



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111630404 B

(45) 授权公告日 2023. 10. 20

(21) 申请号 201880083359.6  
 (22) 申请日 2018.11.25  
 (65) 同一申请的已公布的文献号  
 申请公布号 CN 111630404 A  
 (43) 申请公布日 2020.09.04  
 (30) 优先权数据  
 255982 2017.11.29 IL  
 (85) PCT国际申请进入国家阶段日  
 2020.06.23  
 (86) PCT国际申请的申请数据  
 PCT/IL2018/051275 2018.11.25  
 (87) PCT国际申请的公布数据  
 W02019/106656 EN 2019.06.06  
 (73) 专利权人 阿尔贝机器人有限公司  
 地址 以色列特拉维夫  
 (72) 发明人 约拉姆·斯特廷尔  
 (74) 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限  
 责任公司 11219  
 专利代理师 张伟峰 夏凯

(51) Int. Cl.  
 G01S 7/02 (2006.01)  
 G01S 7/35 (2006.01)  
 G01S 13/02 (2006.01)  
 G01S 13/931 (2020.01)  
 (56) 对比文件  
 CN 101526389 A, 2009.09.09  
 CN 104914413 A, 2015.09.16  
 CN 105891789 A, 2016.08.24  
 CN 106019271 A, 2016.10.12  
 CN 106199534 A, 2016.12.07  
 CN 106338727 A, 2017.01.18  
 CN 107064881 A, 2017.08.18  
 CN 1155236 A, 1997.07.23  
 US 2002027522 A1, 2002.03.07  
 US 2005104765 A1, 2005.05.19  
 US 2009121926 A1, 2009.05.14  
 US 2013278455 A1, 2013.10.24  
 US 2016054439 A1, 2016.02.25  
 US 2016103204 A1, 2016.04.14  
 US 9482744 B1, 2016.11.01 (续)

审查员 张蜜儿

权利要求书2页 说明书13页 附图19页

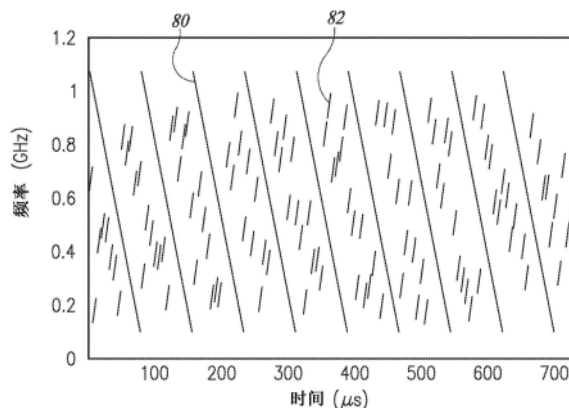
(54) 发明名称

汽车雷达之间相互干扰的检测、减轻和避免

(57) 摘要

一种新颖且有用的雷达传感器,该雷达传感器结合了检测、减轻和避免来自附近汽车雷达的相互干扰。线性大带宽FMCW啁啾的通常恒定的起始频率序列被起始频率跨越较宽的带宽并在时间上随机排序的较低带宽的啁啾序列替代,以创建伪随机啁啾跳变序列。接收到的反射波信号使用已知的跳变序列重组。为了减轻干扰,接收到的信号用于估计与其他雷达信号的冲突。如果检测到,则向啁啾的随机化施加约束。改变了啁啾跳变序列,使得啁啾不与干扰雷达的啁啾干扰。违规的啁啾被重新随机化、完全丢弃、或者另一

个非违规的啁啾的起始频率被重用。加窗消隐用于将接收到的啁啾的被干扰雷达的啁啾信号破坏的部分归零。



CN 111630404 B

[接上页]

**(56) 对比文件**

US 9645228 B1, 2017.05.09  
WO 2017194573 A1, 2017.11.16  
US 2017219689 A1, 2017.08.03  
CN 105842700 A, 2016.08.10  
CN 106461771 A, 2017.02.22  
CN 107076845 A, 2017.08.18  
CN 102770781 A, 2012.11.07  
US 6989782 B2, 2006.01.24

US 9791564 B1, 2017.10.17

GB 2462148 A, 2010.02.03

吕红; 宋志坚. 伪随机码调相跳频信号的波形设计及距离处理. 国外电子元器件. 2008, (第08期), 全文.

李玉翔; 任修坤; 孙扬; 郑娜娥. 一种循环迭代的宽带MIMO雷达正交稀疏频谱波形设计方法. 电子与信息学报. 2017, (第04期), 全文.

1. 一种减轻雷达中的干扰的方法,所述方法包括:

对于每个相干处理间隔(CPI),生成多个频率调制连续波(FMCW)啁啾,所述多个频率调制连续波(FMCW)啁啾具有小于全带宽的带宽和小于所述CPI的持续时间;

在每个CPI内随机化所述多个啁啾的起始频率,由此建立伪随机跳变序列;

其中,所述随机化的起始频率跨越所述全带宽;并且

其中,使用所述伪随机跳变序列重组反射的多个啁啾信号,以提供与跨越所述全带宽的单个啁啾信号类似的分辨率。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述多个啁啾在所述CPI上被随机化。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述随机化操作以打破从一个啁啾到下一个啁啾的多普勒感应的相位演化和范围感应的相位演化之间的耦合。

4. 一种减轻受害方雷达中的干扰的方法,该方法包括:

对于每个相干处理间隔(CPI),生成多个频率调制连续波(FMCW)啁啾,所述多个频率调制连续波(FMCW)啁啾具有小于全带宽的带宽和小于所述CPI的持续时间;

在每个CPI内随机化所述多个啁啾的起始频率,由此建立伪随机跳变序列;

检测一个或多个干扰雷达啁啾信号;

约束所述随机化,使得在时频域中与干扰雷达啁啾冲突的受害方雷达啁啾的数量被最小化;

其中,所述随机化的起始频率跨越所述全带宽;并且

其中,使用所述伪随机跳变序列重组反射的多个啁啾信号,以提供与跨越所述全带宽的单个啁啾信号类似的分辨率。

5. 根据权利要求4所述的方法,其中,所述检测包括检测和估计所述干扰雷达的一个或多个啁啾参数。

6. 根据权利要求4所述的方法,其中,所述约束包括修改受害方雷达啁啾的所述起始频率,以避免与干扰雷达啁啾冲突。

7. 根据权利要求4所述的方法,其中,所述约束包括维持受害方雷达啁啾的原始起始频率,但是在随机化之后,用与干扰雷达啁啾不冲突的一个或多个啁啾替代被估计与干扰雷达啁啾冲突的啁啾跳变序列。

8. 根据权利要求7所述的方法,进一步包括:将所替代的受害方雷达啁啾重新分配给一个或多个不同的时隙。

9. 根据权利要求4所述的方法,其中,约束包括修改每个受害方雷达啁啾的斜率的符号。

10. 一种减轻受害方雷达中的干扰的方法,所述方法包括:

对于每个相干处理间隔(CPI),生成多个频率调制连续波(FMCW)啁啾,所述多个频率调制连续波(FMCW)啁啾具有小于全带宽的带宽和小于所述CPI的持续时间;

在每个CPI内随机化所述多个啁啾的起始频率,由此建立伪随机跳变序列;

检测一个或多个干扰雷达啁啾信号;

在接收的被干扰雷达啁啾损坏的一个或多个受害方雷达啁啾或其一部分上消隐;以及

其中,所述随机化的起始频率跨越所述全带宽。

11. 根据权利要求10所述的方法,进一步包括:所述受害方雷达在检测到干扰之后停止

啁啾传输,从而最小化由受害方雷达对附近干扰雷达造成的干扰。

12. 根据权利要求10所述的方法,其中,消隐包括:

生成中频(IF)信号;

计算所述IF信号的复包络;

将阈值应用于所述复包络;以及

将高于所述阈值的所有值归零。

13. 一种用于受害方汽车雷达中的传感器,包括:

第一多个发射天线;

第二多个接收天线;

收发器,所述收发器被耦合至所述第一多个发射天线和所述第二多个接收天线,所述收发器操作以生成发射信号并将所述发射信号供应给所述第一多个发射天线,并接收反射回所述第二多个接收天线的波的信号;

所述收发器操作以:

对于每个相干处理间隔(CPI),生成多个频率调制连续波(FMCW)啁啾,所述多个频率调制连续波(FMCW)啁啾具有小于全带宽的带宽和小于所述CPI的持续时间;

在每个CPI内随机化所述多个啁啾的起始频率,由此建立伪随机跳变序列;

检测一个或多个干扰雷达啁啾信号;

其中,所述随机化的起始频率跨越所述全带宽;并且

其中,使用所述伪随机跳变序列重组反射的多个啁啾信号,以提供与跨越所述全带宽的单个啁啾信号类似的分辨率。

14. 根据权利要求13所述的传感器,进一步包括:所述收发器操作以约束所述随机化,使得在时频域中与干扰雷达啁啾冲突的受害方雷达啁啾的数量被最小化。

15. 根据权利要求14所述的传感器,其中,所述约束包括修改受害方雷达啁啾的所述起始频率,以避免与干扰雷达啁啾冲突。

16. 根据权利要求14所述的传感器,其中,所述约束包括维持受害方雷达啁啾的原始起始频率,但是在随机化之后,用与干扰雷达啁啾不冲突的一个或多个啁啾替代被估计与干扰雷达啁啾冲突的啁啾跳变序列。

17. 根据权利要求13所述的传感器,进一步包括:所述收发器操作以在检测到干扰时消隐一个或多个接收到的啁啾或其一部分。

18. 根据权利要求13所述的传感器,进一步包括:所述受害方雷达在检测到干扰时停止发射啁啾,从而最小化在附近的干扰雷达处造成的干扰。

## 汽车雷达之间相互干扰的检测、减轻和避免

### 技术领域

[0001] 本文中公开的主题涉及汽车雷达的领域,并且更具体地,涉及一种用于检测、减轻和避免汽车雷达之间的相互干扰的系统和方法。

### 背景技术

[0002] 近来,雷达在汽车行业中的应用已经开始出现。高端汽车已经具有向驾驶员提供停车辅助和车道偏离警告的雷达。目前,对自动驾驶汽车的兴趣越来越大,并且一些人认为自动驾驶汽车是未来几年汽车行业的主要驱动力。

[0003] 自动驾驶汽车在汽车中供应了对雷达技术的应用的新的视角。除了辅助驾驶员之外,汽车雷达将能够在车辆的控制中发挥积极作用。因此,它们可能成为汽车的自动控制系统的传感器。

[0004] 雷达优于诸如声纳或LIDAR的其它替代方案,因为它受天气条件的影响较小,并且可以制造得非常小以减小所部署的传感器对车辆空气动力学和外观的影响。调频连续波(FMCW)雷达是与其他雷达相比供应更多优点的一种雷达。保证了可以同时检测周围物体的范围和速度信息。该信息对于自动驾驶车辆的控制系统的提供安全且无碰撞的操作是至关重要的。

[0005] 目前,车辆,尤其是汽车越来越多地配备有被设计成在危急情况下帮助驾驶员的技术。除了相机和超声波传感器之外,随着相关技术的成本降低,汽车制造商正在转向雷达。雷达的吸引力在于它在任何天气条件下提供对多个物体的速度和距离的快速且清晰的测量。相关的雷达信号是调频的,并且可以用频谱分析仪进行分析。以这种方式,雷达组件的开发者可以自动检测、测量和显示时域和频域中的信号,甚至是高达500GHz的频率。

[0006] 现在对在自动车辆领域中使用雷达也有很大的兴趣,该自动车辆预计在将来会变得更加普遍。毫米波汽车雷达适用于汽车碰撞的预防和自动驾驶。从77GHz到81GHz的毫米波频率比超声波雷达和激光雷达更不易受到雨、雾、雪等其它天气因素、灰尘和噪声的干扰。

[0007] 典型的汽车雷达系统包括毫米波频率发射器和接收器。每个发射器发射被周围物体反射或散射的毫米波无线电信号。回波或反射由接收器处理,并且测量物体的范围和速度。雷达信号包括连续或脉冲调制。

[0008] 雷达系统应当能够实时提供车辆中的控制系统所需的信息。需要能够提供足够的计算能力以满足实时系统需求的基带处理系统。处理系统对接收到的信号执行数字信号处理,以提取有用信息,诸如周围物体的范围和速度。

[0009] 目前,车辆,尤其是汽车,越来越多地配备有高级驾驶员辅助系统(ADAS),其被设计为在危急情况下辅助驾驶员。开发ADAS系统来自动化、适应和增强车辆系统以进行安全和更好的驾驶。安全特征被设计为通过供应警告驾驶员潜在问题的技术来避免碰撞和事故,或者通过实施安全防护并接管对车辆的控制来避免碰撞。自适应特征可以自动照明,提供自适应巡航控制,自动制动,合并GPS/交通警告,连接到智能电话,警告驾驶员其他汽车

或危险,使驾驶员保持在正确的车道中,或示出什么在盲点中。

[0010] 有多种形式的ADAS可用:一些特征被内置在汽车中或作为附加组件可用。此外,存在可用的售后解决方案。ADAS依赖于来自多个数据源的输入,包括汽车成像、光检测和测距(LIDAR)、雷达、图像处理、计算机视觉和车内联网。附加输入可能来自与主车辆平台分离的其他源,诸如其他车辆,被称为车辆到车辆(V2V)或车辆到基础设施系统(例如,移动电话或Wi-Fi数据网络)。

[0011] ADAS目前是汽车电子中增长最快的部分之一,在包括ISO 26262的车辆安全系统中,随着工业范围质量标准的采用率的稳步增加,开发了技术特定的标准,例如用于图像传感器质量的IEEE 2020和诸如车辆信息API的通信协议。

[0012] 目前,车辆,尤其是汽车越来越多地配备有被设计用于在危急情况下帮助驾驶员的技术。除了相机和超声波传感器之外,随着相关技术的成本降低,汽车制造商正在转向雷达。雷达的吸引力在于它在任何天气条件下提供对多个物体的速度和距离的快速且清晰的测量。相关的雷达信号是调频的,并且可以用频谱分析仪来分析。以这种方式,雷达组件的开发者可以自动检测、测量和显示时域和频域中的信号,甚至是高达500GHz的频率。

[0013] 现在对在自动车辆领域中使用雷达也有很大的兴趣,该自动车辆预计在将来会变得更加普遍。毫米波汽车雷达适用于汽车碰撞的预防和自动驾驶。从77GHz到81GHz的毫米波频率比超声波雷达和激光雷达更不易受到雨、雾、雪等天气因素、灰尘和噪声的干扰。

[0014] 近年来,许多行业正在转向诸如汽车行业、递送服务等自动解决方案。这些自动平台在环境中操作,同时与静止和移动物体交互。为此,这些系统需求允许它们以可靠且有效的方式感测其周围环境的传感器套件。例如,如果自动车辆需要在其上具有其他车辆的道路上规划其路线,则轨迹规划器必须具有带有移动物体的环境的指示的3D地图。

[0015] 视觉传感器由于恶劣的天气和差的能见度(例如,雾、烟、沙、雨或雪风暴等)而劣化。它们在估计径向速度方面也受到限制。LIDAR系统用于通过利用激光照射目标来测量到该目标的距离。然而,这些传感器很昂贵,因为大多数传感器的范围非常有限。因此,汽车雷达被视为增强技术而非替代技术。

[0016] 随着相关技术的成本降低,对在自动车辆领域中使用雷达有很大的兴趣,这预计在将来会变得更加普遍。雷达受天气条件的影响较小,并且可以做得非常小,以减小所部署的传感器对车辆的空气动力学和外观的影响。雷达同时提供对周围物体的距离和速度信息的快速且清晰的切割测量,这对于自动驾驶车辆的控制系统提供安全且无碰撞的操作是至关重要的。

[0017] 毫米波汽车雷达适用于防止汽车碰撞和自动驾驶。从77GHz到81GHz的毫米波频率比声纳和LIDAR更不易受到雨、雾、雪等天气因素、灰尘和噪声的干扰。

[0018] 在汽车领域中,雷达传感器是舒适和安全功能的关键组件,诸如自适应巡航控制(ACC)或碰撞减轻系统(CMS)。随着同时靠近彼此操作的汽车雷达传感器的数量的增加,雷达传感器可能从其他雷达传感器接收信号。外来信号(干扰)的接收可能导致诸如重影目标(ghost target)或信噪比降低的问题。图1中描绘了具有来自若干周围车辆的直接干扰的这种汽车干扰场景。

[0019] 到目前为止,干扰尚未被认为是主要问题,因为装备有雷达传感器的车辆是罕见的,因此干扰的概率低。在这种情况下,检测干扰并在干扰的持续时间内关断功能(即,整个

雷达)可能是足够的。然而,未来系统的基于雷达的安全功能将需求非常低的故障率。因此,雷达对雷达的干扰是雷达传感器网络中的主要问题,尤其是当几个雷达同时在同一频带内工作且相互干扰时。注意,当前的雷达的安装的基础不能预期与新的汽车雷达传感器进入者同步,也不能预期与任何全局同步方案同步。

[0020] 如上所述,将汽车雷达应用于自动驾驶面临的主要挑战是非常可能的情况,其中可能来自不同供应商的几个不同步雷达在地理上接近并利用重叠的频带工作。

[0021] 因此,希望有一种汽车雷达传感器,该汽车雷达传感器能够通过通过对现有的ADAS雷达的特别关注来最小化其自身对其它雷达的干扰,以及减轻被其它附近雷达的干扰。进一步期望的是,具有即使在较高交通密度场景中(例如,在大城市中)也最小化相互干扰的有效技术(即,对策),并且考虑到配备有雷达传感器的车辆的百分比在不久的将来将可能大大增加。

## 发明内容

[0022] 本发明是一种频率调制连续波(FMCW)雷达传感器,其结合了检测、减轻和避免来自其它附近汽车雷达的相互干扰的能力。线性大带宽FMCW啁啾(chirp)的通常恒定的起始频率序列由较低带宽的啁啾序列代替,该较低带宽啁啾序列具有跨越较宽的带宽且在时间上随机排序的起始频率(与起始频率的不断增加的序列相反),以创建伪随机啁啾跳变序列。然后使用已知的跳变序列并利用众所周知的信号处理技术来重组接收到的反射波信号。

[0023] 为了减轻干扰,向专用接收器提供宽带监听能力。接收到的信号用于估计与其它雷达信号的冲突。如果检测到干扰,则对啁啾的随机化施加约束。跳变序列以及可能还有单个啁啾的斜率被改变,使得啁啾将不与干扰雷达的啁啾干扰。违规啁啾被重新随机化、完全丢弃、或者另一非违规啁啾的起始频率被重用。

[0024] 另外,如果检测到干扰,则使用加窗消隐来使接收到的啁啾的被干扰雷达的啁啾信号破坏的部分归零。此外,受害方雷达在检测到干扰时停止其自身的传输,目的是最小化在干扰雷达上接收到由其自身造成的干扰。

[0025] 注意,本发明的减轻技术适用于MIMO雷达以及非MIMO雷达两者。

[0026] 因此,根据本发明,提供了一种减轻雷达中的干扰的方法,该方法包括生成多个频率调制连续波(FMCW)啁啾,该多个FMCW啁啾具有相对小的带宽和短的持续时间,随机化所述多个啁啾的起始频率,并且其中,所述随机化后的起始频率跨越相对大的带宽。

[0027] 根据本发明,还提供了一种减轻受害方雷达中的干扰的方法,该方法包括:生成多个频率调制连续波(FMCW)啁啾,该多个FMCW啁啾具有相对小的带宽和短的持续时间,随机化所述多个啁啾的起始频率;检测一个或多个干扰雷达啁啾信号;约束所述随机化,使得在时频域中与干扰雷达啁啾冲突的受害方雷达啁啾的数量被最小化,并且其中,所述随机化的起始频率跨越相对大的带宽。

[0028] 根据本发明,进一步提供了一种减轻受害方雷达中的干扰的方法,该方法包括:生成多个频率调制连续波(FMCW)啁啾,该多个FMCW啁啾具有相对小的带宽和短的持续时间,随机化所述多个啁啾的起始频率;检测一个或多个干扰雷达啁啾信号;消隐被干扰雷达啁啾破坏的一个或多个受害方雷达啁啾或其一部分,并且其中,所述随机化的起始频率跨越

相对大的带宽。

[0029] 根据本发明,还提供了一种用于受害方汽车雷达中的传感器,包括:第一多个发射天线、第二多个接收天线、收发器,该收发器被耦合到所述第一多个发射天线和所述第二多个接收天线,所述收发器操作以生成发射信号并将该发射信号供应给所述第一多个发射天线且接收反射回到所述第二多个接收天线的波的信号,所述收发器操作以生成多个频率调制连续波(FMCW)啁啾,该多个FMCW啁啾具有相对小的带宽和短的持续时间,随机化所述多个啁啾的起始频率,检测一个或多个干扰雷达啁啾信号,并且其中,所述随机化的起始频率跨越相对大的带宽。

## 附图说明

[0030] 在下面的示例性实施例中并参考附图进一步详细解释本发明,其中相同或相似的元件可以部分地由相同或相似的附图标记指示,并且各种示例性实施例的特征是可组合的。本文仅通过示例的方式参考附图描述了本发明,其中:

[0031] 图1是说明示例街道场景的图,该示例街道场景合并了配备有汽车雷达传感器单元的若干车辆;

[0032] 图2是说明示例CW雷达啁啾波形的图;

[0033] 图3是说明示例发射啁啾和接收到的反射信号的图;

[0034] 图4是说明根据本发明的示例MIMO FMCW雷达的高水平框图;

[0035] 图5是说明本发明的示例数字雷达处理器IC的框图;

[0036] 图6是说明具有多个啁啾的示例CPI的图;

[0037] 图7是说明具有多个随机化后的啁啾的示例CPI的图;

[0038] 图8是说明示例受害方视图的图;

[0039] 图9是说明在去斜之后的示例受害方视图的图;

[0040] 图10是说明在去斜和低通滤波之后的示例受害方视图的图;

[0041] 图11是说明在去斜之后的示例3D受害方视图的图;

[0042] 图12是说明去斜之后的示例干扰源视图的图;

[0043] 图13是说明根据本发明的对啁啾序列的随机化进行约束的示例方法的流程图;

[0044] 图14是说明干扰检测和避免之后的示例受害方视图的图;

[0045] 图15是说明根据本发明的避免干扰的示例方法的流程图;

[0046] 图16是说明了具有干扰检测和避免的示例干扰源视图的图;

[0047] 图17是说明具有干扰检测和避免后去斜的示例受害方视图的图;

[0048] 图18是说明具有干扰检测和避免后去斜的示例干扰源视图的图;

[0049] 图19是说明无干扰的示例雷达IF信号的图;

[0050] 图20是说明具有干扰的示例IF范围频谱的图;

[0051] 图21是说明具有干扰的第一示例时域IF信号的图;

[0052] 图22是说明在消隐之前和之后具有干扰的第一示例时域IF信号的图;

[0053] 图23是说明具有干扰和加窗消隐的第一示例IF范围频谱的图;

[0054] 图24是说明具有干扰的第二示例时域IF信号的图;

[0055] 图25是说明在消隐之前和之后具有干扰的第二示例时域IF信号的图;



[0056] 图26是说明具有干扰和加窗消隐的第二示例IF范围频谱的图;以及

[0057] 图27是说明根据本发明的减轻干扰的示例方法的流程图。

### 具体实施方式

[0058] 在下面的详细描述中,阐述了许多具体细节以提供对本发明的透彻理解。然而,本领域技术人员将理解的是,可以在没有这些具体细节的情况下实践本发明。在其它情况下,没有详细描述众所周知的方法、过程和组件,以免使本发明模糊不清。

[0059] 在已经公开的这些益处和改进中,本发明的其它目的和优点将从下面结合附图的描述中变得显而易见。本文公开了本发明的详细实施例;然而,应当理解的是,所公开的实施例仅仅是可以以各种形式实现的本发明的说明。此外,结合本发明的各种实施例给出旨在是说明性的而不是限制性的每个示例。

[0060] 在本发明的结论部分中特别指出并清楚地要求保护被认为是本发明的主题。然而,当结合附图阅读时,通过参考以下详细描述,可以对于组织和操作方法以及其目的、特征和优点最好地理解本发明。

[0061] 附图构成本说明书的一部分,并且包括本发明的说明性实施例,并且示出了本发明的各种目的和特征。此外,附图不一定按比例,一些特征可能被放大以示出特定组件的细节。此外,附图中所示的任何测量、规范等旨在是说明性的而非限制性的。因此,本文公开的具体结构和功能细节不应被解释为限制性的,而是仅作为教导本领域技术人员以各种方式采用本发明的代表性基础。此外,在被认为适当的情况下,附图标记可以在附图中重复以指示对应或类似的元件。

[0062] 因为本发明的所示实施例大部分可以使用本领域技术人员已知的电子组件和电路来实现,所以为了了解和理解本发明的基本概念,并且为了不使本发明的教导模糊不清或不使从本发明的教导脱离,将不以比所认为的必要程度更大的程度来解释细节。

[0063] 说明书中对方法的任何引用应当作必要的变通后应用于能够执行该方法的系统。说明书中对系统的任何引用应当作必要的变通后应用于可以由系统执行的方法。

[0064] 在整个说明书和权利要求中,以下术语采用与本文明确相关的含义,除非上下文另有明确指示。如本文所使用的短语“在一个实施例中”、“在示例实施例中”和“在一些实施例中”尽管可以,但是不一定指代相同的实施例。此外,如本文所使用的短语“在另一实施例中”、“在替代实施例中”和“在一些其他实施例中”尽管可以,但是不一定指代不同的实施例。因此,如下所述,在不脱离本发明的范围或精神的情况下,可以容易地组合本发明的各种实施例。

[0065] 另外,如本文所使用的,术语“或”是包含性的“或”运算符,并且等同于术语“和/或”,除非上下文另有明确说明。术语“基于”不是排他性的,并且允许基于未描述的附加因素,除非上下文另有明确规定。此外,在整个说明书中,“一”、“一个”和“该”的含义包括复数引用。“在……中”的含义包括“在……中”和“在……上”。

[0066] 考虑到雷达用于汽车应用,车辆制造商目前可以利用具有不同带宽的24GHz和77GHz处的四个频带。虽然24GHz ISM频带具有250MHz的最大带宽,但是76-81GHz超宽带(UWB)提供高达5GHz的带宽。具有高达4GHz带宽的频带位于77GHz至81GHz的频率之间。它目前用于许多应用。注意,该应用的其他分配的频率包括122GHz和244GHz,其带宽仅为1GHz。

由于信号带宽确定距离分辨率,因此具有足够大的带宽在雷达应用中是重要的。

[0067] 频率调制连续波(FMCW)雷达是其中使用频率调制的雷达。FMCW雷达的操作原理是发射频率不断增加的连续波。这样的波被称为啁啾。啁啾波形10的示例在图2中示出。接收器接收被物体反射之后的发射波。图3中示出了接收器处的发射12和接收(即,反射)14啁啾波形的示例。

[0068] 说明了根据本发明的MIMO FMCW雷达的示例的高级框图在图4中示出。一般被标记为30的雷达收发器传感器包括多个发射电路38、多个接收电路32、40、本地振荡器(L0)34、例如,直接数字合成器(DDS)的斜波或啁啾发生器44以及数字雷达处理器/信号处理块36。在操作中,雷达收发器传感器通常与主机46通信并且可以由主机46控制。每个发射块包括混频器45、功率放大器43和天线41。每个接收块32、40包括天线31、低噪声放大器(LNA)33、混频器35、中频(IF)块37和模数转换器(ADC)39。在一个实施例中,雷达传感器30包括专用于监听的单独的检测宽带接收器40。传感器使用该接收器来检测由附近雷达传感器发射的带内干扰信号的存在。处理块使用检测到的干扰信号的知识来制定响应(如果有的话)以减轻和避免任何相互干扰。

[0069] 数字雷达处理器/信号处理块36可以包括能够处理、接收或发射数据或指令的任何适当的电子设备。例如,信号处理块可以包括以下中的一个或多个:微处理器、中央处理单元(CPU)、专用集成电路(ASIC)、现场可编程门阵列(FPGA)、数字信号处理器(DSP)、图形处理单元(GPU)或这样的设备的组合。如本文所述,术语“数字雷达处理器”或“处理器”意在涵盖单个处理器或处理单元、多个处理器、多个处理单元或其他适当配置的一个或多个计算元件。

[0070] 例如,处理器可以包括一个或多个通用CPU核和可选的一个或多个专用核(例如,DSP核、浮点等)。一个或多个通用核执行通用操作码,而专用核执行专用于其目的的功能。

[0071] 附接或嵌入式存储器包括动态随机存取存储器(DRAM)或扩展数据输出(EDO)存储器,或诸如ROM、静态RAM、闪存和非易失性静态随机存取存储器(NVSRAM)、可移除存储器、磁泡存储器等的其它类型的存储器、或上述任何存储器的组合。存储器存储可由设备使用的电子数据。例如,存储器可以存储电数据或内容,诸如例如雷达相关数据、音频和视频文件、文档和应用、设备设置和用户偏好、定时和控制信号或用于各种模块的数据、数据结构或数据库等。存储器可以被配置为任何类型的存储器。

[0072] 发送和接收的信号被混合(即相乘)以生成要由信号处理单元36处理的信号。相乘过程生成两个信号:一个信号的相位等于相乘信号的差值,并且另一个信号的相位等于相位的和。对和信号进行滤波,并由信号处理单元对差信号进行处理。信号处理单元执行对接收到的数字信号的所有所需处理,并且还控制所发射的信号。由信号处理块执行的若干功能包括确定范围、速度(即多普勒)、仰角、方位,执行干扰检测、减轻和避免,执行同时定位和映射(SLAM)等。

[0073] 说明本发明的示例性数字雷达处理器IC的框图在图5示出。一般被标记为390的雷达处理器IC包括若干芯片服务功能392,其包括温度传感器电路396、看门狗定时器398、上电复位(POR)电路400等、包括功率域电路402的PLL系统394、包括并行FFT引擎406的雷达处理单元(RPU)404、数据分析器电路408和直接存储器访问(DMA)电路410、包括Tx/Rx控制块414的CPU块412、安全核心块418以及L1和L2高速缓冲存储器电路424、存储器系统426和接

口 (I/F) 电路428。

[0074] Tx/Rx控制电路414合并实现本发明的机制的相互干扰检测、减轻和避免块416。安全核心块418包括系统看门狗定时器电路420和适于实现RFBIST机制的可选RFBIST电路。I/F电路包括用于雷达输出数据430、TX控制432、RX控制434、外部存储器436和RF时钟438的接口。

[0075] 注意,取决于特定实现,数字雷达处理器电路390可以在单片硅上或在跨几个集成电路实现。类似地,取决于特定实现,发射器和接收器电路可以在单个IC上或跨若干IC实现。

[0076] 注意,与其它类型的雷达相比,FMCW雷达供应了许多优点。这些优点包括(1)以高精度测量小范围的能力;(2)同时测量目标范围及其相对速度的能力;(3)可以在相对低的频率范围内执行信号处理,显著简化了处理电路的实现;(4)在诸如如雨、雪、潮湿、雾和灰尘条件的各种类型的天气和大气条件下都能很好地发挥作用;(5)FMCW调制与固态发射器兼容,并且还表示可从这些设备获得的输出功率的最佳使用;以及(6)由于不存在高电路电压,因此重量轻且能耗低。

[0077] 当在汽车应用中使用雷达信号时,期望的是在单个测量周期内同时确定多个物体的速度和距离。普通脉冲雷达不能容易地处理这样的任务,因为基于一个周期内发射和接收信号之间的时间偏移,仅能确定距离。如果也要确定速度,则使用频率调制信号,例如线性频率调制连续波(FMCW)信号。脉冲多普勒雷达还能够直接测量多普勒偏移。发射和接收信号之间的频率偏移也被称为拍频(beat frequency)。拍频具有多普勒频率分量 $f_D$ 和延迟分量 $f_T$ 。多普勒分量包含关于速度的信息,并且延迟分量包含关于范围的信息。在范围和速度的两个未知数的情况下,需要两个拍频测量来确定所期望的参数。紧接在第一信号之后,具有线性修改频率的第二信号被合并到测量中。

[0078] 利用FM啁啾序列,在单个测量周期内确定两个参数是可能的。由于单个啁啾与总测量周期相比非常短,所以每个拍频主要由延迟分量 $f_T$ 确定。以此方式,可在每一啁啾之后直接确定该范围。确定序列内的几个连续啁啾之间的相位偏移允许使用傅里叶变换来确定多普勒频率,使得可能计算车辆和其他移动物体的速度。注意,速度分辨率随着测量周期的长度增加而提高。

[0079] 多输入多输出(MIMO)雷达是一种使用多个TX天线和RX天线来发射和接收信号的雷达。阵列中的每个发射天线独立地辐射与从其它天线辐射的信号不同的波形信号。可替代地,信号可以是相同的,但是在不重叠的时间一次一个发射元件发射。属于每个发射器天线的反射信号可以在接收天线中容易地分离,因为(1)当从所有发射元件同时发射时,在发射中使用正交波形,或者(2)因为它们在非重叠时间分别从每个发射元件被接收。创建包含从每个发射天线到每个接收天线的信息的虚拟阵列。因此,如果存在M个发射天线和K个接收天线,则在虚拟阵列中将存在 $M \times K$ 个独立的发射和接收天线对。然而,这仅使用 $M+K$ 个物理天线来实现。MIMO雷达系统的这种特性导致若干优点,诸如增加的空间分辨率、增加的天线孔径和更高的灵敏度以改进对缓慢移动对象的检测。

[0080] 如上所述,从不同TX天线发射的信号是正交的。发射波形的正交性可以通过使用时分复用(TDM)、频分复用(FDM)或空间编码来获得。在示例和本文中呈现的描述中,使用每次仅允许单个发射机进行发射的TDM。

[0081] 在存在诸如来自其它汽车雷达的相互干扰的情况下,一种干扰抑制方法是将雷达载波频率偏移到不被雷达到雷达干扰污染的频率范围。然而,这种方法的问题在于,通常难以找到具有足够带宽的自由频带来操作以用于分布式雷达传感器网络。它还需要使用更难以设计和制造的更高带宽的天线。

[0082] 另一种干扰抑制方法将除了干扰之外的所有信号移除,类似于关断发射机,以从原始雷达信号中减去。该技术具有峰必须与干扰分离或至少不完全被干扰占据的限制。

[0083] 在另一种干扰抑制方法中,首先使用迭代滤波算法来抑制雷达对雷达的干扰,并且然后对每个雷达使用分离的匹配滤波。

[0084] 时域或频域中的其它干扰抑制方法包括时频消隐、重构并且然后相减,以及范围域正交投影滤波。在多静态自适应脉冲压缩算法中,给定各个雷达波形的知识,在相同频带内同时接收的雷达信号被分离。该算法基于最小均方误差公式的递归实现。通过利用同时分辨率单元的估计值,为每个接收到的雷达信号的每个分辨率单元估计自适应接收滤波器。然而,这些方法不适于应付宽带或非平稳干扰,特别是通常在分布式雷达传感器网络中发生的宽带雷达到雷达干扰。

[0085] 在另一种干扰抑制方法中,正常发送的啁啾在带宽和持续时间上显著减小。在图6中示出了说明具有多个啁啾的示例CPI的图。在相干处理间隔(CPI)20期间发送多个啁啾22,每个啁啾22具有持续时间 $T_c$ 并且具有带宽(在本文中提出的示例中为1GHz)。

[0086] 在一个实施例中,为了减轻相互干扰以及改善多普勒处理的解耦并降低IF级中所需的采样率,如图7所示,各个发射啁啾在带宽和持续时间中被降低。每个啁啾26具有较短的持续时间 $T_c$ 和较小的带宽。在该示例中,每个啁啾的带宽从1GHz减小到125MHz。每个啁啾具有起始频率 $f_s$ 和结束频率 $f_e$ 。虽然CPI内没有啁啾在时间上重叠,但是它们可以在频率上重叠。因此,考虑到80GHz-81 GHz之间的频率范围,两个啁啾的起始频率例如可以是80.11GHz和80.12GHz,其中每个啁啾具有125MHz的带宽。

[0087] 在另一实施例中,为了提高处理增益并减轻干扰,每个啁啾的起始频率在CPI或一些其它期望的间隔上被随机化。优选地,随机化后的序列覆盖整个带宽,例如,在该示例中为1GHz。

[0088] 作为说明性示例,考虑具有1GHz的聚合带宽的雷达传感器,该雷达传感器转换为15cm的距离分辨率,20ms的相干处理间隔(CPI)和6微秒的啁啾持续时间 $T_c$ 。这产生CPI/ $T_c$  = 3333个啁啾的啁啾序列。如果假设每个啁啾具有125MHz的带宽并且所分配的RF频带从80GHz扩展到81GHz,则啁啾的起始频率必须在80GHz到80.875GHz的范围内,否则啁啾溢出所分配的范围。

[0089] 接下来,将80GHz到80.875GHz频带划分为3333个均匀间隔的起始频率 $f_s$ 。接下来,3333个起始频率被随机地重新排序并用于发射啁啾序列。注意,随机化用于打破从一个啁啾到下一个啁啾的多普勒感应的相位演化和范围感应的相位演化之间的耦合。这通常被称为慢时间相位或视频相位。如果啁啾序列以单调增加的起始频率排序被发射,则实际上不可能确定视频相位演化是源于范围还是多普勒。因此,“频率跳变”或“啁啾跳变”的形式被应用于啁啾。跳变图案在CPI上被随机化,但不限于此,并且可以在其他时间段上被随机化。

[0090] 在图8中示出了说明示例性受害方视图的图。该频谱图(即,频率与时间以及功率一起作为颜色阴影)示出了结合本发明的机制的附近干扰雷达的示例性缓慢、高带宽啁啾

50和受害方雷达30(图4)的快速的、较小带宽子啁啾。在该示例中,受害方雷达发射向上啁啾(正斜率),并且干扰雷达发射向下啁啾(负斜率)。示出了与干扰雷达的通常长啁啾相比,受害方雷达30的较短啁啾的随机跳变。当长的向下倾斜的啁啾50与较短的向前倾斜的啁啾52交叉时,发生干扰,这发生在图8的频谱图中的多个位置中。

[0091] 注意,从图8的频谱图可以明显地,即使不使用任何干扰避免技术,一些干扰雷达啁啾也根本不干扰受害方雷达啁啾。因此,与使用跨全频带(例如,在该示例中为1GHz)的传统较长啁啾12(图3)的雷达30相比,实现了好得多的情况。在全1GHz啁啾的情况下,除非雷达是同步的,否则两个雷达之间的交叉(即,冲突)将是不可避免的。还要注意,在这种情况下,避免技术将仅在两个雷达具有类似的斜率并且在时间上不重叠的情况下起作用。然而,这种避免技术将仅在一对一的情况下起作用。避免具有不同斜率的两个或更多个其他雷达实际上将是不可能的。

[0092] 在图9中示出了说明去斜之后的示例性受害方视图的图。该频谱图(即,频率与时间以及功率一起作为颜色阴影的功率)示出了去斜过程之后的图8的频谱图,该频谱图包括受害方雷达30期望信号60和干扰雷达信号62。注意,在由受害方雷达30进行处理期间,由干扰雷达发射的啁啾在受害方雷达的啁啾重组过程期间被斩波。还要注意,对受害方雷达的干扰发生在零频率附近并且在12MHz的IF带宽内,其中任何一条线62都与线60交叉。

[0093] 在图10中示出了说明去斜和低通滤波之后的示例受害方视图的图。这里示出的频谱图是在去斜和低通滤波之后具有干扰的受害方的雷达基带信号的频谱图。在大约4MHz处的虚线180表示受害方雷达30的多个啁啾,而垂直线182表示来自干扰雷达的干扰。与线180交叉的每条线182表示对受害方雷达30的干扰。

[0094] 在图11中示出了说明去斜之后的示例3D受害方视图的图。该频谱图与图9的频谱图相同,但是具有不同的视点,其中干扰水平以DBS为单位的高度示出。注意,干扰雷达的斩波啁啾72比期望信号70高大约30dB。还注意,受害方雷达30仅在干扰线72与线70交叉的地方遭受干扰。

[0095] 在图12中示出了说明去斜之后的示例干扰源视图的图。该频谱图表示干扰雷达所见。本发明的雷达30被认为是受害方。因此,短斜线76表示由干扰雷达看到的跳变啁啾图案,并且零频率附近的线74表示去斜的干扰源的期望信号。这里,干扰源的雷达仅在线76中的一条与线路74交叉时遭受干扰。

[0096] 因此,如上所述,在不存在干扰的情况下,用于发射啁啾的随机化无约束顺序序列是足够的,并实现良好的结果。然而,在存在具有已知参数的干扰的情况下,单独的随机化不足以防止接收机由于来自附近雷达的啁啾信号,即,进入受害方的接收机的IF的干扰啁啾信号之间的“冲突”而遭受干扰。

[0097] 为了克服这一点,本发明的雷达传感器对随机化过程施加约束。约束是在随机化之后,在时频域中没有啁啾与干扰信号重叠。该技术可以取决于具体应用以任何适当的方式实现。

[0098] 在图13中示出了说明根据本发明的对啁啾序列的随机化进行约束的示例方法的流程图。在一个实施例中,在随机化啁啾序列(步骤250)之后,考察啁啾间隔以查看它们是否将与干扰源信号冲突(步骤252)。这可以基于啁啾的已知起始带宽及其带宽来确定。在受害方雷达上构建序列中的干扰的所有啁啾的列表。这些啁啾中的每个啁啾被重新随机化

(步骤254),并且被再次检查它们是否与干扰源信号重叠(步骤256)。如果这样,则它们被重新随机化。该过程继续,直到发现不与干扰雷达信号干扰的新的随机间隔,或者达到重试次数的限制(步骤258)。在后一种情况下,原始违规啁啾被丢弃(即,在其位置没有任何东西被发射),或者重复无干扰啁啾中的一个(即,起始频率被重复使用)(步骤260)。

[0099] 在图14中示出了说明干扰检测和避免之后的示例受害方雷达视图的图。在一个实施例中,受害方雷达30能够减轻和避免上述频谱图中所示的相互干扰。使用由检测接收器40(图4)提供的检测能力,雷达30用于检测和估计其他干扰雷达的啁啾参数,诸如带宽、持续时间、定时等。

[0100] 在一个实施例中,这可以通过专用检测接收机用相对快的ADC对其天线看到的总RF带宽进行采样来实现。可替代地,在监听模式下(例如,使用透视或单独的LO)使用周期性全啁啾(即,“被盗(stolen)”)。

[0101] 一旦估计了干扰雷达的啁啾特性,则受害方雷达30改变啁啾的起始频率,以便避免干扰其它干扰雷达的啁啾。在图14的频谱图中示出了改变的结果的示例,其中,受害方雷达30啁啾82现在被描绘为不与干扰雷达啁啾80中的任何交叉。将这种干扰的减少与图8的频谱图进行比较,图8的频谱图表示在没有本发明的减轻技术的情况下的受害方雷达视图。

[0102] 注意,雷达30可以被配置为:(1)改变每个啁啾的起始频率,从而创建每个啁啾的定制起始频率,或者仅选择被估计与干扰源的啁啾冲突的啁啾;(2)保持啁啾的原始起始频率,但是在随机化啁啾之后,置换出被估计与干扰雷达的啁啾冲突的啁啾跳变序列,并且用不与干扰源的啁啾冲突的一个或多个啁啾替代它们,并且将换出的一个或多个啁啾重新分配给一个或多个其它时隙;或(3)上述两种技术的组合。

[0103] 在另一实施例中,如果检测到干扰,则受害方雷达30除了改变啁啾的起始频率之外,还可以修改每个啁啾的斜率的符号(即,每个啁啾的频率是上升还是下降,其分别等于正斜率还是负斜率)。

[0104] 在图15中示出了说明根据本发明避免干扰的示例方法的流程图。如上所述,受害方雷达首先检测干扰雷达的啁啾(步骤184)。然后估计干扰雷达的啁啾的参数(步骤186)。基于所估计的参数,修改针对受害方雷达的啁啾的跳变序列以避免与干扰雷达的啁啾信号冲突(步骤188)。

[0105] 在图16中示出了说明具有干扰检测和避免的示例干扰源视图的图。该频谱图中,干扰雷达的啁啾84不与受害方雷达的随机化且受约束的啁啾86冲突。注意,优选地,考虑在给定汽车场景的性质和被认为是可接受水平的残余互干扰的情况下被认为适当的两个雷达之间的最大传播延迟。

[0106] 在图17中示出了说明具有干扰检测和避免后去斜的示例受害方视图的图。在该频谱图中,干扰雷达的啁啾92不与受害方雷达的啁啾90冲突。注意零频率附近的无干扰区。然而,还要注意,多个啁啾间隔是空的。这是随机化约束方法的结果,所述随机化约束方法导致其起始频率不能被重新分配的若干啁啾。在该示例中,啁啾被简单地删除(即,跳过并且不被发射),而不是重用起始频率。这种干扰的减少将与图9的频谱图进行比较,图9的频谱图表示在没有本发明的减轻技术的情况下的受害方雷达视图。

[0107] 在图18中示出了说明干扰检测和避免后去斜之后的示例干扰源视图。在该频谱图中,受害方的啁啾96不与干扰雷达的啁啾94冲突。注意零频率附近的无干扰区。这种干扰的

减少将与图11的频谱图进行比较,图11的频谱图表示在没有本发明的减轻技术的情况下的受害方雷达视图。

[0108] 在图19中示出了说明无干扰的示例雷达IF信号的图。由于不存在干扰,所以整个帧是有效的,并且如由涵盖整个帧的消隐信号100所表示的那样被使用。在加窗之前示出了没有干扰的雷达信号102。窗口(例如,Hann)104被应用于信号102,从而产生加窗信号106。注意,在避免减轻失败或不可能的情况下,发生冲突。

[0109] 在图20中示出了说明具有干扰的示例IF距离频谱的图。加窗信号106(图19)的快速傅里叶变换(FFT)被示出为没有干扰(信号110)、具有干扰(信号112)、具有矩形消隐(信号114)和具有加窗消隐(信号116)。注意,图19和图20提供了下文描述的图21、图22、图23、图24、图25和图26的参考。

[0110] 除了受害方的雷达避免与干扰雷达的啁啾信号冲突之外,本发明的雷达还提供了通过消隐啁啾被干扰啁啾信号破坏的一部分(即冲突区域)来减轻干扰的能力。下面提供和讨论两个示例。在第一示例中,两个信号之间的冲突(即,干扰啁啾进入受害方接收机的IF的地方)发生在啁啾的开始附近。在第二示例中,两个信号之间的冲突更靠近啁啾的中间发生。

[0111] 在另一实施例中,干扰减轻可以包括只要检测到干扰,受害方雷达就停止其自身的传输。这用于最小化由受害方雷达30对附近雷达造成的干扰,无论它们是否干扰受害方。

[0112] 在图21中示出了说明具有干扰的第一示例时域IF信号的图。在该示例中,干扰出现在受害方的雷达IF带宽中,并且发生在啁啾间隔的开始附近。干扰的幅度比期望信号强大约30dB。为了检测干扰,计算信号的包络(例如,复包络),并且然后对包络进行平滑。然后,例如,将阈值设置为30%百分位数加上一些正偏差。应理解的是,取决于特定实施方式,可使用其它阈值。例如通过中值滤波器对检测到的任何干扰(即,每当经平滑的包络超过阈值时)进行滤波。然后,识别期望信号没有干扰的区域,并且将每个区域乘以具有匹配长度的窗口。然后,照常进行信号处理,例如范围FFT计算、多普勒FFT计算、方位角和/或仰角计算、数字波束形成等。

[0113] 在图27中示出了说明根据本发明的减轻干扰的示例方法的流程图。首先,生成IF信号(步骤210)。计算IF信号的复包络(步骤212)。然后使用任何适当的滤波器对复包络进行平滑(步骤214)。使用任何适当的方法来确定要应用于经平滑的复包络信号的阈值(步骤216)。应用阈值,由此将高于阈值的所有值归零(即,消隐)(步骤218)。然后将窗口应用于消隐信号(步骤220)。

[0114] 特别地,参考图21,受害方雷达的IF级的时域信号输出(信号120)被干扰源的雷达啁啾破坏。计算信号的复包络(信号122)以及经滤波或经平滑的包络(即,在低通滤波之后)(信号124)。使用任何适当的方法确定应用于经平滑的包络的阈值126。高于阈值的信号的任何部分被消隐(即,被归零)。注意,确定阈值的一种方法是计算经平滑包络值的百分位数并向其添加正偏差。

[0115] 在图22中示出了说明在消隐之前和之后具有干扰的第一示例时域IF信号。示出在消隐之前的信号130。消隐信号134的高电平指示信号的有效且要使用的部分,而低电平表示信号的要被归零(即,无效且要被丢弃)的那些部分。垂直线131指示有效信号开始的位置,垂直线133指示有效信号停止和消隐应当开始的位置,垂直线135指示消隐应当结束并

且有效信号再次开始的位置,以及垂直线137指示有效信号结束的位置。注意,在加窗之前和应用窗口136之后都示出了应用消隐之后的信号132。

[0116] 在图23中示出了说明具有干扰和加窗消隐的第一示例IF范围频谱的图。加窗信号132(图19)的快速傅里叶变换(FFT)被示出为没有干扰(信号140)、具有干扰(信号142)以及没有干扰消隐减轻、具有矩形干扰消隐减轻(信号144)以及具有加窗干扰消隐减轻(信号146)。

[0117] 注意,如范围FFT频谱所示,如果干扰没有被减轻(消除或消隐),则用于目标检测的自由动态范围被严重降低。如果干扰样本仅被归零,即矩形消隐,则提升动态范围,但是仍然距无干扰情况较远。然而,如果采用加窗消隐,则可用于检测的动态范围几乎与无干扰情况一样好。因此,使用加窗干扰消隐减轻实现了显著的检测改进。

[0118] 在图24中示出了说明具有干扰的第二示例时域IF信号的图。在该示例中,干扰出现在受害方的雷达IF带宽中,并且发生在啁啾间隔的中间附近。如在图18的情况下,加窗消隐实现远比与没有消隐或利用矩形加窗的消隐更好的结果。在啁啾中间的干扰的情况下,(1)可以使用啁啾的两个部分,即,在干扰之前和之后(如图24所示,其中,所得到的峰看起来如预期被划分,或者(2)仅使用信号的较长部分,由此获得较宽的峰,但是不对其进行划分。

[0119] 干扰的幅度大约比期望信号强30dB。为了检测干扰,计算信号的包络(例如,复包络),并且然后对包络进行平滑。然后例如将阈值设置为30%百分位数。应当理解的是,取决于特定应用,可以使用其他阈值。例如,使用中值滤波器对干扰检测(即,每当经平滑的包络超过阈值时)进行滤波。然后,识别期望信号没有干扰的区域,并且将每个区域乘以具有匹配长度的窗口。然后照常进行信号处理,例如范围FFT计算、多普勒FFT计算等。

[0120] 特别地,参考图24,受害方雷达的IF级的时域信号输出(信号150)被干扰源的雷达啁啾破坏。计算信号的复包络(信号152)以及对包络进行滤波或平滑(即在低通滤波之后)(信号154)。使用任何适当的方法确定应用于经平滑的包络的来确定阈值146。高于阈值的信号的任何部分被消隐(即,被归零)。注意,确定阈值的一种方法是计算经平滑的包络值的百分位数加上一些正偏差。

[0121] 在图25中示出了说明在消隐之前和之后具有干扰的第二示例时域IF信号。示出在消隐之前的信号160。消隐信号164、168的高电平指示信号的有效且要被使用的部分,而低电平表示信号的要被归零(即,无效且要被丢弃)的那些部分。垂直线161指示有效信号开始的位置,垂直线163指示有效信号停止且消隐应开始的位置,垂直线165指示消隐应结束且有效信号再次开始的位置,以及垂直线167指示有效信号结束的位置。注意,在加窗之前和应用窗口166和169之后都示出了消隐之后应用的信号162。

[0122] 在图26中示出了说明具有干扰和加窗消隐的第二示例IF距离频谱的图。加窗信号162(图22)的快速傅里叶变换(FFT)被示出为没有干扰(信号170)、具有干扰(信号172)以及没有干扰消隐减轻、具有矩形干扰消隐减轻(信号174)以及具有加窗干扰消隐减轻(信号176)。

[0123] 注意,如范围FFT频谱所示,如果干扰没有被减轻(消除或消隐),则用于目标检测的自由动态范围被严重降低。如果干扰样本仅被归零,即矩形消隐,则提升动态范围,但是仍然距无干扰情况较远。然而,如果采用加窗消隐,则可用于检测的动态范围几乎与无干扰



情况一样好。因此,使用加窗干扰消隐减轻来实现显著的检测改进。

[0124] 有效地“关联”实现相同功能的组件的任何布置,使得实现期望的功能。因此,本文中被组合以实现特定功能的任何两个组件可以被视为彼此“相关联”,使得实现期望的功能,而不管架构或中间组件如何。同样地,如此相关联的任何两个组件也可以被视为彼此“可操作地连接”或“可操作地耦合”以实现期望的功能。

[0125] 此外,本领域技术人员将认识到,上述操作之间的边界仅仅是说明性的。多个操作可以组合成单个操作,单个操作可以分布在附加操作中,并且操作可以在时间上至少部分重叠地执行。此外,替代实施例可以包括特定操作的多个实例,并且可以在各种其他实施例中改变操作的顺序。

[0126] 本文中使用的术语仅用于描述特定实施例的目的,并不旨在限制本发明。如本文所使用的,单数形式“一”、“一个”和“该”旨在也包括复数形式,除非上下文另有明确指示。将进一步理解的是,当在本说明书中使用术语“包括(comprises)”和/或“包括(comprising)”时,指定所述特征、整数、步骤、操作、元件和/或组件的存在,但不排除一个或多个其它特征、整数、步骤、操作、元件、组件和/或其组的存在或添加。

[0127] 在权利要求中,置于括号之间的任何附图标记不应被解释为限制权利要求。在权利要求中使用诸如“至少一个”和“一个或多个”的介绍性短语不应被解释为暗示由不定冠词“一”或“一个”引入另一权利要求要素将包含这样引入的权利要求要素的任何特定权利要求限制为仅包含一个这样的元素的发明,即使当相同权利要求包括介绍性短语“一个或多个”或“至少一个”以及诸如“一”或“一个”的不定冠词时。对于定冠词的使用也是如此。除非另有说明,否则诸如“第一”、“第二”等的术语用于任意地区分这些术语所描述的元件。因此,这些术语不一定旨在指示这样的元素的时间或其他优先次序。在相互不同的权利要求中叙述某些措施的事实并不表示不能有利地使用这些措施的组合。

[0128] 以下权利要求中的所有装置或步骤加上功能元件的对应结构、材料、动作和等同物旨在包括用于与如具体要求保护的其他要求保护的元件组合地执行功能的任何结构、材料或动作。已经出于说明和描述的目的提出了本发明的描述,但并不旨在详尽的或将本发明限制为所公开的形式。由于本领域技术人员将容易想到许多修改和改变,因此旨在本发明不限于本文中描述的有限数量的实施例。因此,将理解的是,在落入本发明的精神和范围内,可以诉诸于所有适当的变化、修改和等同形式。选择和描述实施例以便最好地解释本发明的原理和实际应用,并使本领域的其他普通技术人员能够理解本发明的各种实施例,这些实施例具有适合于预期的特定用途的各种修改。

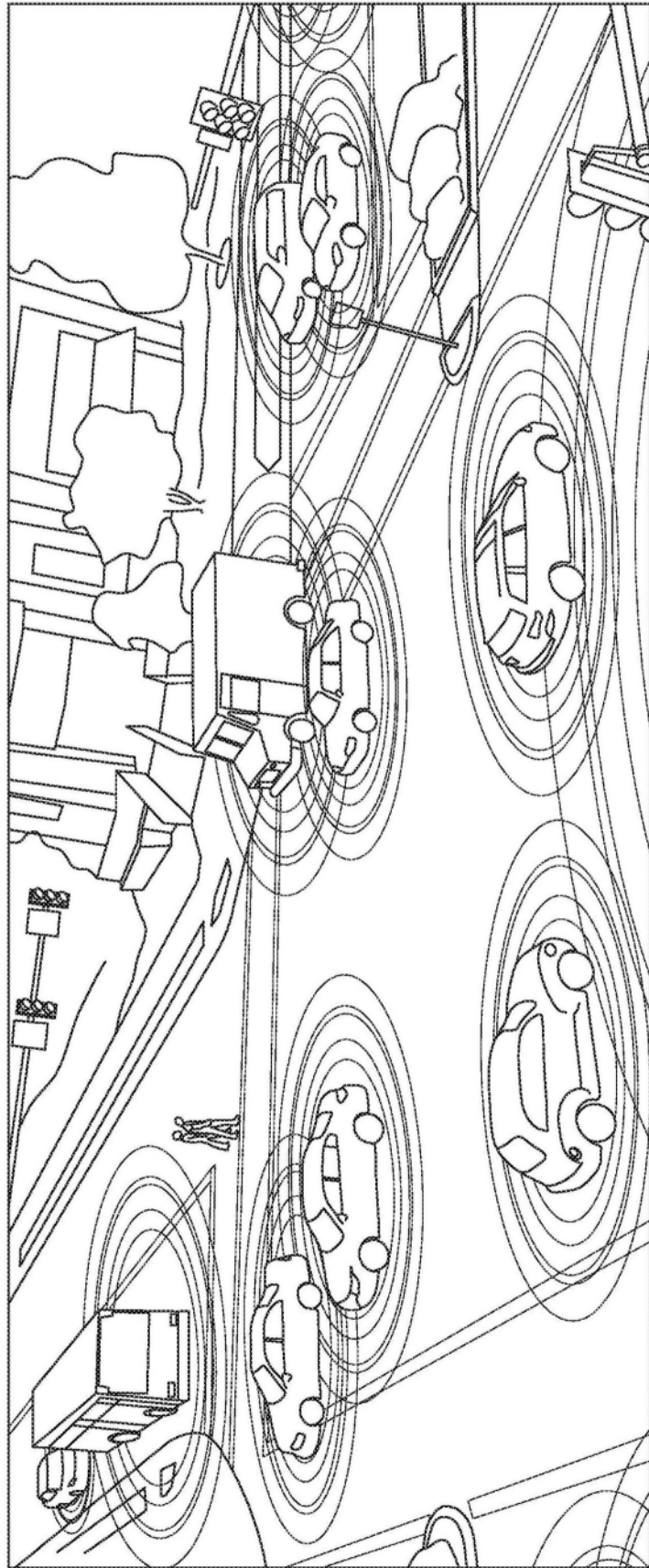


图1

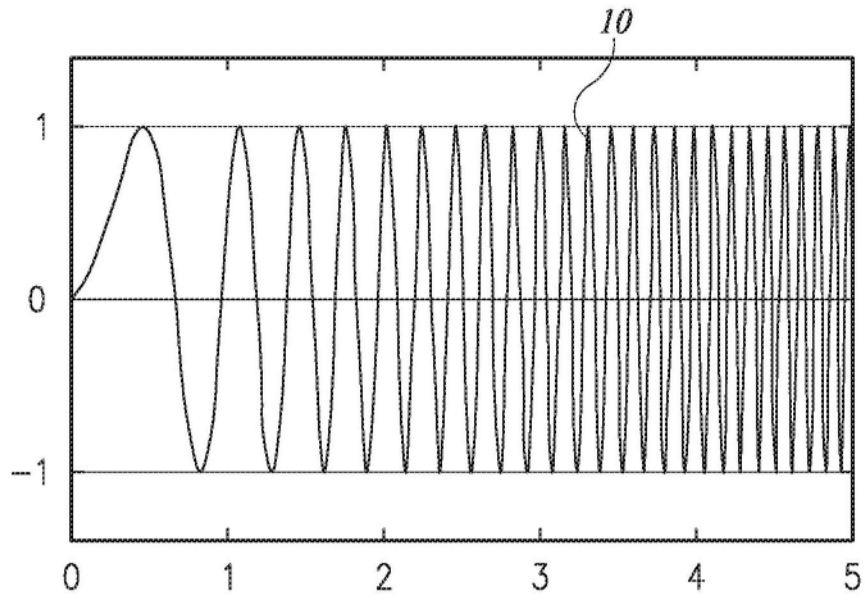


图2

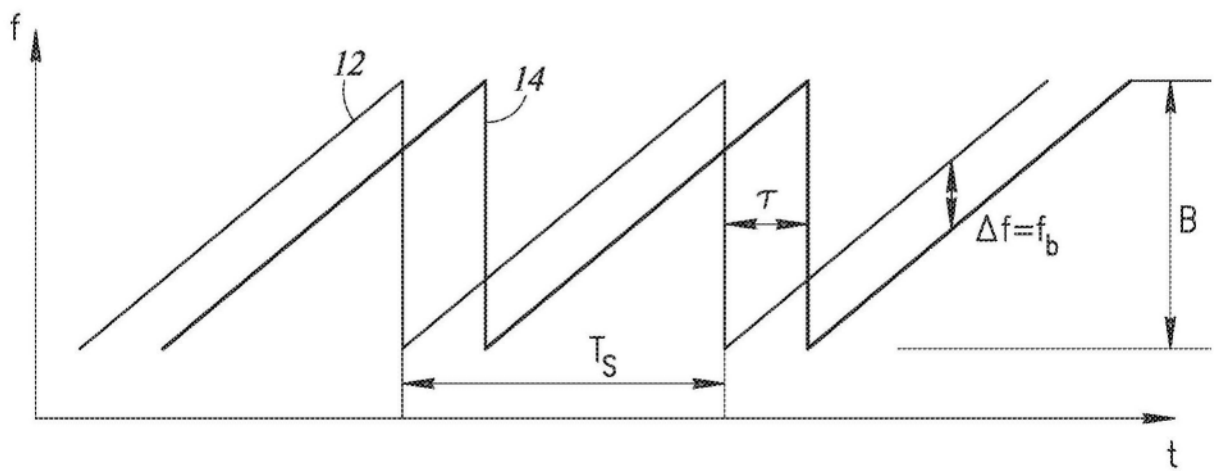


图3

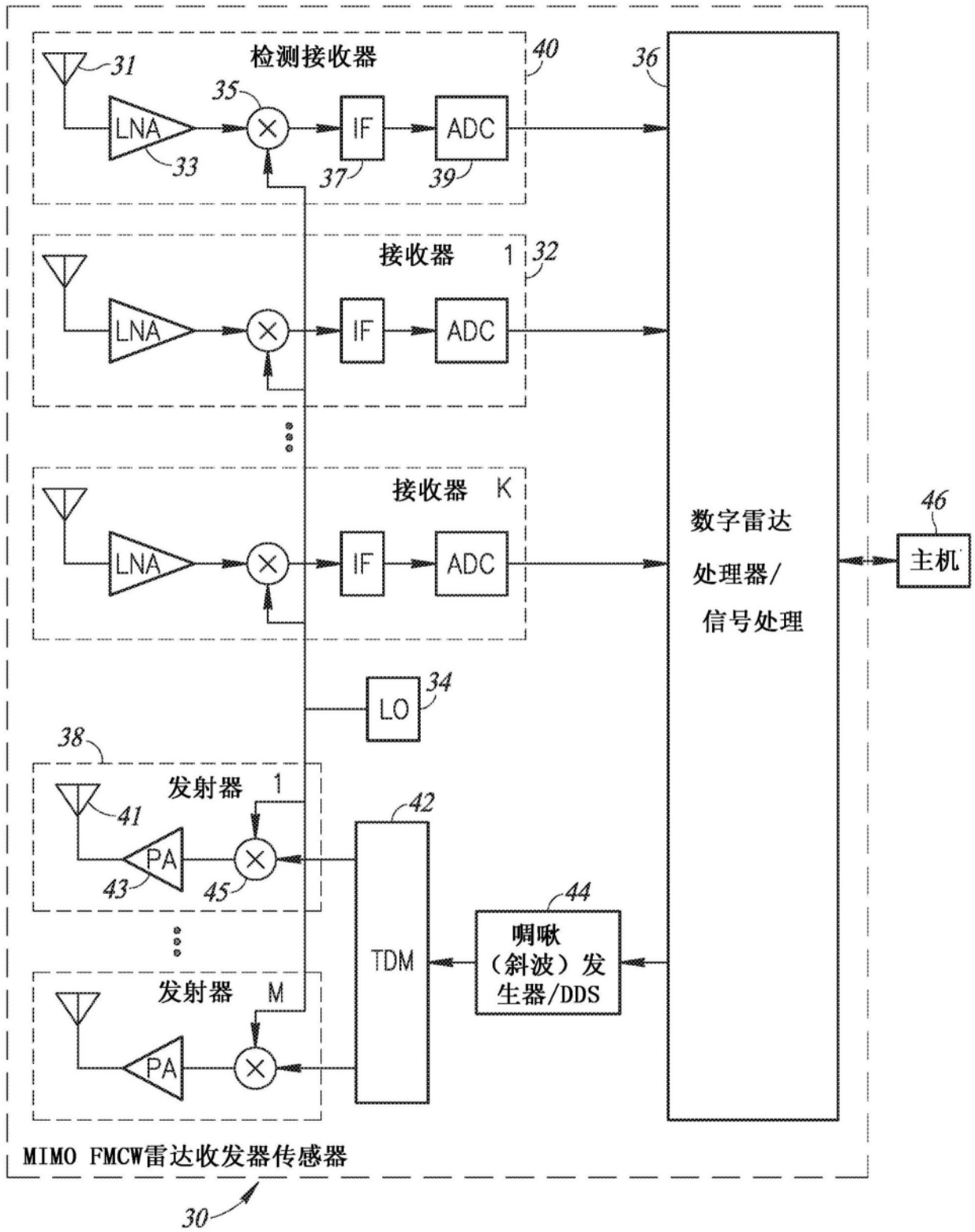


图4

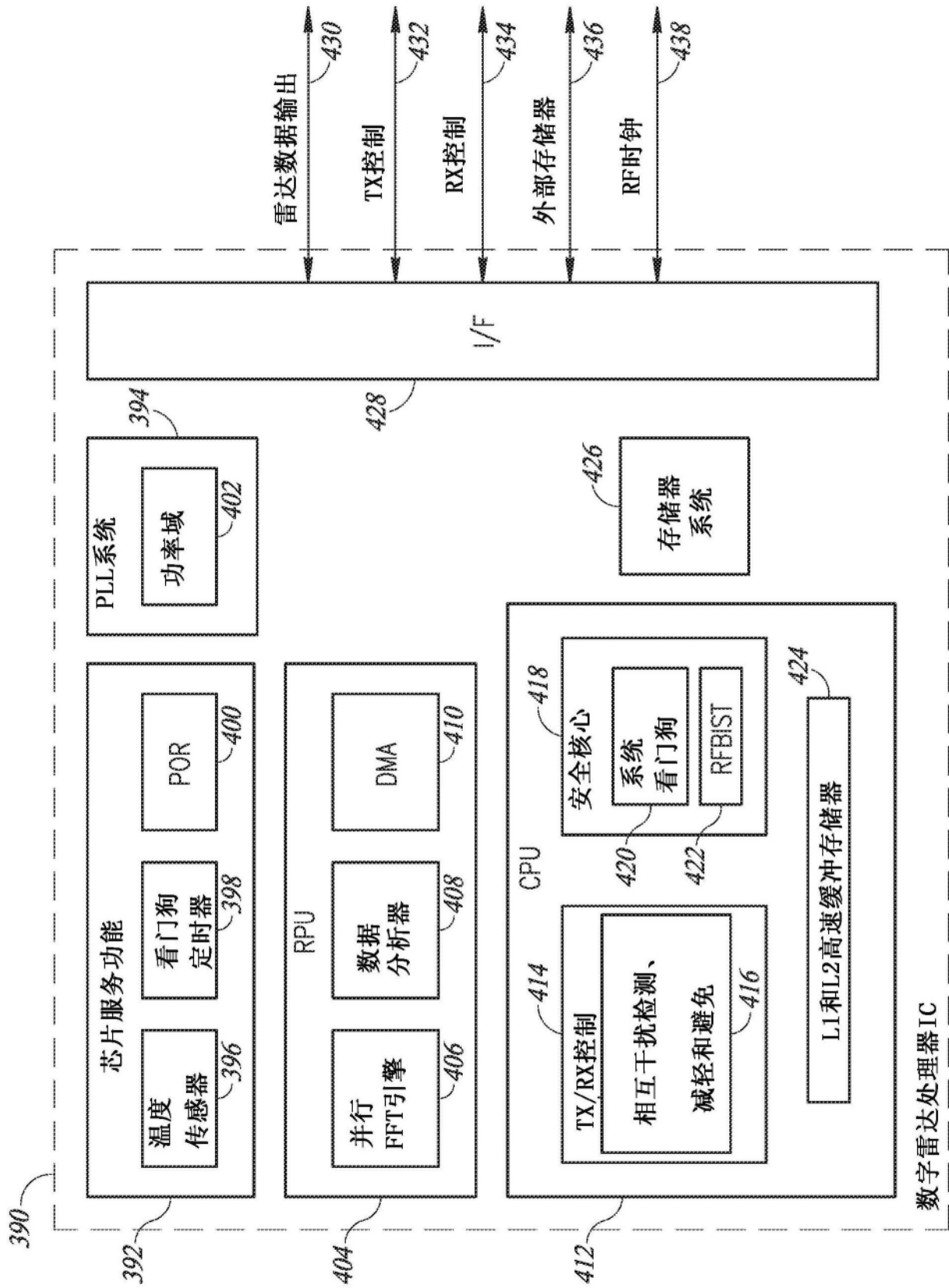


图5

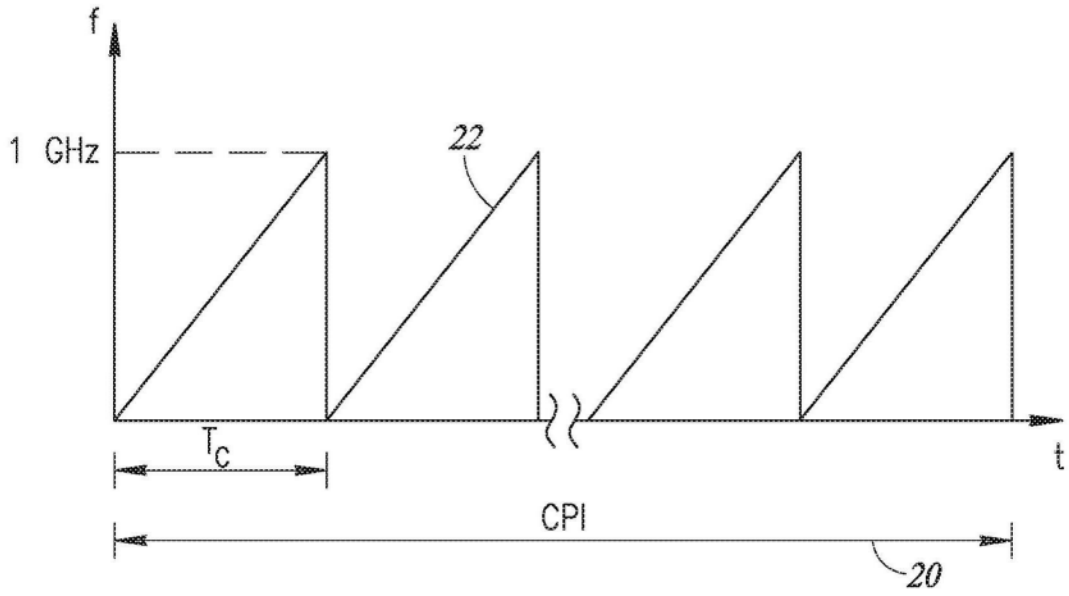


图6

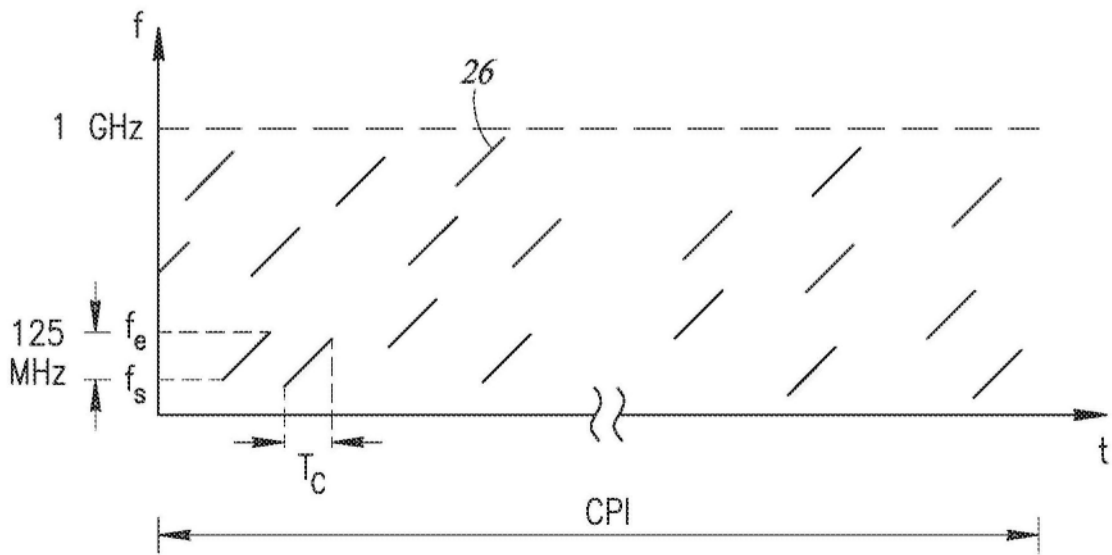


图7

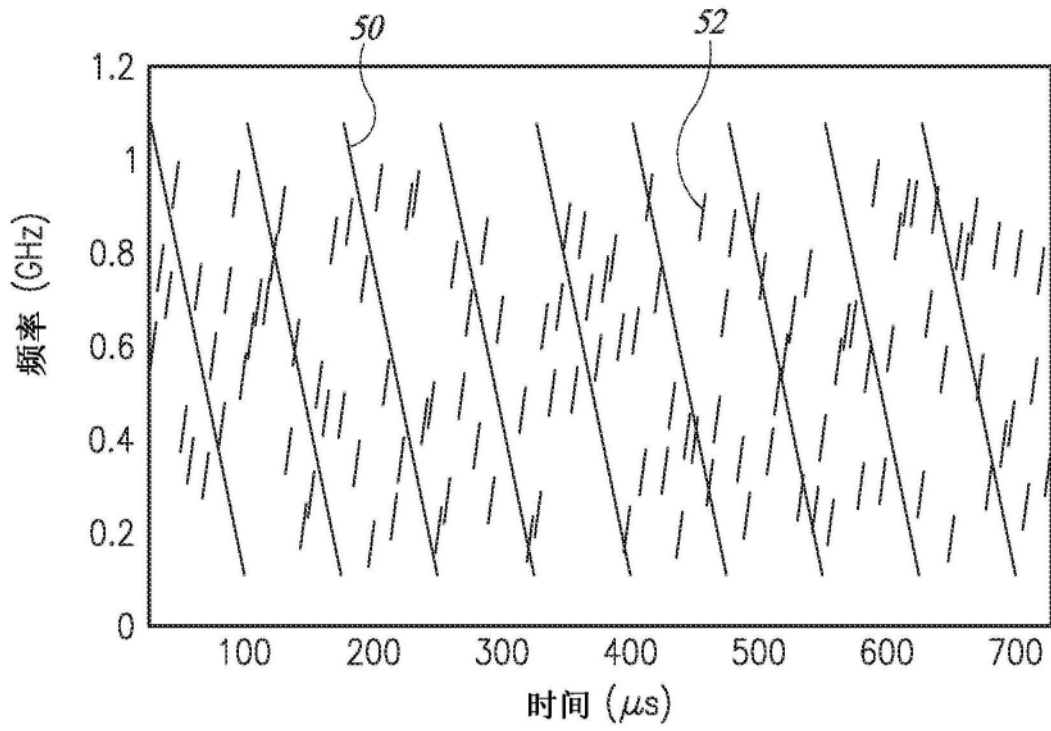


图8

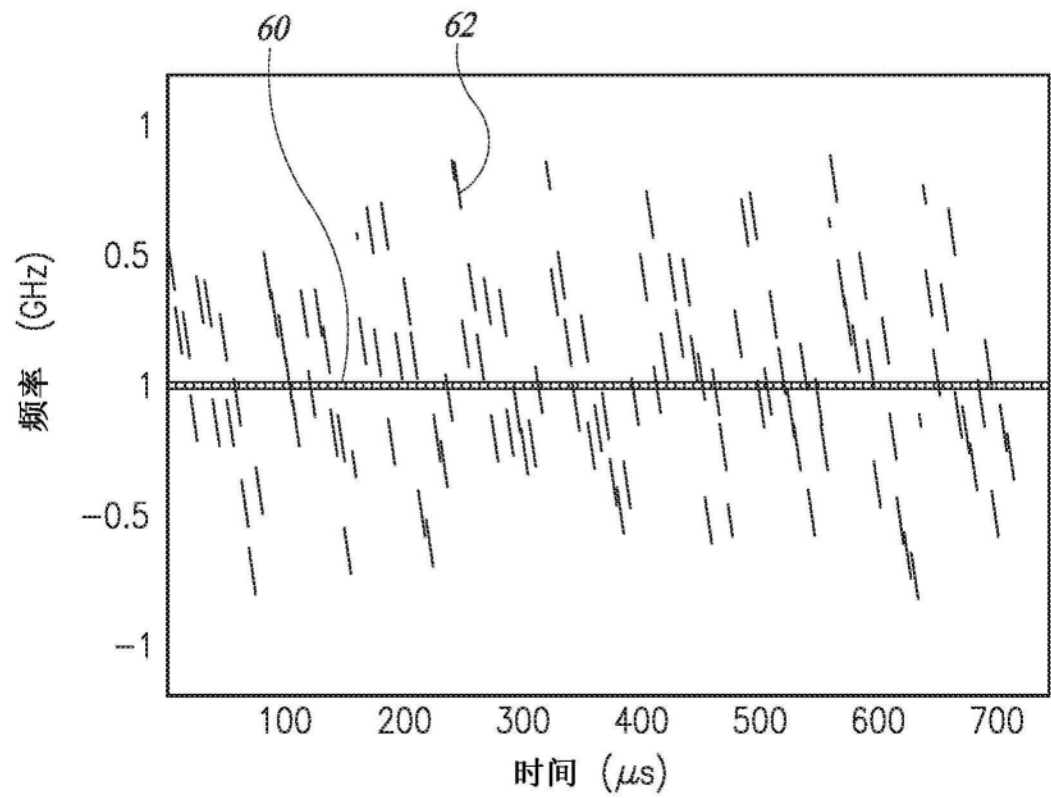


图9

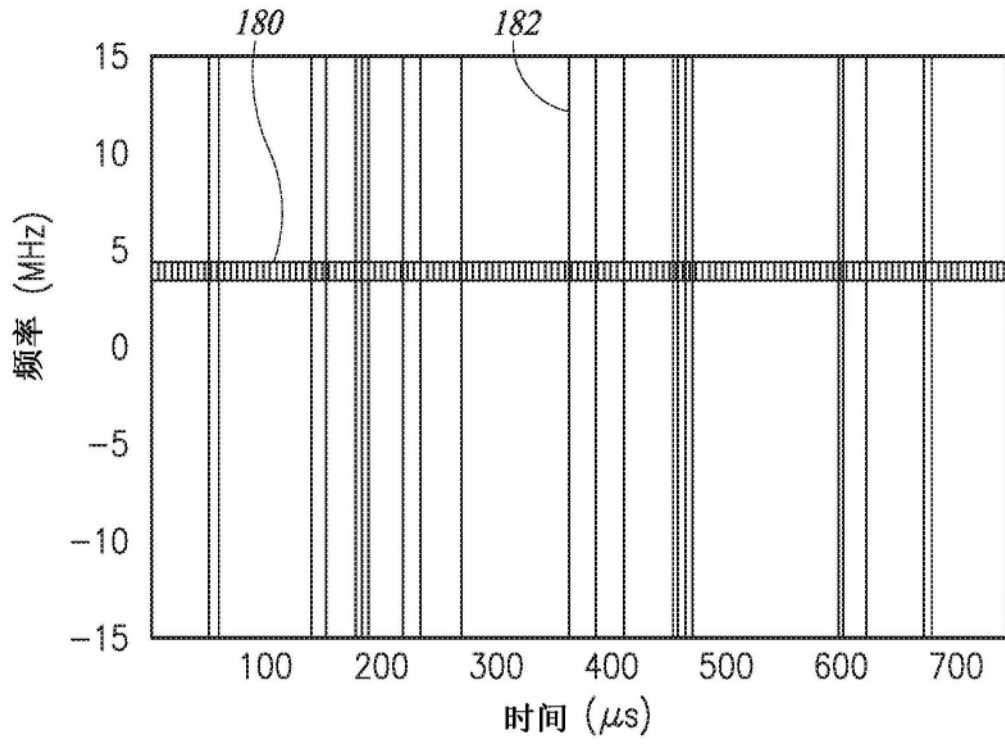


图10

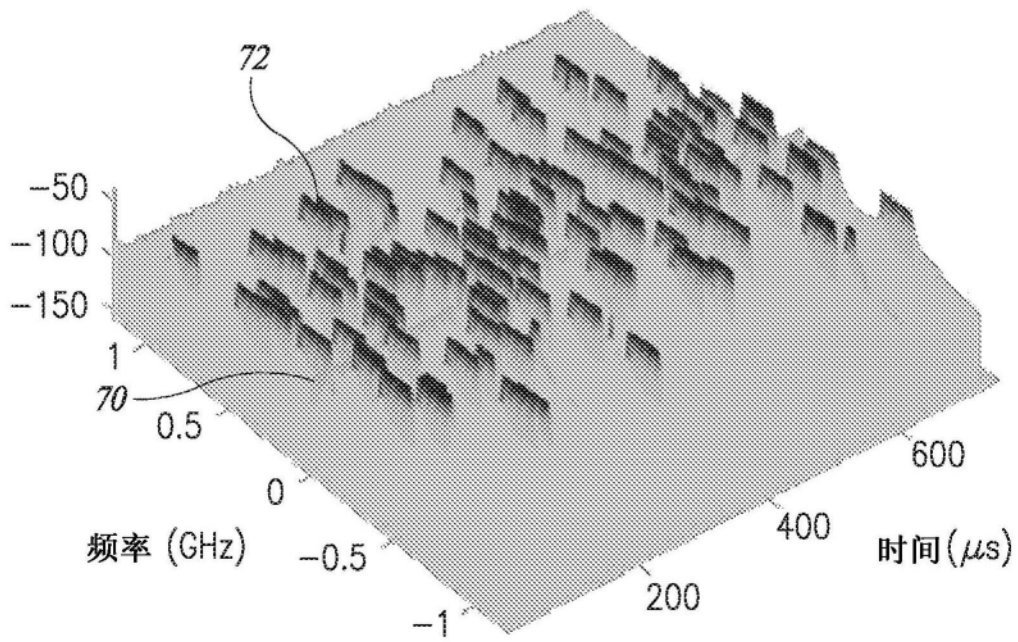


图11



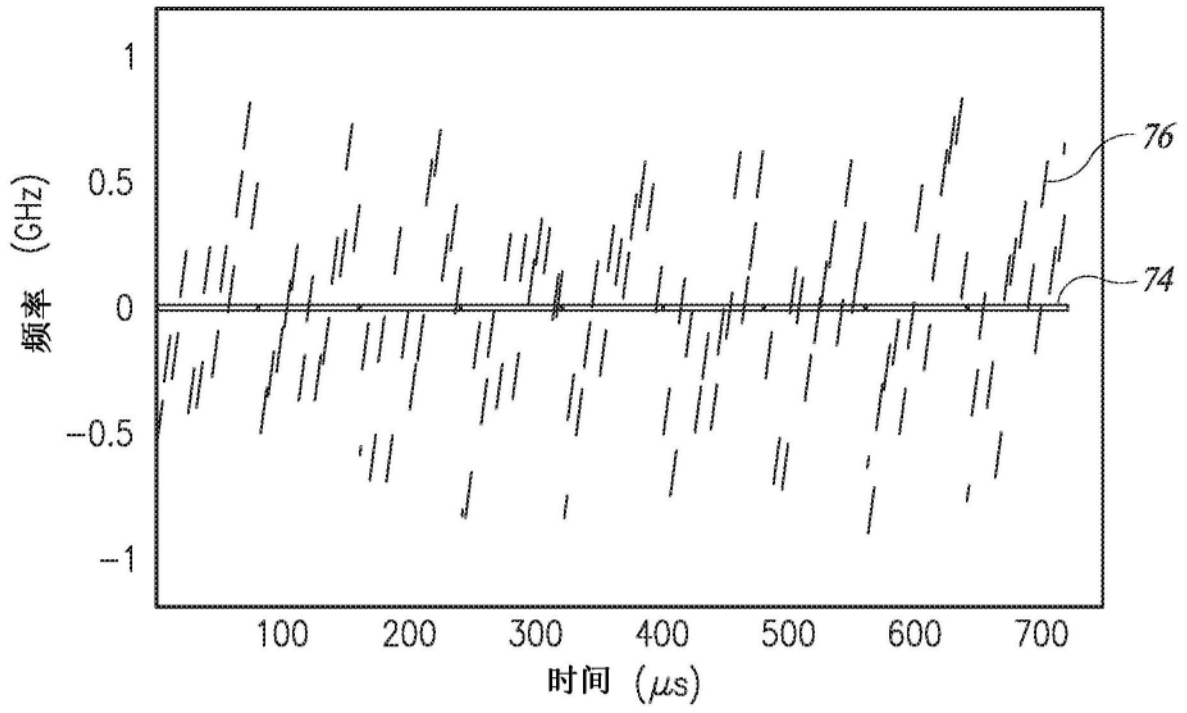


图12

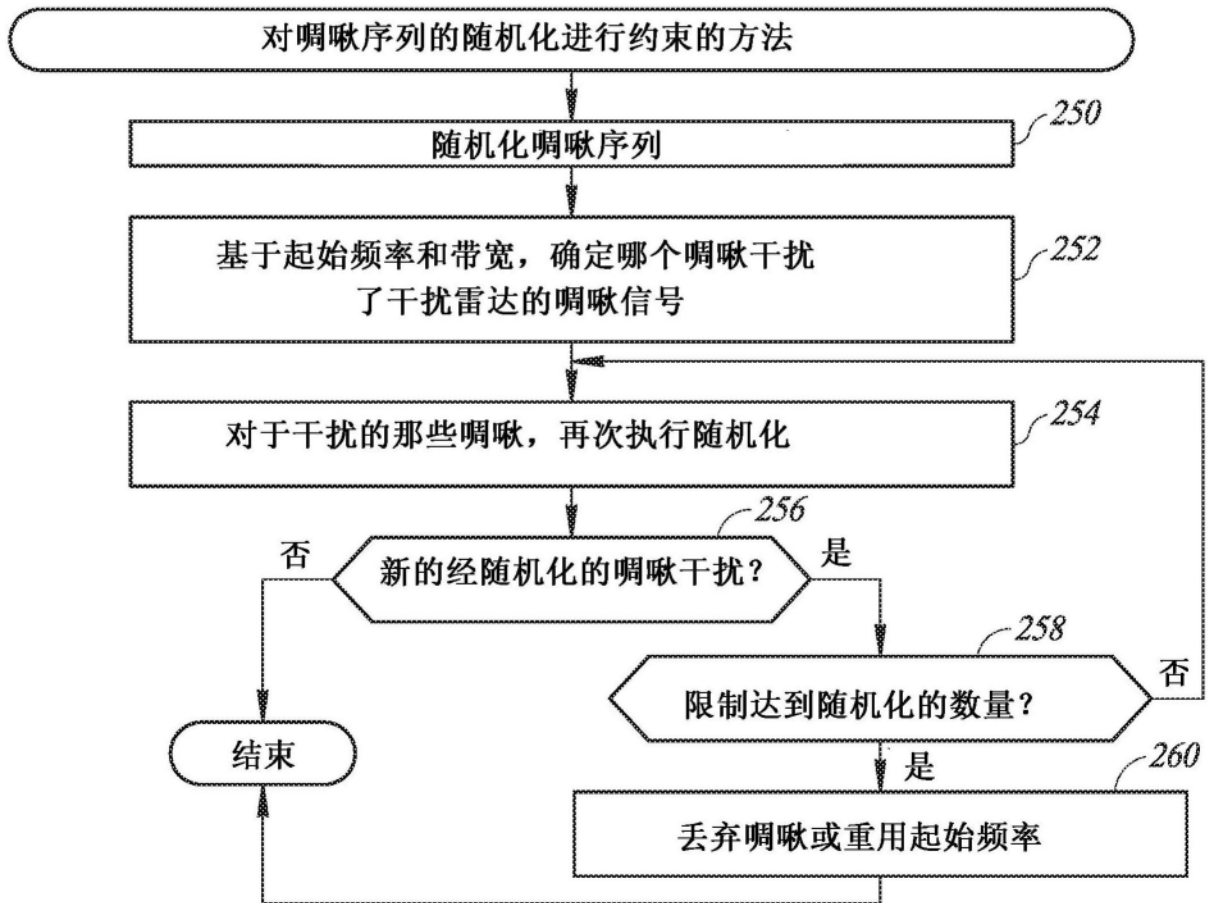


图13

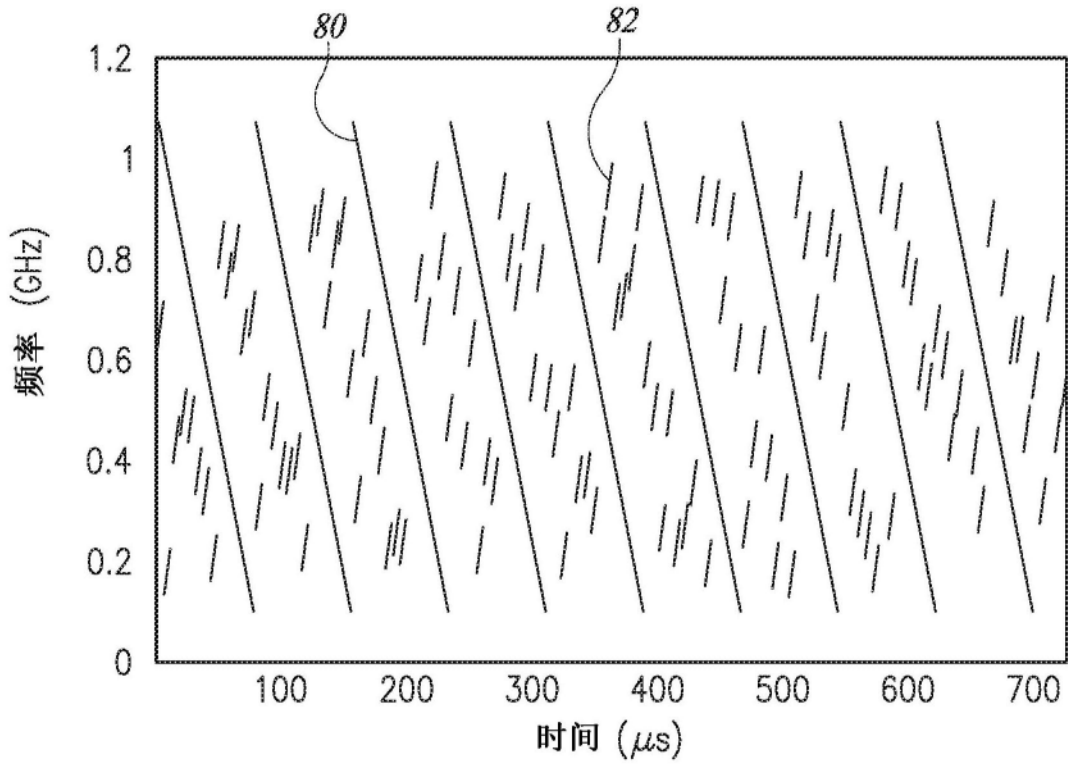


图14

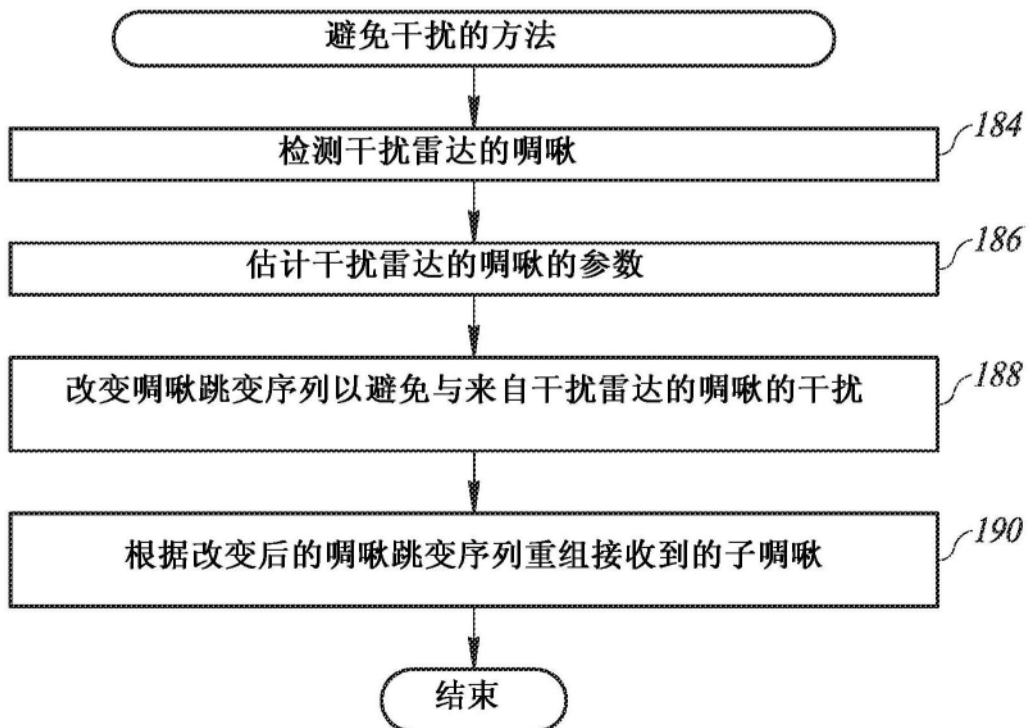


图15

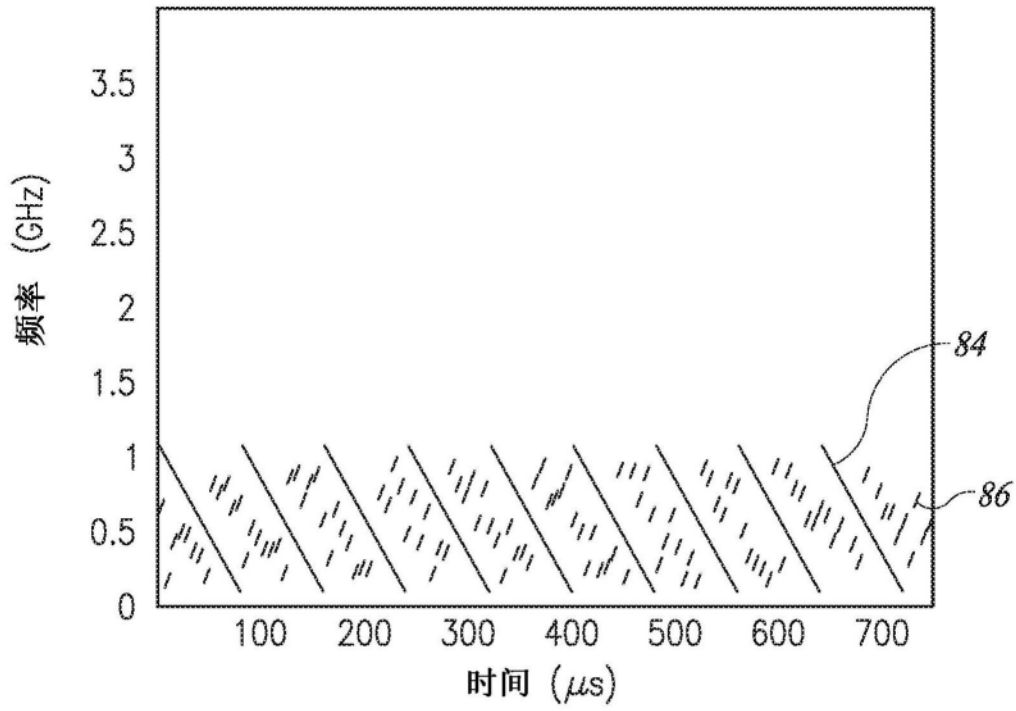


图16

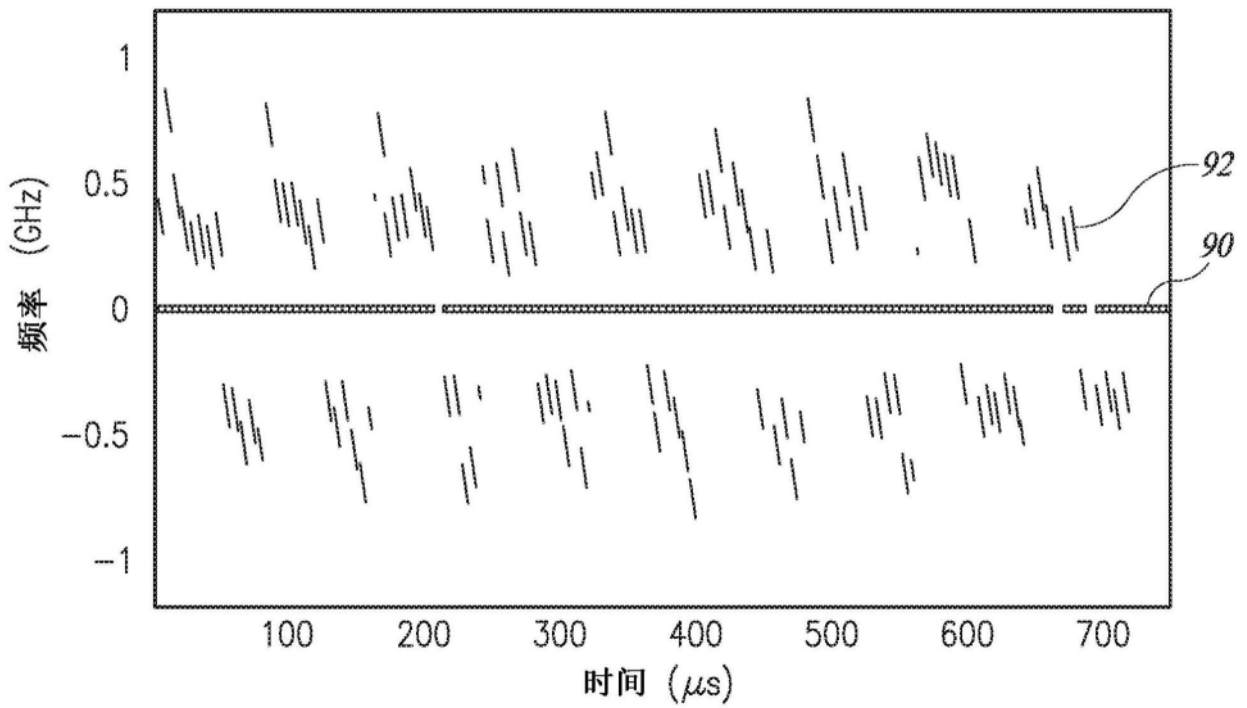


图17

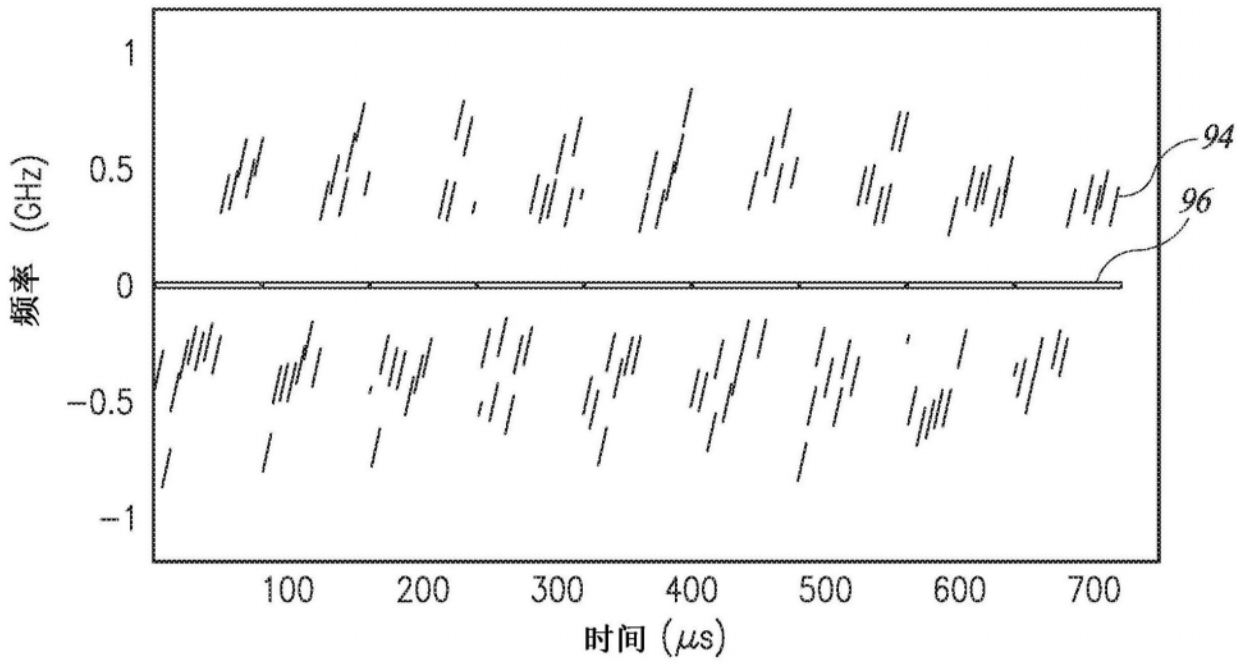


图18

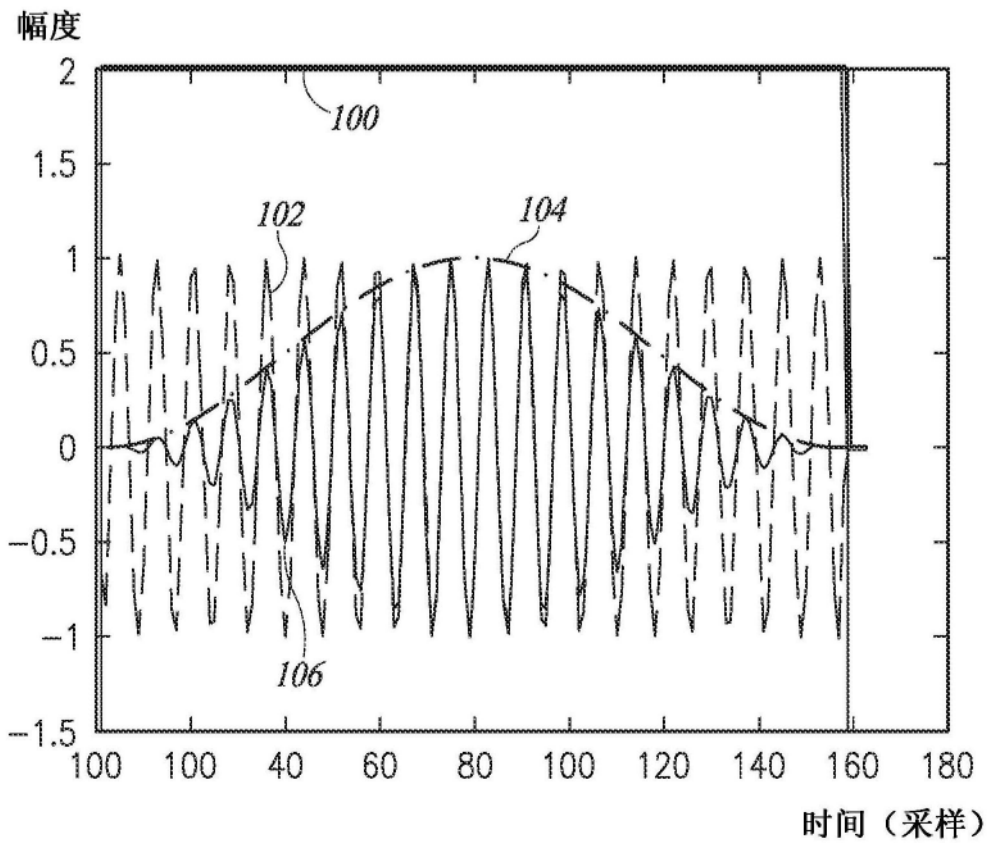


图19

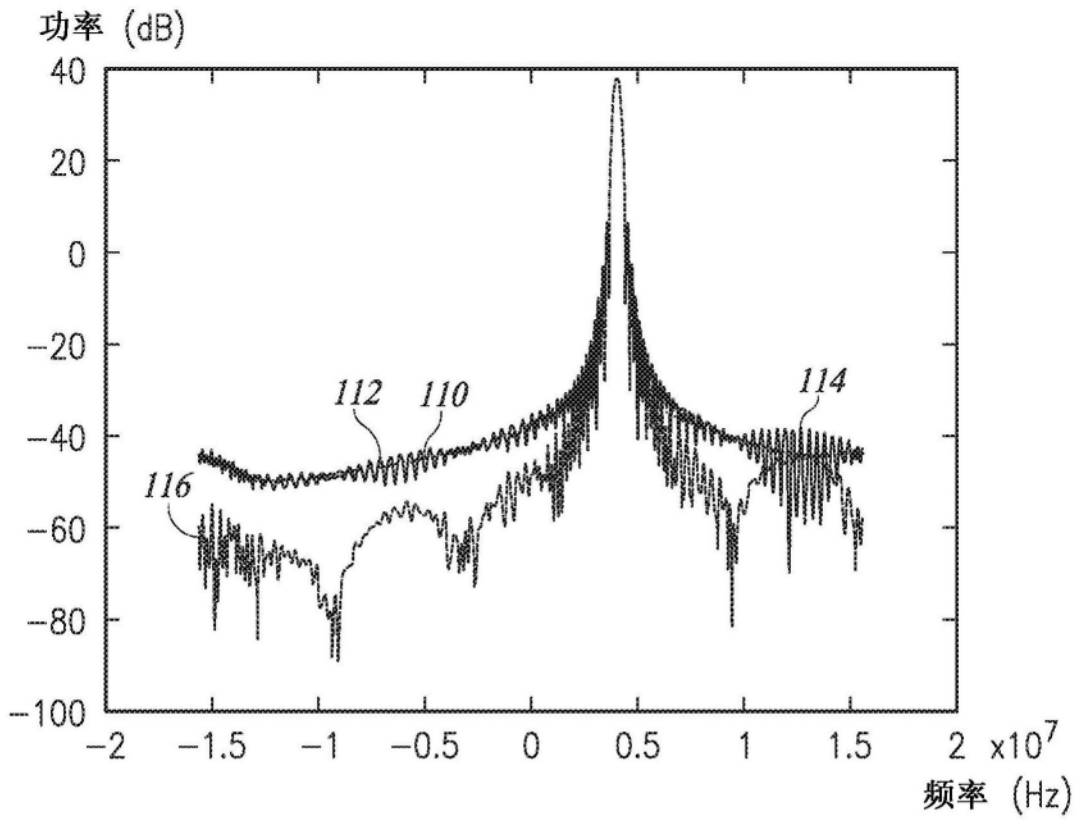


图20

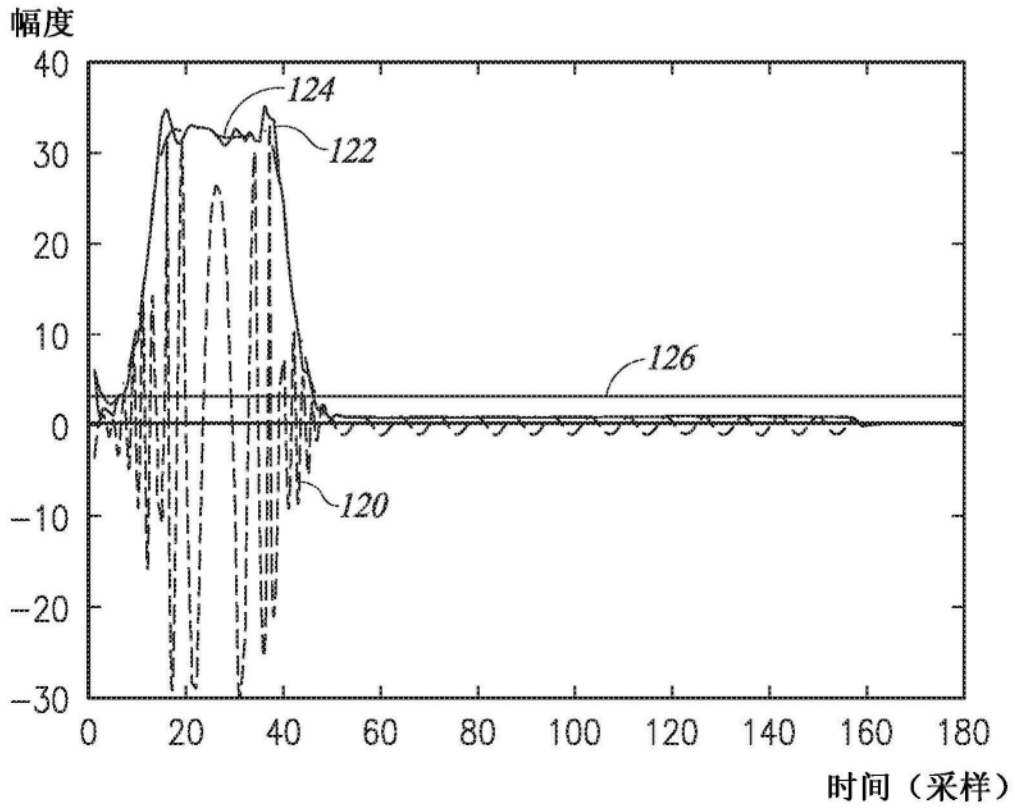


图21

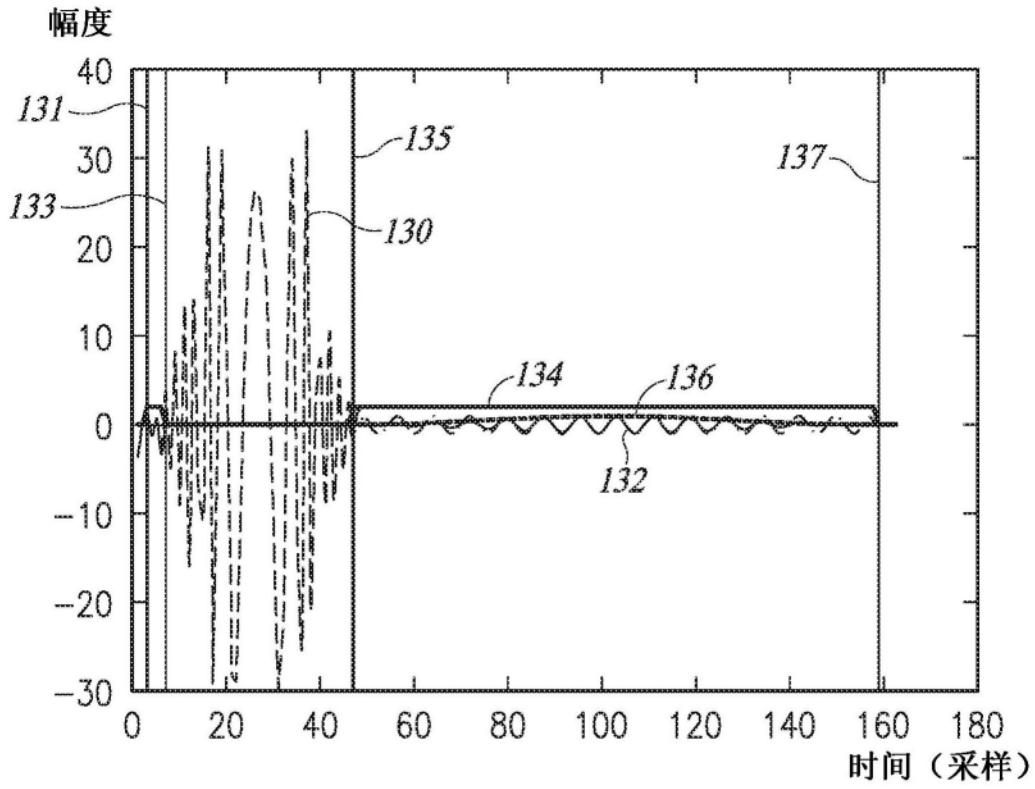


图22

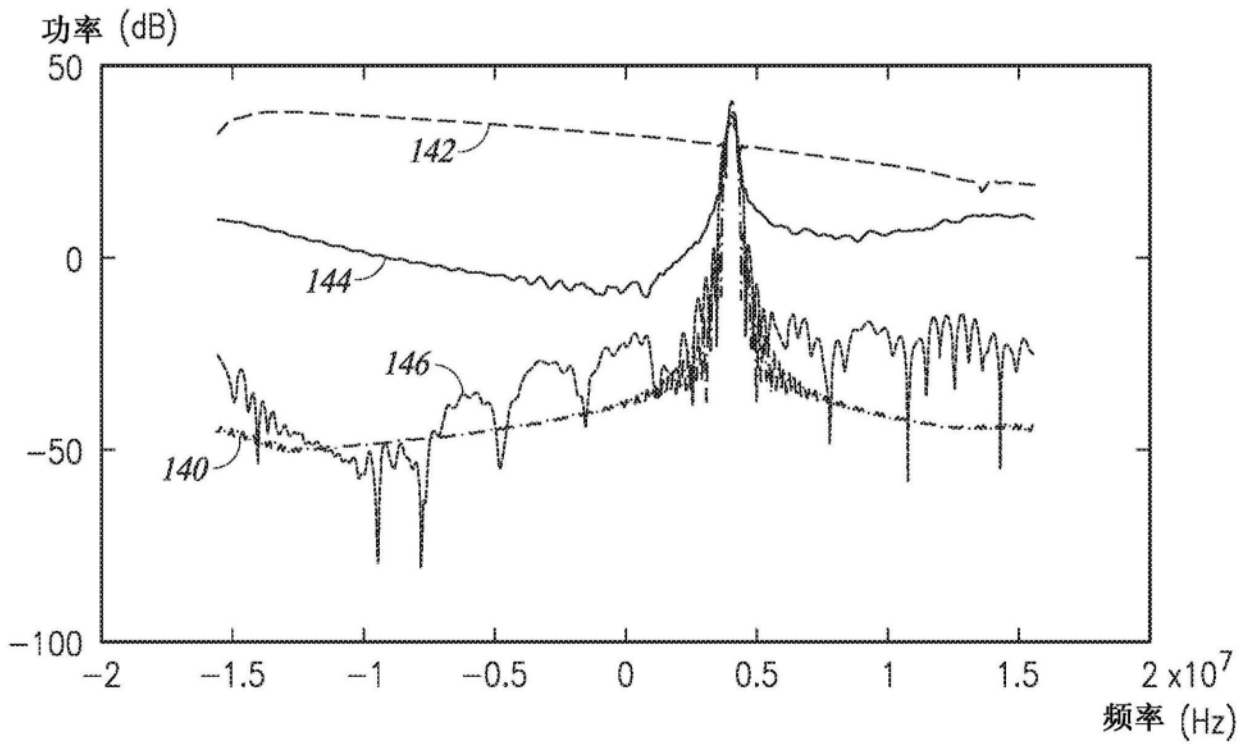


图23



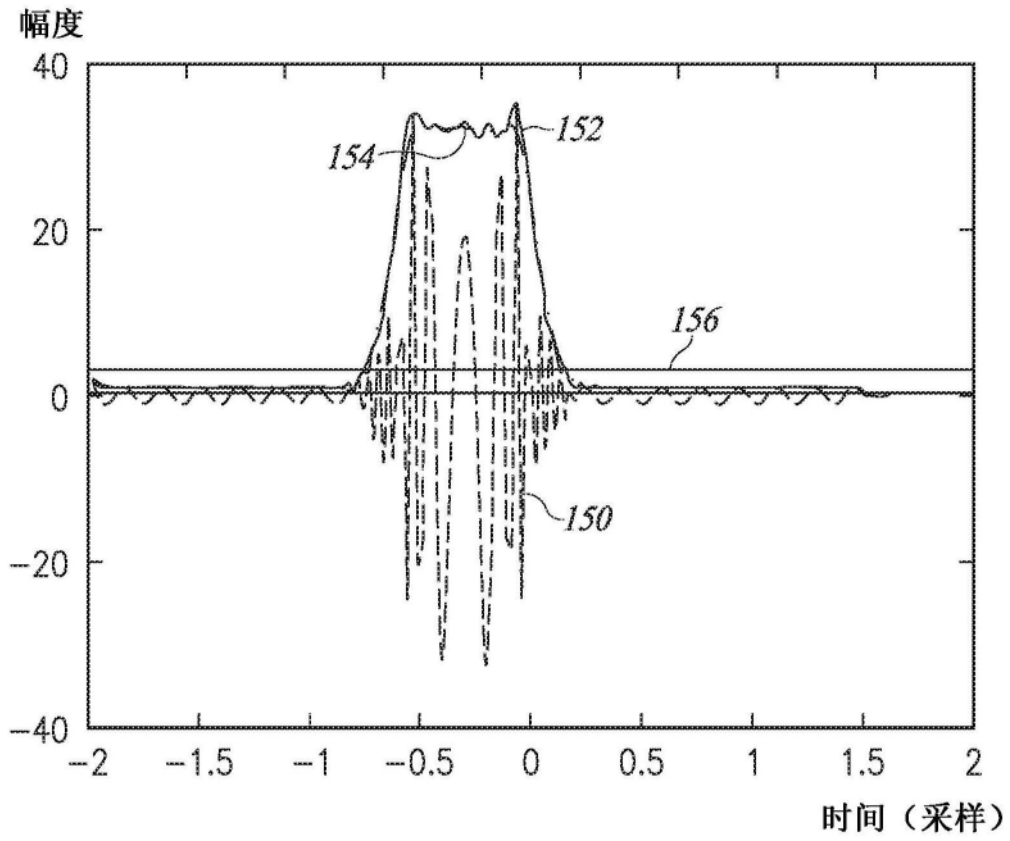


图24

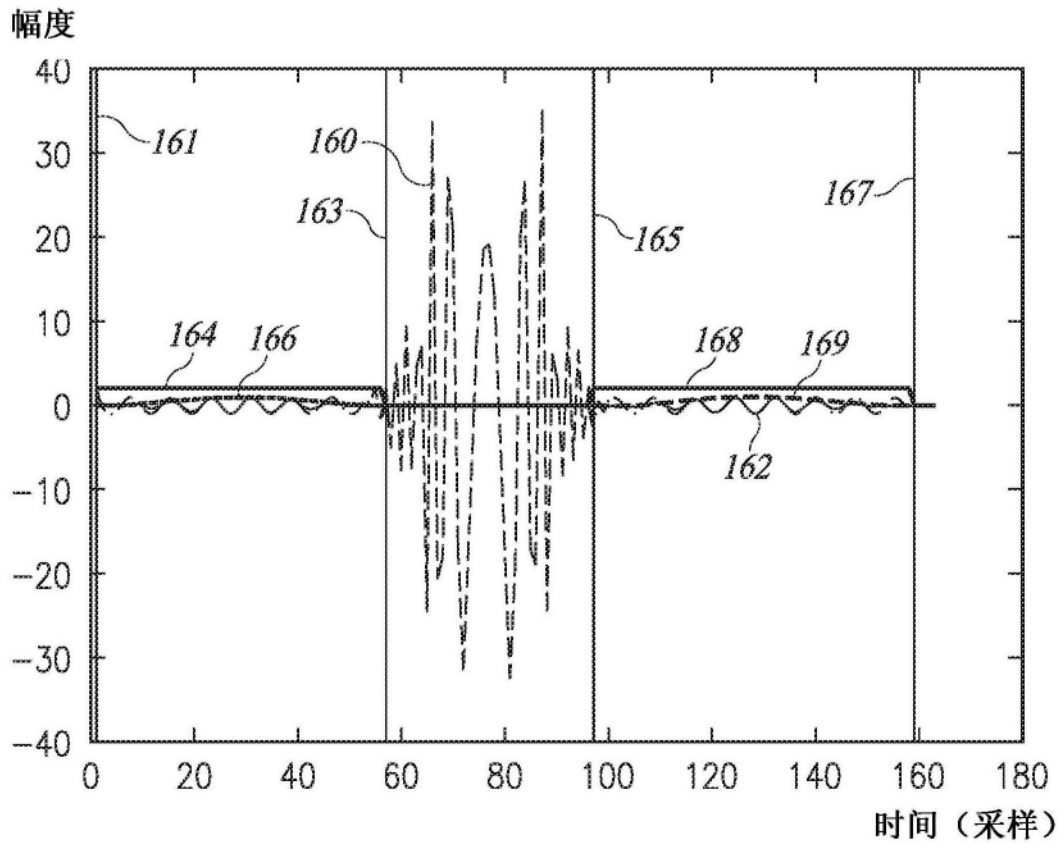


图25

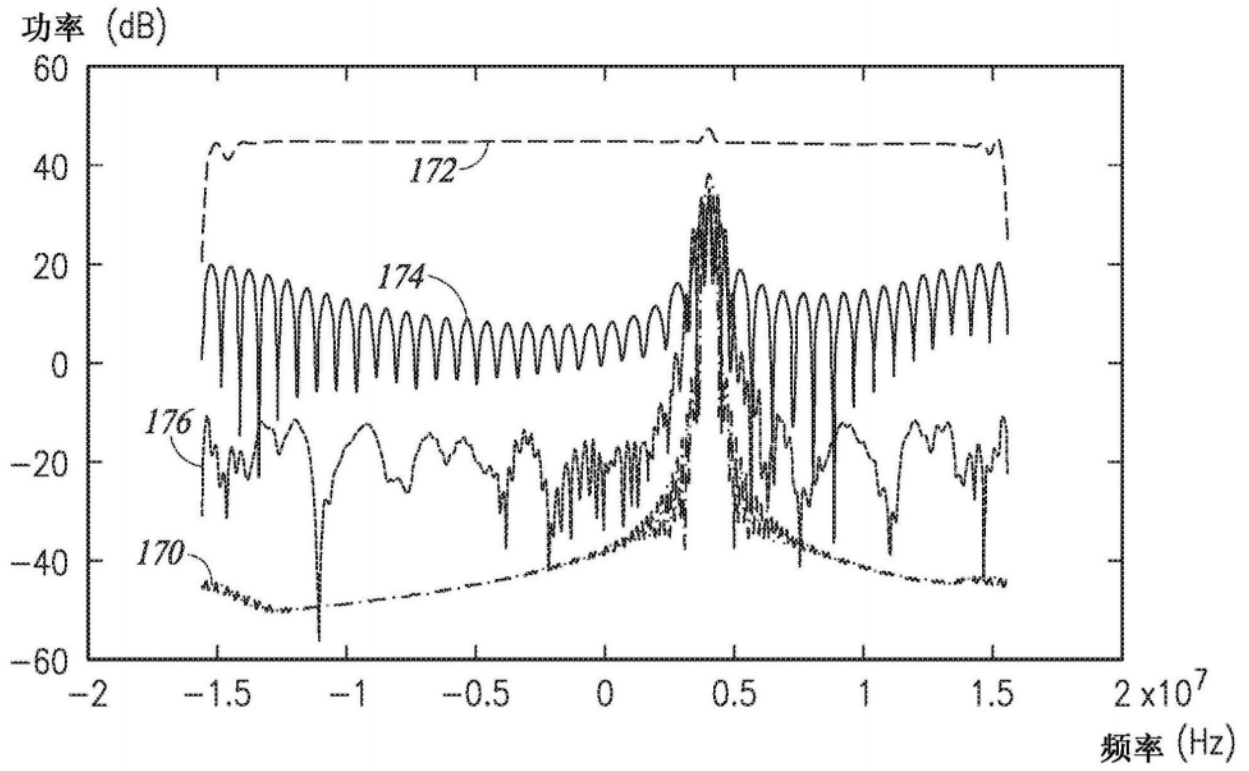


图26

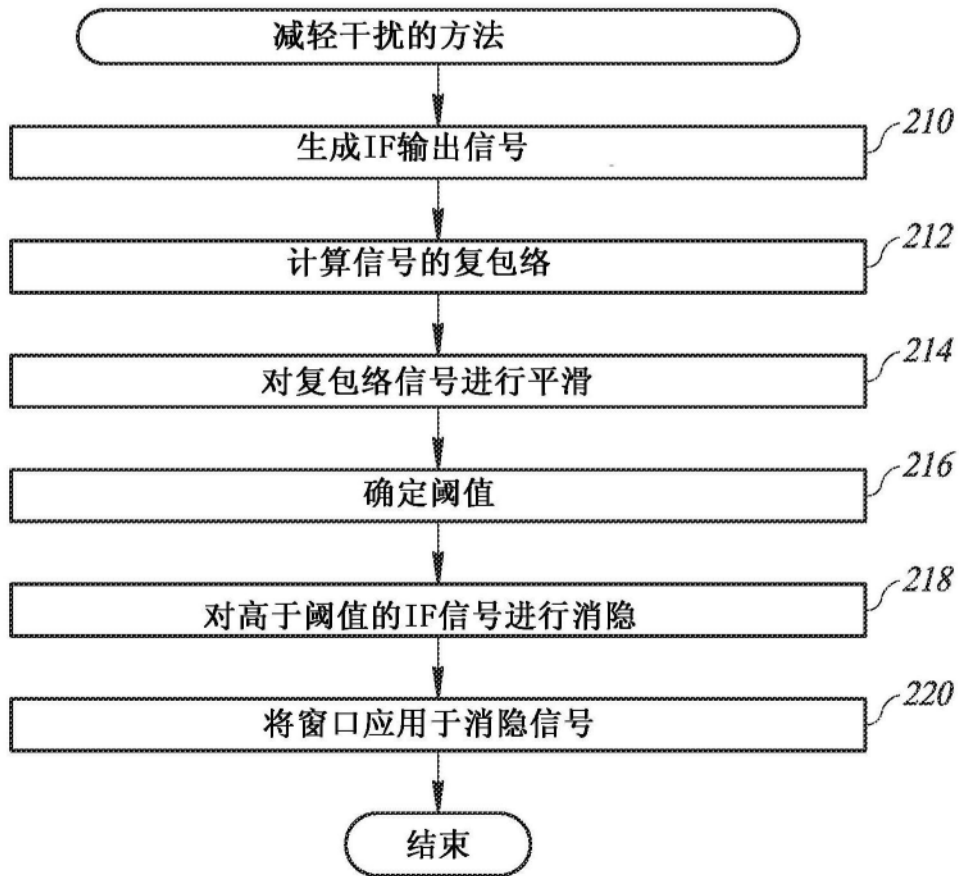


图27