出现错误的概率设定为 p_f ,我们必须选择 k_1 和 k_2 以使得:

$$[0114] p_f = P(S \geq k_2 | B)P(B) + P(S \leq k_1 | A)P(A) \quad (0.15)$$

[0115] 另外,这里的合理选择是设定 k_1 和 k_2 以使得(0.15)中的两个概率相等,即:

$$[0116] P(S \geq k_2 | B) = P(S \leq k_1 | A) \quad (0.16)$$

[0117] 因此,

$$[0118] p_f = P(S \geq k_2 | B) = P(S \leq k_1 | A) \quad (0.17)$$

[0119] 评估前者得到:

$$[0120] p_f = P(S \geq k_2 | B) = P\left(\frac{S - \mu_{S|B}}{\sigma_S} \geq \frac{k_2 - \mu_{S|B}}{\sigma_S}\right), \quad (0.18)$$

[0121] 评估后者得到:

$$[0122] p_f = P(S \leq k_1 | A) = P\left(\frac{S - \mu_{S|A}}{\sigma_S} \leq \frac{k_1 - \mu_{S|A}}{\sigma_S}\right) \quad (0.19)$$

[0123] 其中,在两种情况下,量:

$$[0124] \frac{S - \mu_{S|B}}{\sigma_S} \text{ 和 } \frac{S - \mu_{S|A}}{\sigma_S} \quad (0.20)$$

[0125] 是标准正态随机变量。设 T_f 使用标准正态概率分布定义,使得:

$$[0126] p_f = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{T_f} \exp\left[-\frac{x^2}{2}\right] dx. \quad (0.21)$$

[0127] p_f 和 T_f 之间的关系由 $p_f = \mathcal{N}^{-1}(T_f)$ 或 $T_f = \mathcal{N}^{-1}(p_f)$ 表示。使用该符号,遵循:

$$[0128] \frac{k_2 - \mu_{S|B}}{\sigma_S} = T_f \text{ 和 } \frac{k_1 - \mu_{S|A}}{\sigma_S} = -T_f. \quad (0.22)$$

[0129] 同样地,将(0.9)、(0.10)、(0.11)和(0.12)代入(0.22)得到:

$$[0130] k_2 = 2\sigma ||\eta - v|| |T_f - ||\eta - v|||^2$$

$$[0131] k_1 = -2\sigma ||\eta - v|| |T_f + ||\eta - v|||^2 \quad (0.23)$$

[0132] 从式(0.23),可计算出辨别概率:

$$[0133] P_{Dtscrtm} = P(S \geq k_2 | A)P(A) + P(S \leq k_1 | B)P(B). \quad (0.24)$$

[0134] 首先,

$$\begin{aligned} [0135] P(S \geq k_2 | A) &= P\left(\frac{S - \mu_{S|A}}{\sigma_S} \geq \frac{k_2 - \mu_{S|A}}{\sigma_S}\right) \\ &= 1 - N\left[\frac{k_2 - \mu_{S|A}}{\sigma_S}\right] = 1 - N\left[T_f - \frac{||\eta - v||}{\sigma}\right] \\ &= N\left[\frac{||\eta - v||}{\sigma} - T_f\right] \end{aligned} \quad (0.25)$$

[0136] 类似地,

$$\begin{aligned} [0137] P(S \leq k_1 | B) &= P\left(\frac{S - \mu_{S|B}}{\sigma_S} \leq \frac{k_1 - \mu_{S|B}}{\sigma_S}\right) \\ &= N\left[\frac{k_1 - \mu_{S|B}}{\sigma_S}\right] \\ &= N\left[\frac{||\eta - v||}{\sigma} - T_f\right] \end{aligned} \quad (0.26)$$

[0138] 因此,

$$[0139] P_{Dtsctrm} = N \left[\frac{\|\eta - v\|}{\sigma} - T_f \right] \quad (0.27)$$

[0140] 式 (0.27) 是基于均值历史 η 和 v 、随机样本的方差 σ^2 和错误概率 $p_f = \mathcal{N}^{-1}(T_f)$ 的知识来描述辨别概率的期望的式。

[0141] III .GeoD误差来源

[0142] 存在几个重要的GeoD误差来源,其被视为系统设计和评估的一部分。与地理定位一样,通常,GeoD严重依赖于FOA误差和收集几何(collection geometry)。实际上,测量误差对FOA GeoD的影响几乎与FOA地理定位相同。FOA误差的主要来源是随机频率测量误差(主要是由于热噪声)、SOI的RF不稳定性以及收集平台的主振荡器。

[0143] 随机频率测量误差严重依赖于测量方法。但是通过仔细设计测量算法,测量误差可接近Cramer-Rao下界(CRLB),其与积分时间和SNR的平方根成反比。

[0144] SOI的RF不稳定性是不受控制的和系统的。尽管感兴趣的信号是相干的,但信号的实际RF稳定性基本上是未知的。

[0145] 收集平台的主振荡器是系统的和可控的,其由收集系统的参考振荡器的频率稳定性确定。在美国销售的市售恒温晶体振荡器通常对于长达100秒的平均时间具有约0.05赫兹/千兆赫(Hz/GHz)的频率稳定性,这对于FOA GeoD功能来说绰绰有余。

[0146] 对于低于约200兆赫(MHz)的RF的SOI的另一可能误差来源是电离层。在电离层中,传播路径被折射,并且多普勒频移偏离视线(LOS)行为并难以预测。在电离层高点处的低掠射角处尤其如此。对于一天中的特定时间、季节和太阳周期的阶段,对于低于约200MHz的RF的SOI,FOA测量可能需要被限制为较高的掠射角。

[0147] 此外,本公开包括根据以下条款的示例:

[0148] 条款1.一种用于位置确定的方法,该方法包括:由安装在移动平台上的天线接收从多个发射器发送的多个信号;从所述信号识别感兴趣的信号(SOI);将SOI分割成多个观察段;从观察段确定到达频率(FOA)测量;以及使用FOA测量确定所述多个发射器中发送SOI的发射器的位置。

[0149] 条款2.根据条款1所述的方法,其中,确定FOA测量的步骤包括:将各个观察段下变频以生成下变频的观察段;将各个下变频的观察段相干地解调以生成解调的观察段;从各个解调的观察段获得脉冲到相位测量;将脉冲到相位测量展开以生成展开的脉冲序列相位超前;执行线性回归和缩放以确定各个展开的脉冲序列相位超前的斜率;以及从各个展开的脉冲序列相位超前的斜率确定FOA测量。

[0150] 条款3.根据条款1所述的方法,其中,确定FOA测量的步骤包括:计算各个观察段的功率谱;将一个观察段的功率谱与自身自相关,以生成自相关谱;将自相关谱与所述一个观察段以外的其它观察段的各个功率谱互相关,以生成针对所述其它观察段中的每一个的互相关谱;对各个互相关谱进行插值以生成插值的信号;以及从各个插值的信号获得FOA测量。

[0151] 条款4.根据条款1所述的方法,其中,当发射器处于已知位置时,使用FOA测量确定发送SOI的发射器的位置的步骤包括:利用似然统计辨别过程从所述已知位置辨别发送SOI的发射器的位置,所述似然统计辨别过程分析FOA测量以确定哪一已知位置最有可能辐射

SOI。

[0152] 条款5.根据条款1所述的方法,其中,当发射器处于未知位置时,使用FOA测量确定发送SOI的发射器的位置的步骤包括:使用FOA测量执行地理定位。

[0153] 条款6.根据条款1所述的方法,其中,发送SOI的发射器的位置是已知具有与发送SOI的发射器相同类型的发射器的位置。

[0154] 条款7.根据条款1所述的方法,其中,所述信号是射频(RF)信号。

[0155] 条款8.根据条款1所述的方法,其中,所述信号是相干脉冲序列信号和连续波(CW)信号中的至少一种。

[0156] 条款9.根据条款1所述的方法,其中,所述移动平台是载具。

[0157] 条款10.根据条款9所述的方法,其中,所述载具是空中载具、陆地载具或海上载具。

[0158] 条款11.根据条款1所述的方法,其中,各个发射器是已知类型的发射器。

[0159] 条款12.根据条款1所述的方法,其中,所述天线是反射器天线、多馈天线或相控阵天线。

[0160] 条款13.根据条款1所述的方法,其中,所述FOA测量是相干到达频率(CFOA)测量。

[0161] 条款14.一种用于位置确定的系统,该系统包括:天线,其被安装在移动平台上,以接收从多个发射器发送的多个信号;以及处理电路,其被配置为从所述信号识别感兴趣的信号(SOI),将SOI分割成多个观察段,从观察段确定到达频率(FOA)测量,并使用FOA测量确定所述多个发射器中发送SOI的发射器的位置。

[0162] 条款15.根据条款14所述的系统,其中,当处理电路被配置为确定FOA测量时,处理电路还被配置为:将各个观察段下变频以生成下变频的观察段,将各个下变频的观察段相干地解调以生成解调的观察段,从各个解调的观察段获得脉冲到相位测量,将脉冲到相位测量展开以生成展开的脉冲序列相位超前,执行线性回归和缩放以确定各个展开的脉冲序列相位超前的斜率,并从各个展开的脉冲序列相位超前的斜率确定FOA测量。

[0163] 条款16.根据条款14所述的系统,其中,当处理电路被配置为确定FOA测量时,处理电路还被配置为:计算各个观察段的功率谱;将一个观察段的功率谱与自身自相关,以生成自相关谱;将自相关谱与所述一个观察段以外的其它观察段的各个功率谱互相关,以生成针对所述其它观察段中的每一个的互相关谱;对各个互相关谱进行插值以生成插值的信号;并且从各个插值的信号获得FOA测量。

[0164] 条款17.根据条款14所述的系统,其中,当发射器处于已知位置时,处理电路被配置为通过利用似然统计辨别过程从所述已知位置辨别发送SOI的发射器的位置来使用FOA测量确定发送SOI的发射器的位置,所述似然统计辨别过程分析FOA测量以确定哪一已知位置最有可能辐射SOI。

[0165] 条款18.根据条款14所述的系统,其中,当发射器处于未知位置时,处理电路被配置为通过使用FOA测量执行地理定位来使用FOA测量确定发送SOI的发射器的位置。

[0166] 条款19.根据条款14所述的系统,其中,所述移动平台是载具。

[0167] 条款20.根据条款19所述的系统,其中,所述处理电路位于载具上或载具以外的不同位置处。

[0168] 条款21.根据条款14所述的系统,其中,所述处理电路包括处理器、下变频器、滤波

器、解调器、快速傅里叶变换(FFT)处理器、插值器或模数转换器(ADC)中的至少一个。

[0169] 尽管已示出和描述了特定示例,但应该理解,以上讨论并非旨在限制这些示例的范围。尽管本文已公开和描述了本发明的许多方面的示例和变化,但提供这样的公开仅是为了说明和例示。因此,在不脱离权利要求的范围的情况下,可进行各种改变和修改。

[0170] 在上述方法指示特定事件按照特定顺序发生的情况下,受益于本公开的本领域普通技术人员将认识到,可修改顺序,并且这些修改符合本公开的变化。另外,除了顺序执行之外,方法的部分可在可能的情况下在并行处理中同时执行。另外,可执行方法的更多部分或更少部分。

[0171] 因此,示例旨在描述可落入权利要求的范围内的替代、修改和等同物。

[0172] 尽管本文已公开了特定例示性示例和方法,对于本领域技术人员而言可从以上公开显而易见的是,可在不脱离所公开的技术的真实精神和范围的情况下对这些示例和方法进行变化和修改。存在所公开的技术的许多其它示例,各个示例仅在细节方面与其它示例不同。因此,所公开的技术旨在将仅限于所附权利要求以及适用法律的规则和原则所要求的范围。

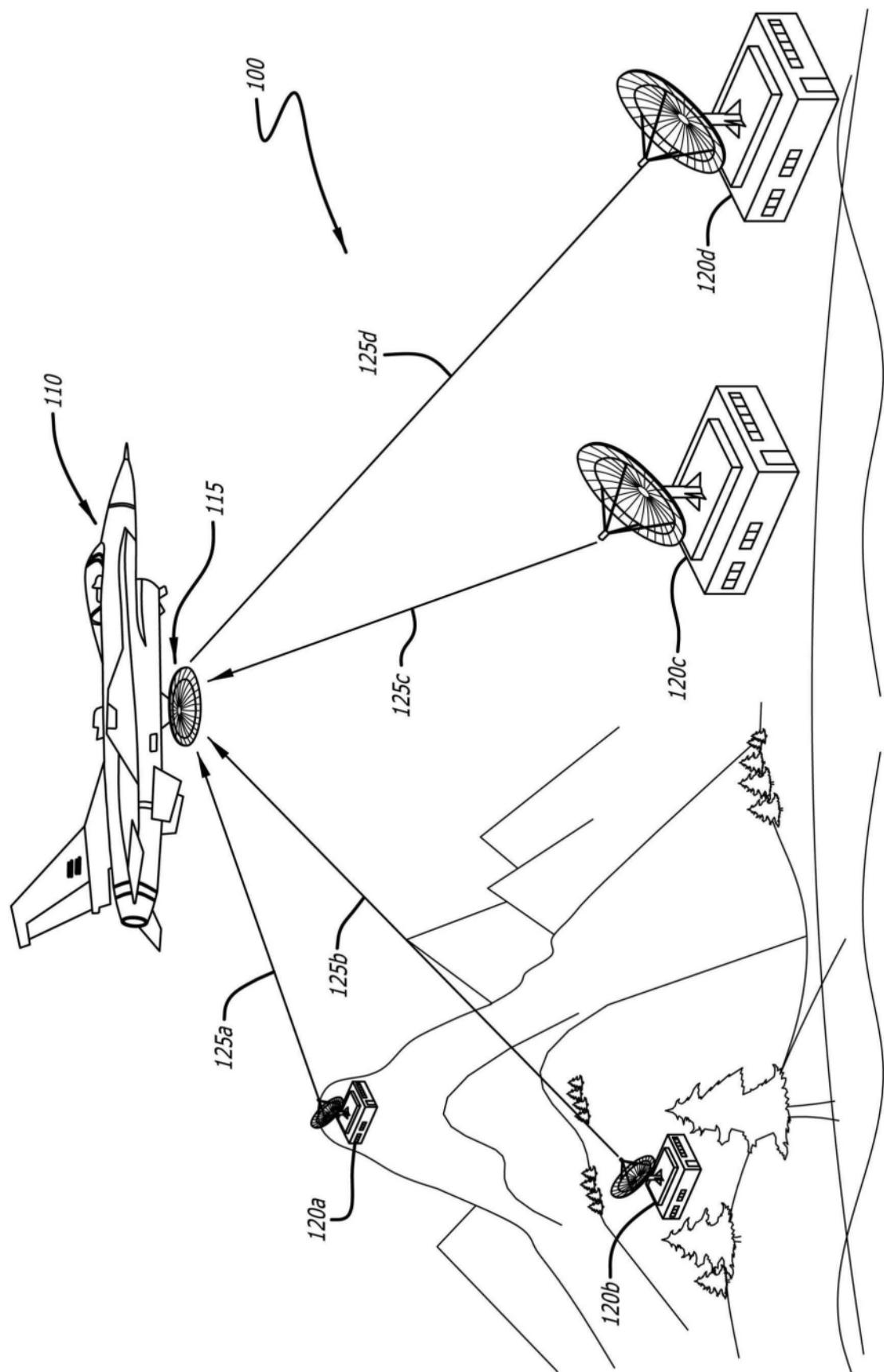


图1A

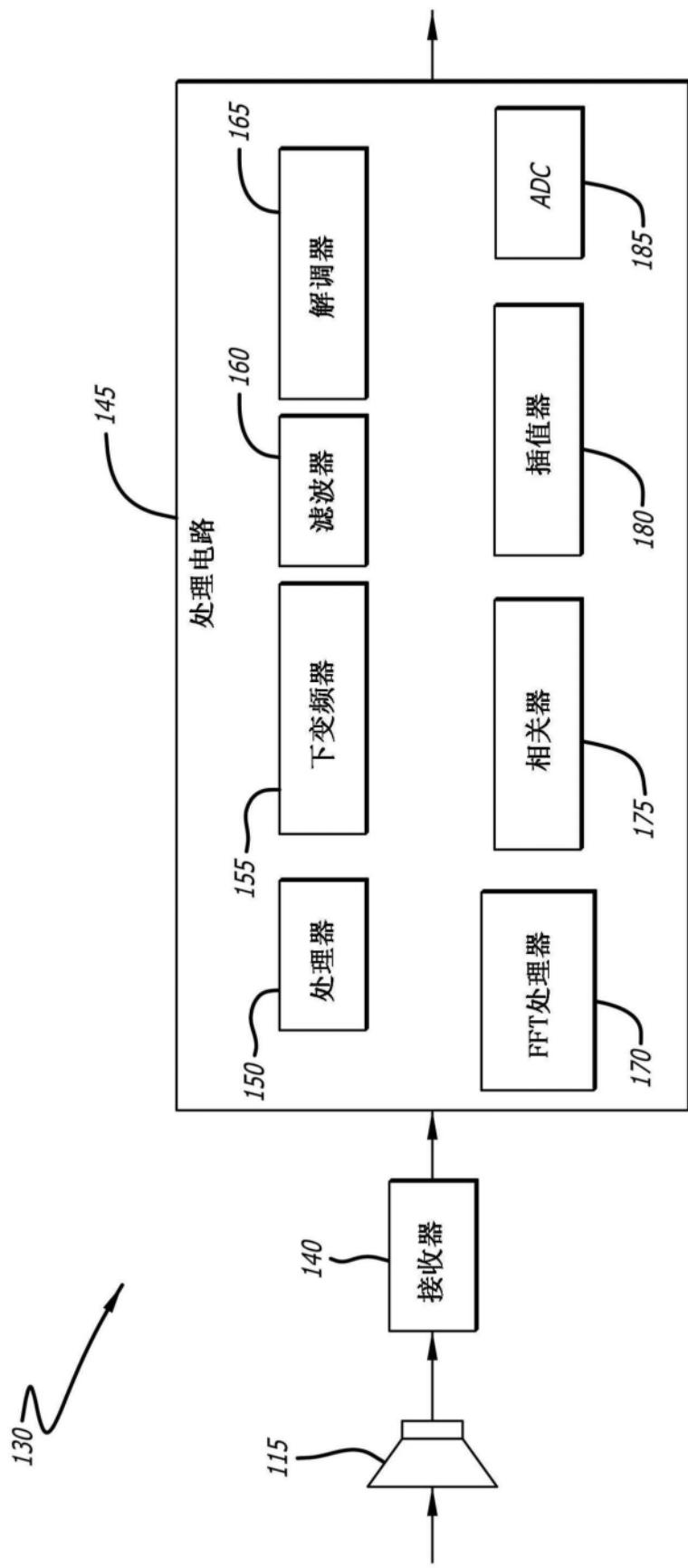


图1B

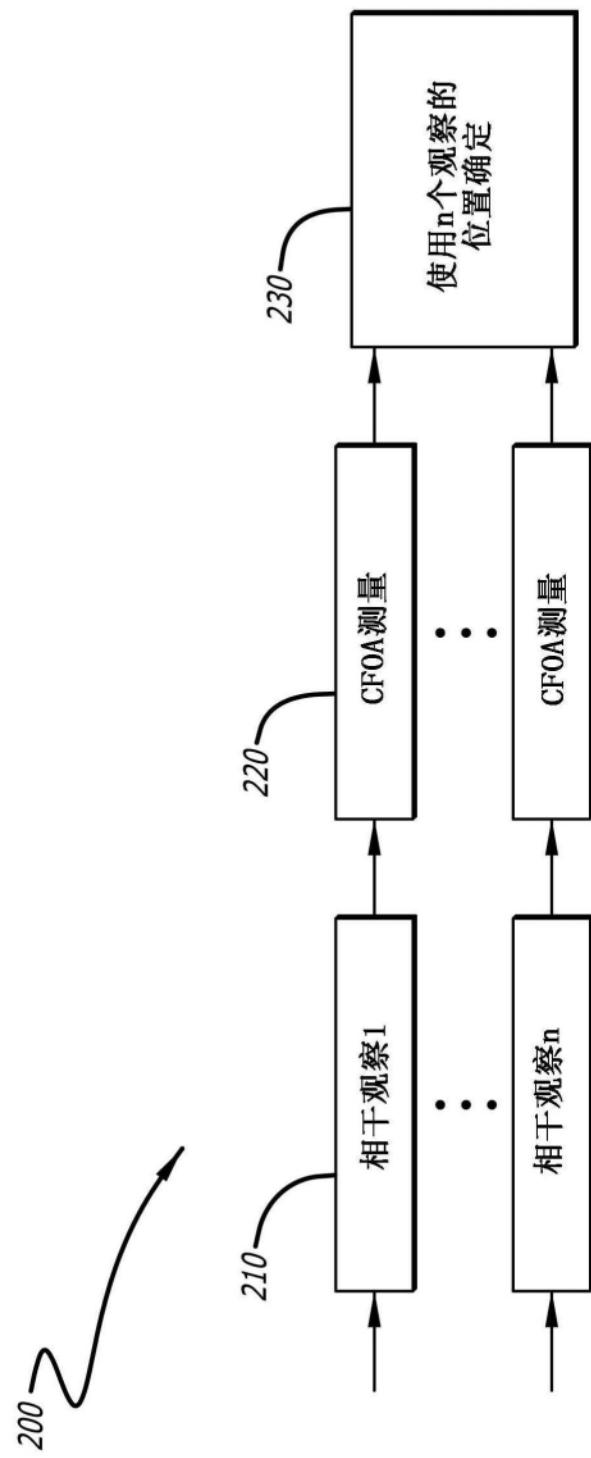


图2

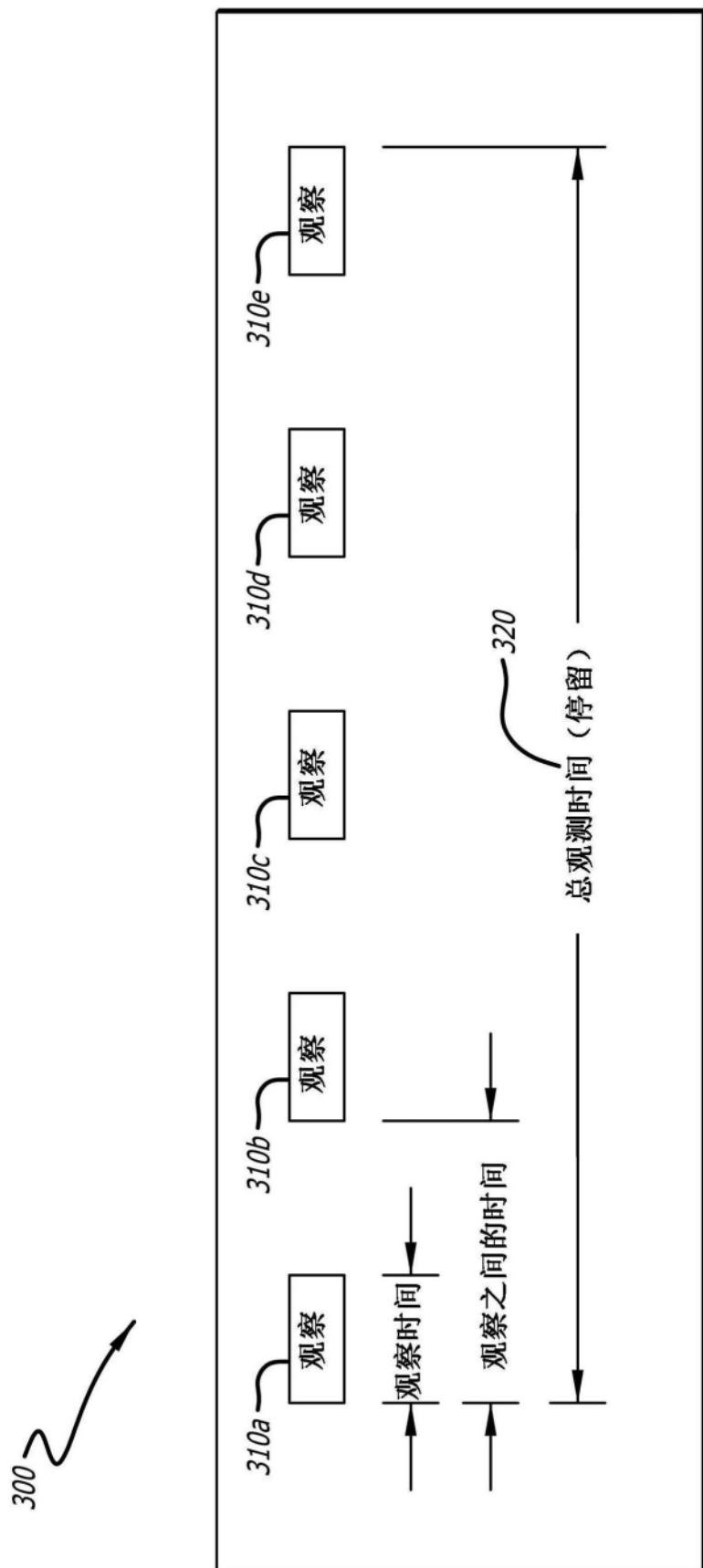


图3

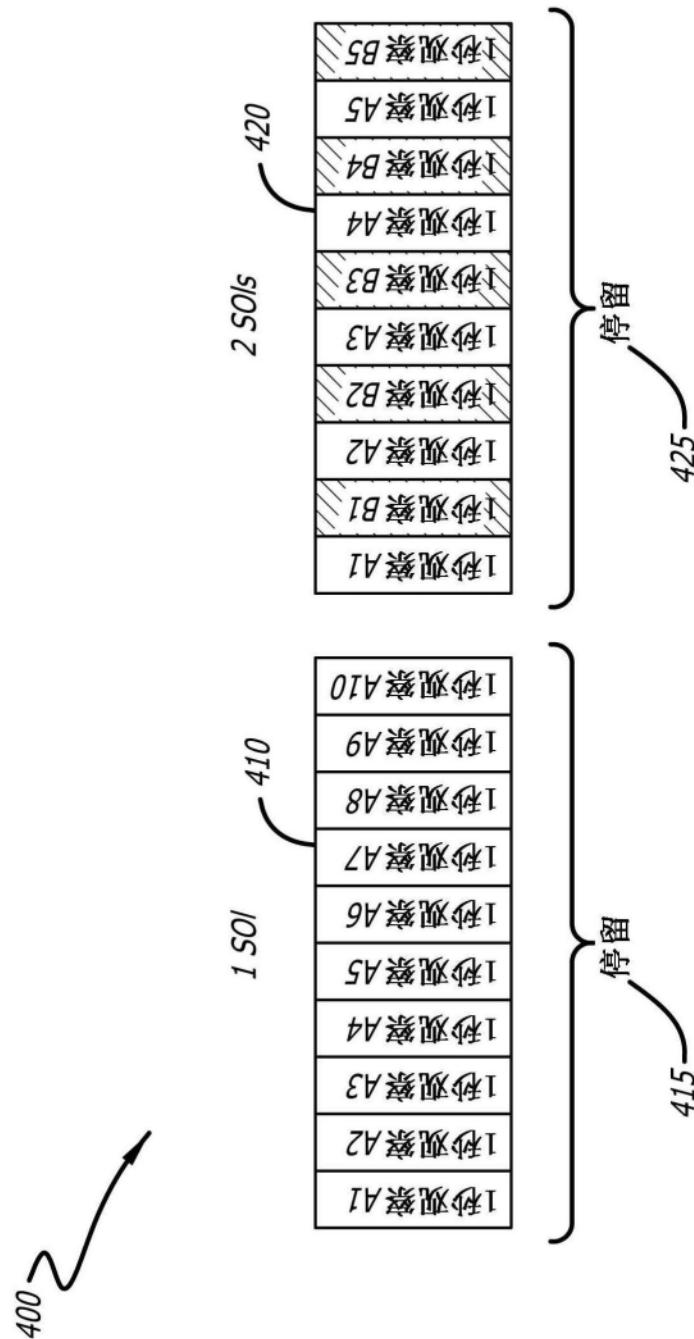


图4

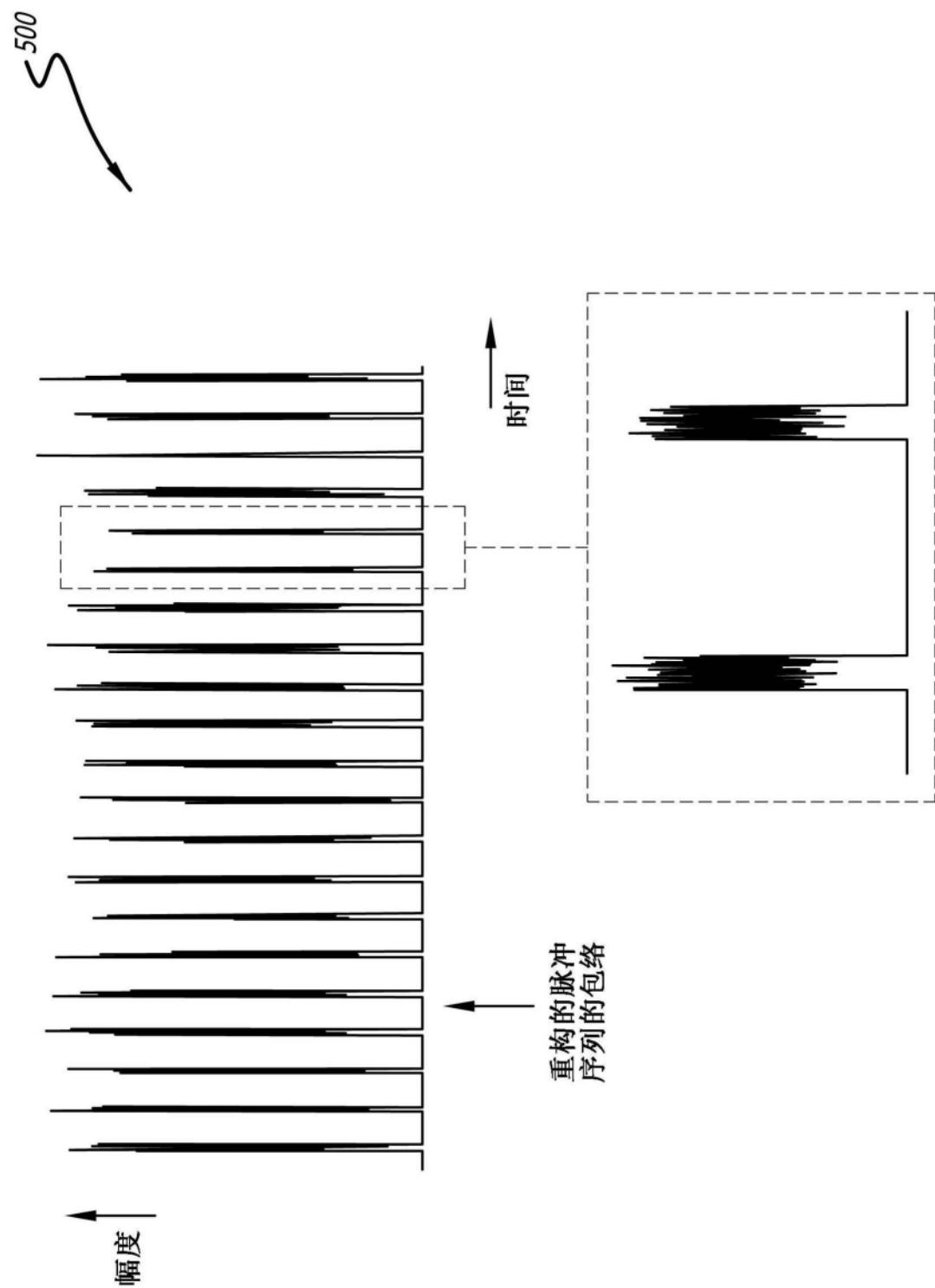


图5

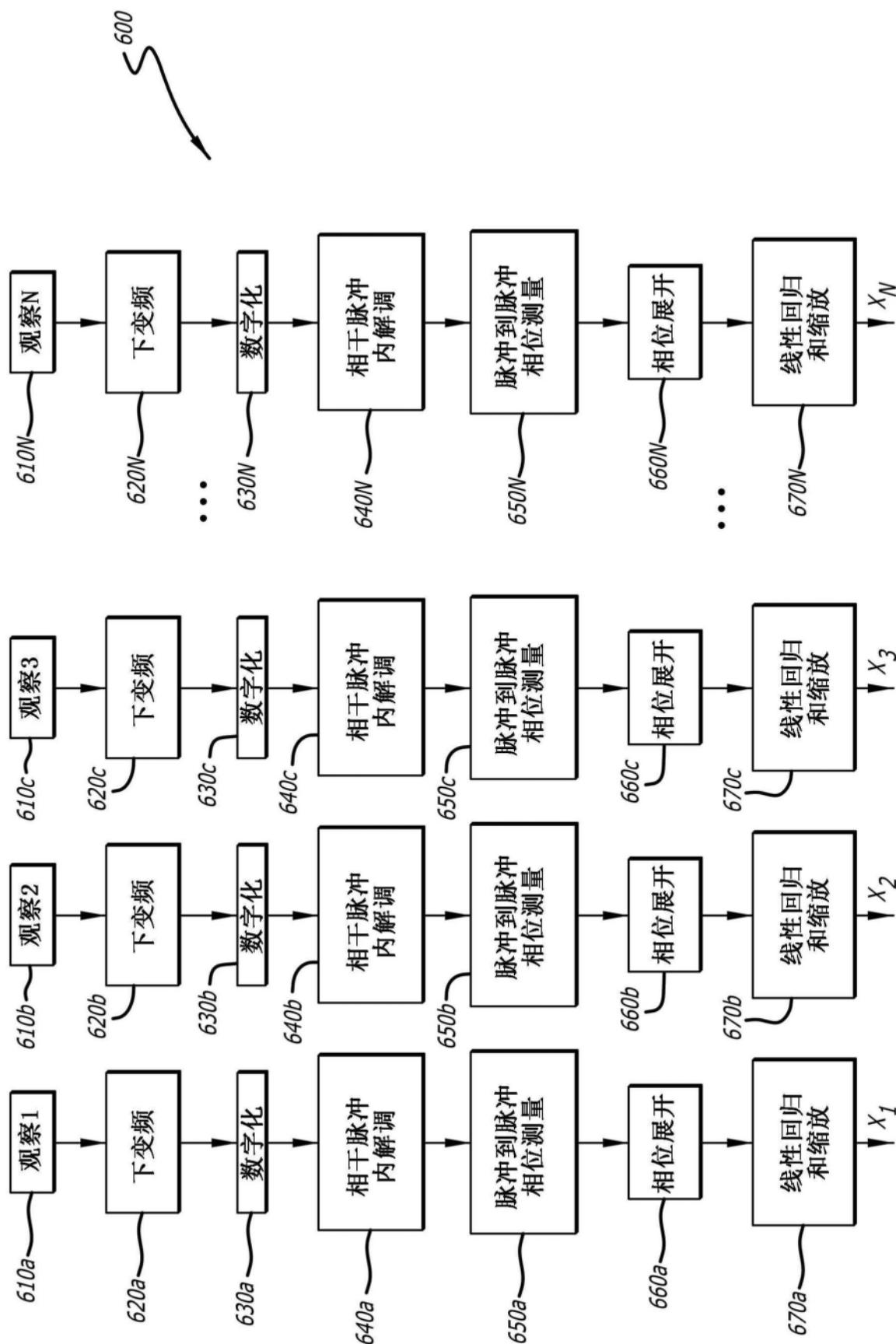


图6

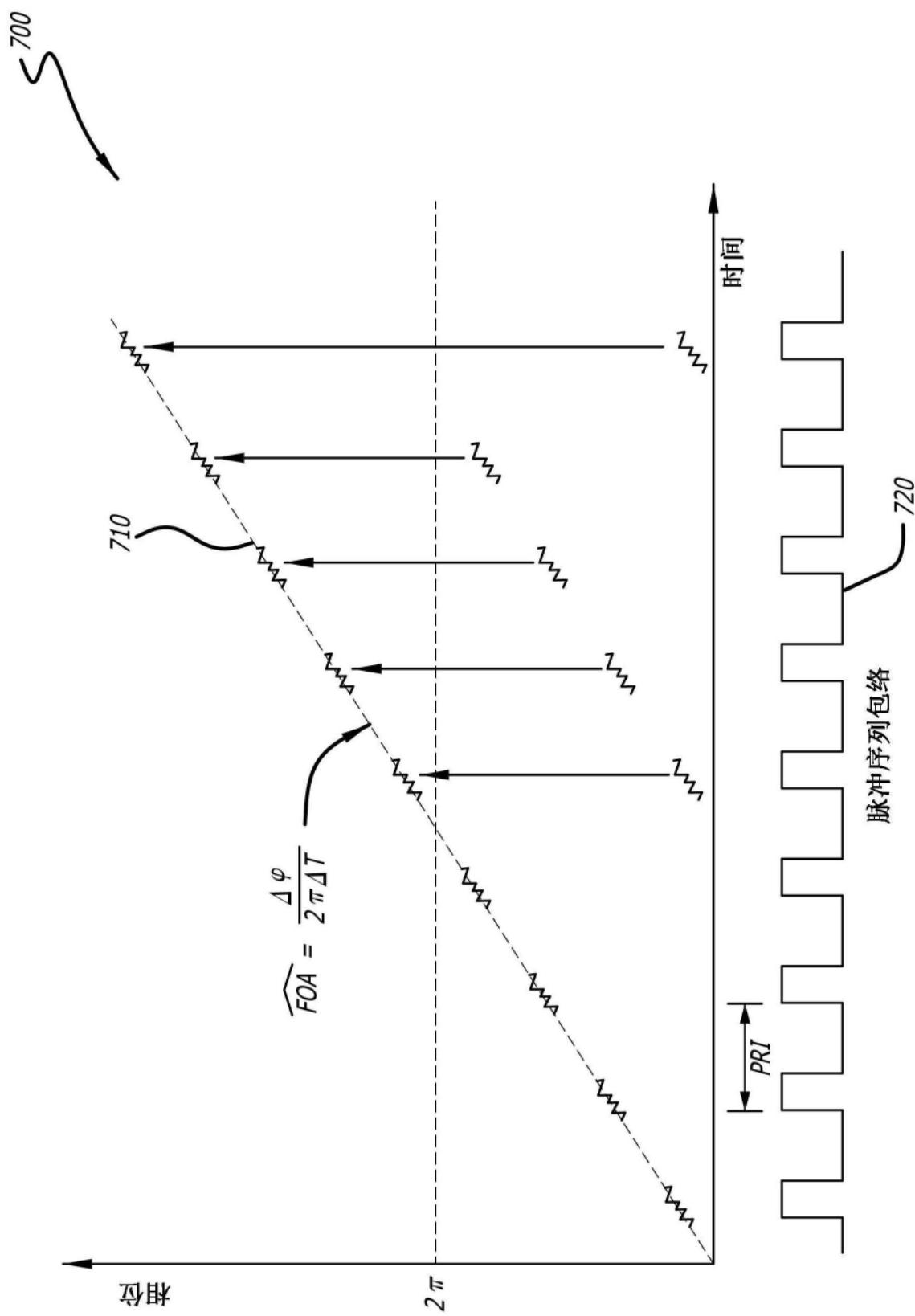


图7

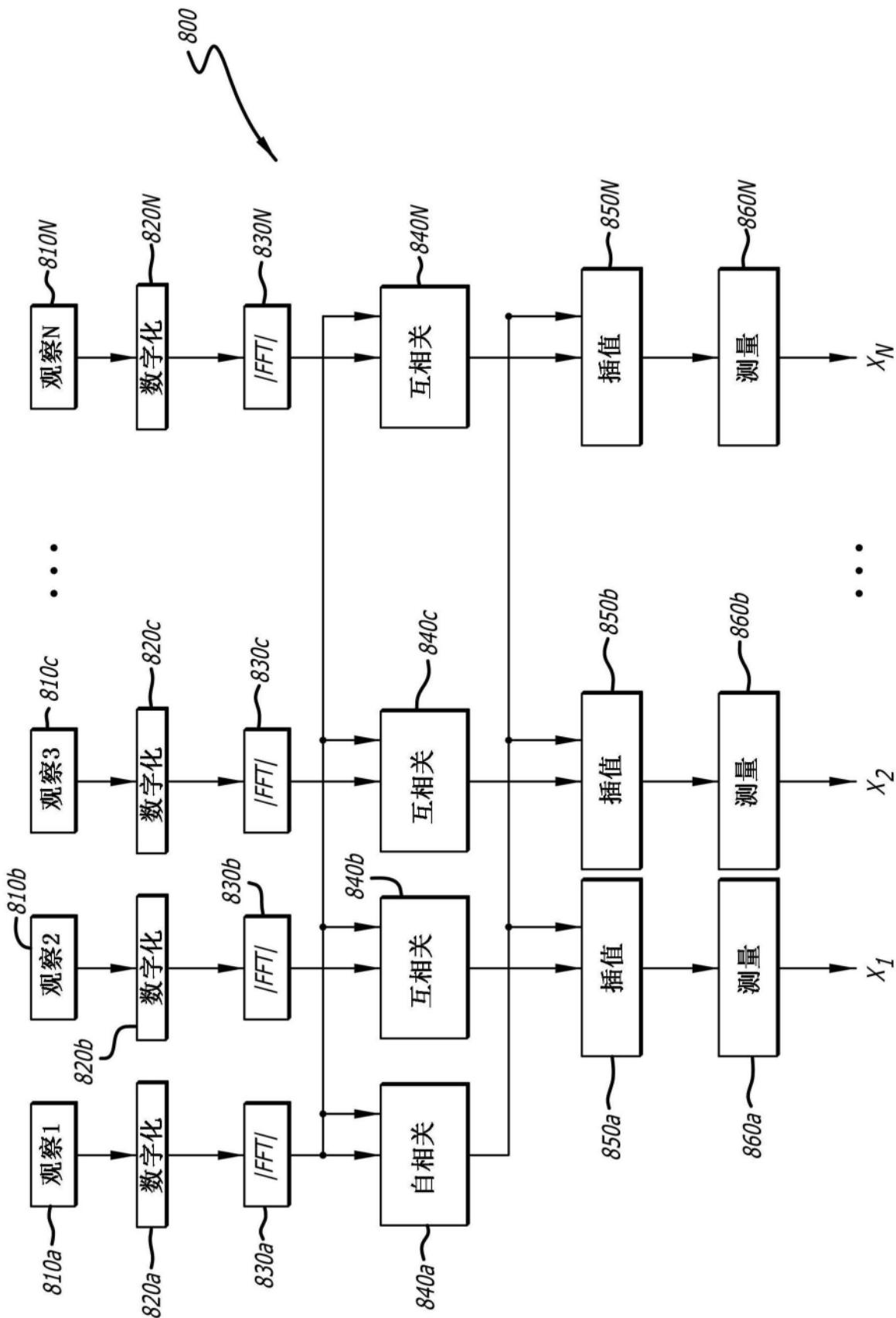


图8

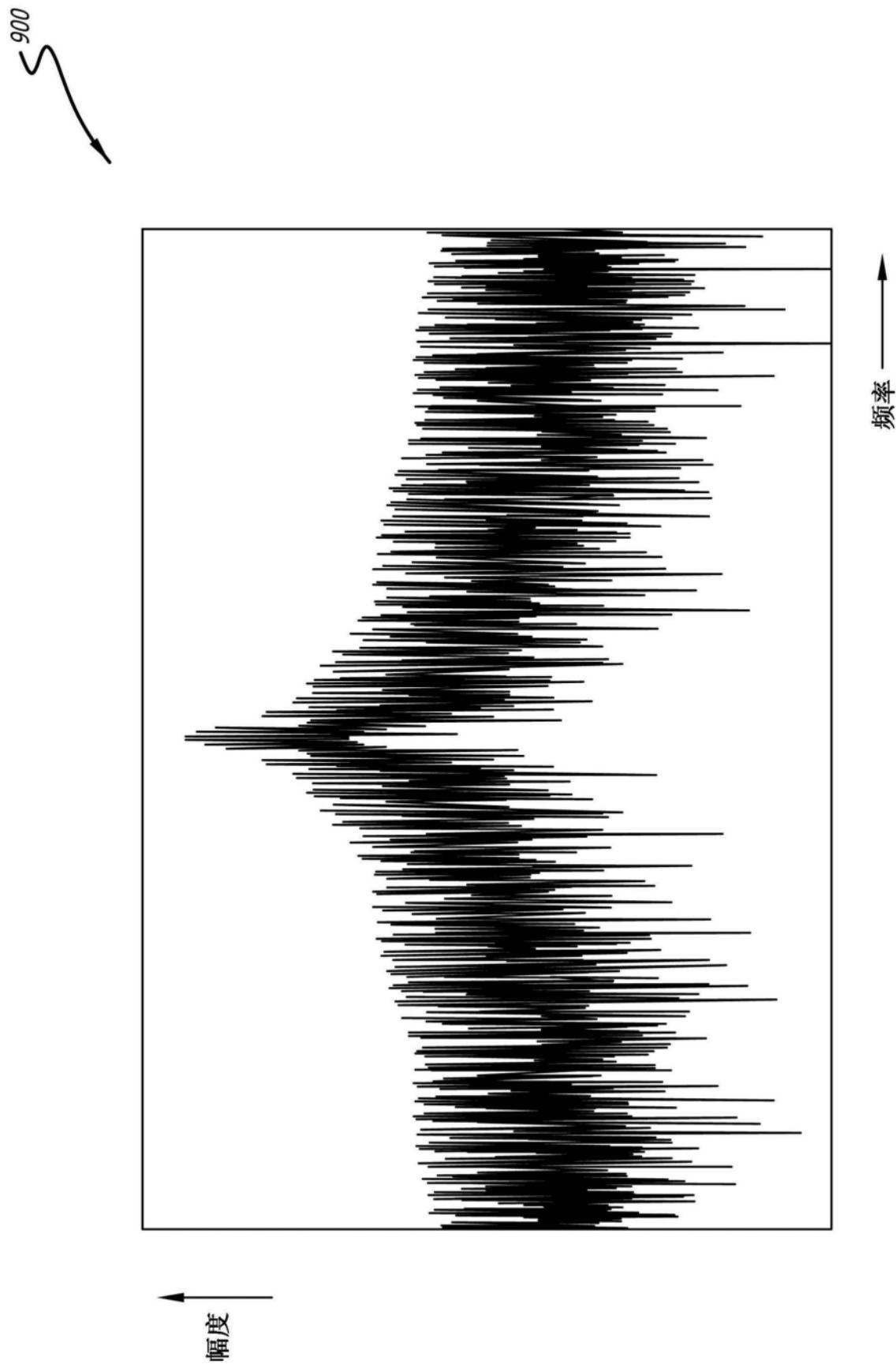


图9

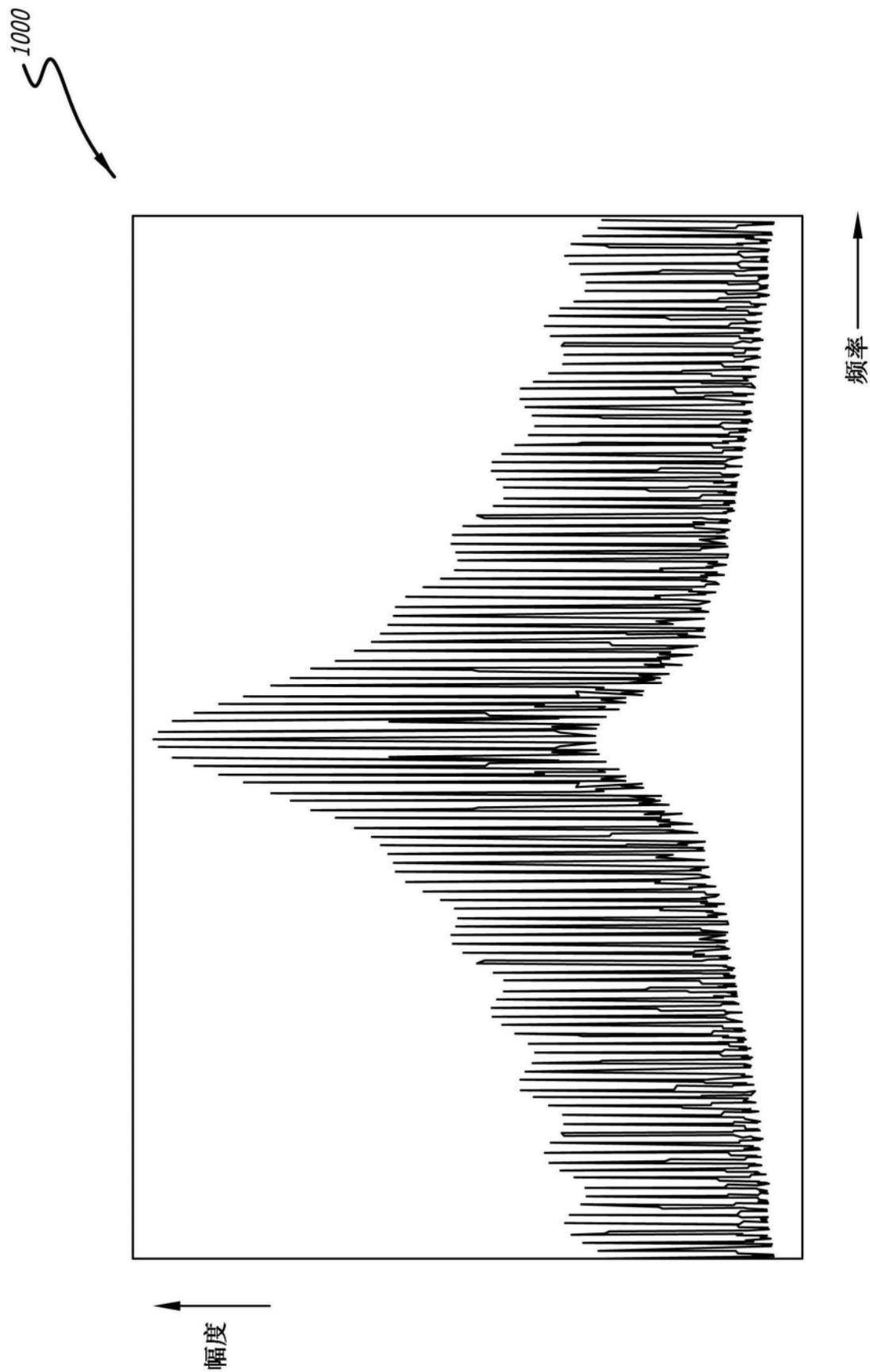


图10

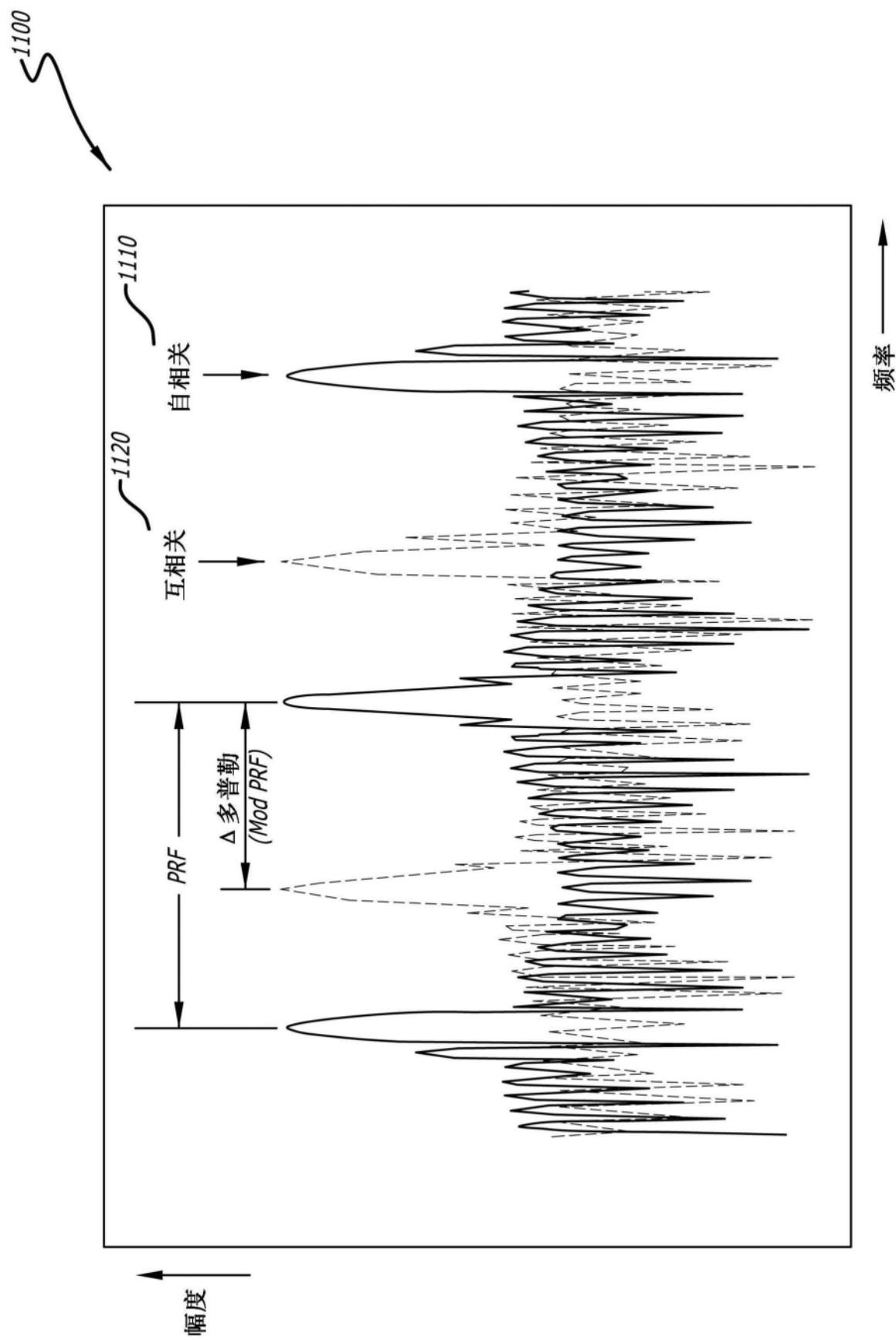


图11

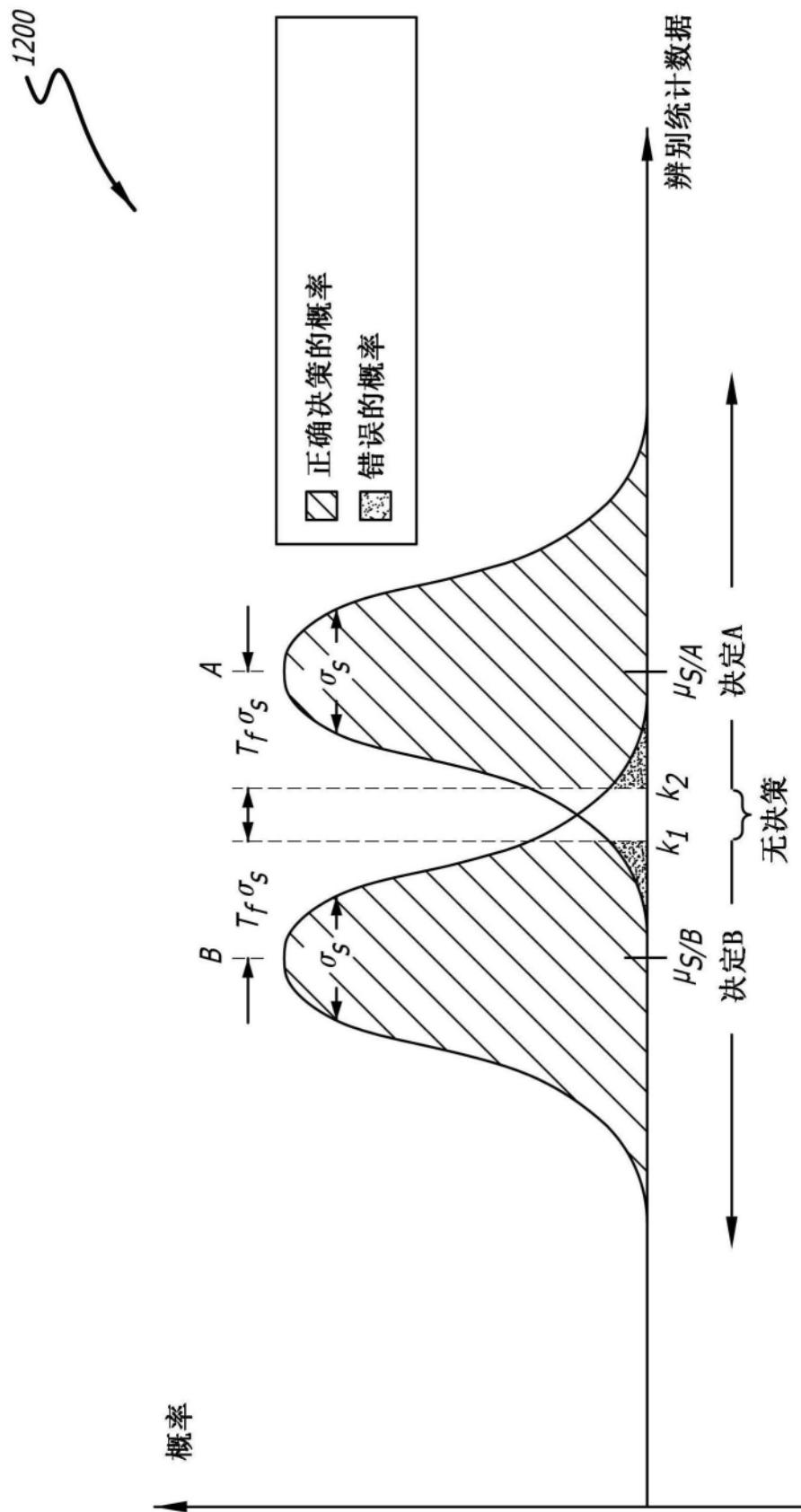


图12