



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107533131 B

(45) 授权公告日 2021.09.03

(21) 申请号 201680028957.4

B·P·金斯伯格

(22) 申请日 2016.04.06

(74) 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107533131 A

代理人 赵志刚 赵蓉民

(43) 申请公布日 2018.01.02

(51) Int.Cl.

(30) 优先权数据

G01S 13/00 (2006.01)

14/679,461 2015.04.06 US

H04B 17/345 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2017.11.20

(56) 对比文件

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/US2016/026231 2016.04.06

US 2007171122 A1, 2007.07.26

US 2004048574 A1, 2004.03.11

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02016/164472 EN 2016.10.13

CN 102788980 A, 2012.11.21

CN 1958348 A, 2007.05.09

(73) 专利权人 德克萨斯仪器股份有限公司  
地址 美国德克萨斯州

CN 102608581 A, 2012.07.25

CN 1241885 A, 2000.01.19

CN 103840894 A, 2014.06.04

US 6317076 B1, 2001.11.13

US 2007018886 A1, 2007.01.25

JP 3720803 B2, 2005.11.30

(72) 发明人 S·穆拉利 S·巴德瓦杰  
K·拉玛苏布拉马尼安  
K·苏布拉吉 S·拉奥

审查员 朱仲艳

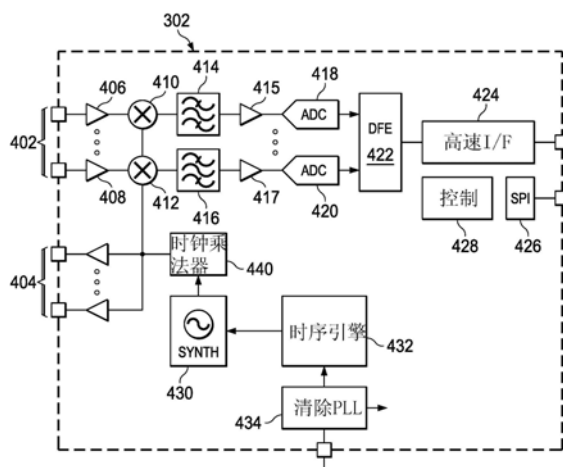
权利要求书2页 说明书9页 附图8页

### (54) 发明名称

在频率调制连续波 (FMCW) 雷达系统中的干扰检测

### (57) 摘要

在所描述的示例中,频率调制连续波 (FMCW) 雷达系统包括被配置成产生数字中频 (IF) 信号的接收器 (402) 和耦合到接收器 (402) 以接收数字 IF 信号的干扰监视组件 (422), 其中干扰监视组件 (422) 被配置成监视在数字 IF 信号中的至少一个子频带以获得干扰, 并且其中该至少一个子频带不包括雷达信号。



1. 一种频率调制连续波雷达系统即FMCW雷达系统,其包括:  
接收器,其被配置成产生数字中频信号即数字IF信号;以及  
干扰监视组件,其被耦合到所述接收器以接收所述数字IF信号,其中所述干扰监视组件被配置成监视在所述数字IF信号中的至少一个子频带以获得干扰,并且其中所述至少一个子频带不包括所述FMCW雷达系统发射的雷达信号;其中所述干扰监视组件被配置成针对所述至少一个子频带的每个子频带,计算作为时间的函数的接收信号强度指示符值即RSSI值,以确定在所述子频带中是否存在干扰。
2. 根据权利要求1所述的FMCW雷达系统,其中所述干扰监视组件被配置成:基于至少一个干扰阈值量化每个RSSI值以产生至少一个干扰影响指示符。
3. 根据权利要求1所述的FMCW雷达系统,其中所述至少一个子频带包括在所述数字IF信号的图像频带中的子频带和在所述数字IF信号的上奈奎斯特频带中的子频带中的一个或两个。
4. 根据权利要求1所述的FMCW雷达系统,其中当在所述FMCW雷达系统中的发射器开启时,针对线性调频脉冲帧的每个线性调频脉冲产生RSSI值。
5. 根据权利要求1所述的FMCW雷达系统,其中当在所述FMCW雷达系统中的发射器关闭时产生所述数字IF信号。
6. 根据权利要求1所述的FMCW雷达系统,其中当在所述FMCW雷达系统中的任何发射器在线性调频脉冲之间关闭时,针对线性调频脉冲帧的每个线性调频脉冲产生RSSI值,并且其中在每个线性调频脉冲斜降期间产生所述数字IF信号,并且所述至少一个子频带是所述IF信号的全带宽。
7. 根据权利要求1所述的FMCW雷达系统,其中当在所述FMCW雷达系统中的任何发射器关闭时,在发射线性调频脉冲帧之前,通过扫描所述FMCW雷达系统的全频率范围产生所述数字IF信号,并且其中所述至少一个子频带是所述频率范围的全带宽。
8. 根据权利要求1所述的FMCW雷达系统,其中当在所述FMCW雷达系统中的任何发射器在一个或更多个线性调频脉冲之间关闭时,在线性调频脉冲帧的所述一个或更多个线性调频脉冲之后产生RSSI值,其中通过扫描所述FMCW雷达系统的全频率范围产生所述数字IF信号,并且其中所述至少一个子频带是所述频率范围的全带宽。
9. 一种用在频率调制连续波雷达即FMCW雷达中的干扰检测的方法,所述方法包括:  
在所述FMCW雷达的干扰监视组件中接收来自所述FMCW雷达中的接收器的数字中频信号即数字IF信号;以及  
通过所述干扰监视组件监视在所述数字IF信号中的至少一个子频带以获得干扰,其中所述至少一个子频带不包括所述FMCW雷达发射的雷达信号;其中监视包括:针对所述至少一个子频带的每个子频带,计算作为时间的函数的接收信号强度指示符值即RSSI值,以确定在所述子频带中是否存在干扰。
10. 根据权利要求9所述的方法,其中监视包括:基于至少一个干扰阈值量化每个RSSI值以产生至少一个干扰影响指示符。
11. 根据权利要求9所述的方法,其中所述至少一个子频带包括所述数字IF信号的图像频带的子频带和所述数字IF信号的上奈奎斯特频带的子频带中的一个或两个。
12. 根据权利要求9所述的方法,其中当在所述FMCW雷达系统中的发射器开启时,针对

线性调频脉冲帧的每个线性调频脉冲产生RSSI值。

13. 根据权利要求9所述的方法, 其中当在所述FMCW雷达系统中的发射器关闭时, 产生所述数字IF信号。

14. 根据权利要求9所述的方法, 其中当在所述FMCW雷达系统中的任何发射器在线性调频脉冲之间关闭时, 针对线性调频脉冲帧的每个线性调频脉冲产生RSSI值, 并且其中在每个线性调频脉冲斜降期间产生所述数字IF信号, 并且所述至少一个子频带是所述IF信号的全带宽。

15. 根据权利要求9所述的方法, 其中当在所述FMCW雷达系统中的任何发射器关闭时, 在发射线性调频脉冲帧之前, 通过扫描所述FMCW雷达系统的全频率范围产生所述数字IF信号, 并且其中所述至少一个子频带是所述频率范围的全带宽。

16. 根据权利要求9所述的方法, 其中当在所述FMCW雷达系统中的任何发射器在一个或多个线性调频脉冲之间关闭时, 在线性调频脉冲帧的所述一个或多个线性调频脉冲之后产生RSSI值, 其中通过扫描所述FMCW雷达系统的全频率范围产生所述数字IF信号, 并且其中所述至少一个子频带是所述频率范围的全带宽。

## 在频率调制连续波 (FMCW) 雷达系统中的干扰检测

### 技术领域

[0001] 本发明总体涉及雷达系统,并且更具体地涉及在频率调制连续波 (FMCW) 雷达系统中的干扰检测。

### 背景技术

[0002] 在有限区域中同时操作的多个雷达具有互相干扰的潜在性。这种同时操作可导致信噪比的劣化、潜在地掩盖小物体,并可导致出现鬼影物体。对于频率调制连续波 (FMCW) 雷达系统,这种干扰通常本身表现在线性调频脉冲 (chirp) 内的短时间窗口上。通过了解何时发生干扰,可应用减轻和/或避免技术。

[0003] 传统雷达系统通过在线性调频脉冲期间测量在信号频带中的功率的变化而识别干扰。当干扰发生时,此类系统直接测量干扰,但是由于雷达的期望的操作,信号频带中的反射信号破坏了测量结果。

### 发明内容

[0004] 在用于在频率调制连续波 (FMCW) 雷达系统中的干扰检测的方法和设备的另一方面中,一种FMCW雷达系统包括:接收器,其被配置成产生数字中频 (IF) 信号;以及干扰监视组件,其被耦合到接收器以接收数字IF信号,其中干扰监视组件被配置成监视在数字IF信号中的至少一个子频带以获得干扰,并且其中该至少一个子频带不包括雷达信号。

[0005] 在一方面,一种用于在频率调制连续波 (FMCW) 中的干扰检测的方法包括:在FMCW雷达的干扰监视组件中接收来自在FMCW雷达中的接收器的数字中频 (IF) 信号;以及通过干扰监视组件监视在数字IF信号中的至少一个子频带以获得干扰,其中该至少一个子频带不包括雷达信号。

[0006] 在一方面,一种频率调制连续波 (FMCW) 雷达系统包括:接收器,其被配置成在发射线性调频脉冲帧期间产生数字中频 (IF) 信号;数字前端 (DFE) 组件,其被耦合到接收器以接收数字IF信号,其中DFE被配置成从数字IF信号中提取雷达信号频带;以及干扰监视组件,其被耦合到接收器以接收数字IF信号,其中干扰监视组件被配置成监视在数字IF信号中的多个子频带的每个子频带以获得干扰,并且其中雷达信号频带不包括在子频带中。

### 附图说明

[0007] 图1和图2是频率对时间的示例曲线图。

[0008] 图3和图4是示例频率调制连续波 (FMCW) 雷达系统的方框图。

[0009] 图5是图4的数字前端 (DFE) 组件的方框图。

[0010] 图6、图7、图8和图9是用于在图3至图5的FMCW雷达系统中的干扰检测的方法的多个示例。

[0011] 图10是用于在图3至图5的FMCW雷达系统中的干扰检测的一个方法的流程图。

## 具体实施方式

[0012] 为了一致性,各图中的相似元件由相似的附图标记表示。

[0013] 如上所述,由于同时操作的多个雷达系统引入的干扰,可发生在汽车雷达系统(诸如FMCW雷达系统)中的信噪比(SNR)的劣化。SNR的劣化可潜在地掩盖小物体和/或引起对鬼影物体的检测。如果当干扰发生时可检测干扰,则可采取步骤以减轻和/或避免干扰。

[0014] 如图1的示例曲线图所示,在频率调制连续波(FMCW)雷达系统中,斜坡波形(也称为锯齿波形)用于在时域中产生具有线性变化的频率的信号。瞬时频率的变化与斜坡波形成比例。发射产生的信号,并接收延迟的信号(如从在雷达的视野中的任何物体反射)。物体的速度和距离可从在接收信号中的中频(IF)频带估计。通过估计往返延迟的频率差测量距离。通过跨多个线性调频脉冲观察相同物体并查看频率差的相位旋转或移动来估计速度。

[0015] 图2的示例曲线图示出了随时间推移交叉接收信号的干扰信号。只有当干扰信号的频率偏移在接收器的IF带宽内时,来自其它源的干扰才会妨碍FMCW雷达。交叉干扰信号在雷达的基带中出现“脉冲状”,这导致接收后测量中的本底噪声升高。传统的时域和频域干扰减轻解决方案依赖于了解何时发生干扰。在用于检测何时发生干扰的传统技术中,检查带内能量,因此只有当干扰显著高于来自场景的许多期望的反射信号时才可检测干扰。因此,在此类技术中,用于检测不需要的干扰的阈值高于发生场景动态范围的损失的阈值。干扰必须与最大反射信号相似或大于最大反射信号,并且远大于已经丢失的微弱反射。

[0016] 示例实施例提供了基于不包括期望的雷达反射的IF信号的一个或多个子频带中的能量的干扰的检测。更具体地,实施例通过在IF信号的至少一个子频带(在该至少一个子频带中预期无反射信号)中检查随时间推移的能量确定在子频带(在该子频带中预期有期望的雷达反射)(其是期望的信号频带或雷达信号频带)中是否存在干扰。在IF信号的安静区域中检测干扰,该干扰未被期望的雷达反射破坏。因此,实现了比在雷达信号频带上操作的传统技术更高的SNR,并且可检测更小电平的干扰。进一步地,在一些实施例中,在线性调频脉冲期间何时存在干扰的时间可被定位。

[0017] 图3是被配置成在雷达系统300的操作期间执行干扰检测的示例FMCW雷达系统300的方框图。示例FMCW雷达系统300包括雷达片上系统(SOC)302、处理单元306和网络接口308。参照图4和图5描述了雷达SOC 302的架构。

[0018] 雷达SOC 302经由高速串行接口耦合到处理单元306。如参照图4更详细地解释的,雷达SOC 302包括产生多个数字中频(IF)信号(或者称为去调频(dechirped)信号、拍频(beat)信号或原始雷达信号)的功能,该多个数字中频(IF)信号经由高速串行接口被提供给处理单元306。进一步地,如参照图5更详细地描述的,雷达SOC 302包括在IF信号中执行干扰监视的功能,其中随时间推移产生接收信号强度指示符(RSSI)数值。RSSI指示由接收天线接收的信号功率电平。因此,当RSSI数值增大时,信号更强。将量化RSSI数值提供给处理单元306用于干扰频率检测和干扰减轻。

[0019] 处理单元306包括(通过处理所接收雷达信号)执行雷达信号处理以确定测量结果诸如任何被检测的物体的距离、速度和角度的功能。处理单元306还可包括执行关于被检测的物体的信息后处理诸如跟踪物体和确定移动的速率和方向的功能。进一步地,处理单元306包括基于量化RSSI数值执行干扰频率检测并执行干扰减轻的功能。本文更详细地描述了干扰频率检测和用于干扰减轻的选项。

[0020] 处理单元306可包括使用雷达数据的应用的处理吞吐量所需的任何合适的处理器或处理器的组合。例如,处理单元306可包括数字信号处理器(DSP)、微控制器(MCU)、组合DSP和MCU两者处理的SOC,或现场可编程门阵列(FPGA)和DSP。

[0021] 处理单元306经由网络接口308向车辆中的一个或多个电子控制单元提供所需的控制信息。电子控制单元(ECU)是用于车辆中的任何嵌入式系统的通用术语,该任何嵌入式系统控制车辆中的一个或多个电气系统或子系统。例如,ECU的类型包括电子/发动机控制模块(ECM)、动力系统控制模块(PCM)、变速器控制模块(TCM)、制动控制模块(BCM或EBCM)、中央控制模块(CCM)、中央计时模块(CTM)、通用电子模块(GEM)、车身控制模块(BCM)和悬架控制模块(SCM)。

[0022] 网络接口308可实现任何合适的协议,诸如控制器区域网络(CAN)协议、FlexRay协议或以太网协议。

[0023] 图4是雷达SOC 302的方框图。雷达SOC 302可包括用于发射FMCW信号的多个发射信道404和用于接收反射的发射信号的多个接收信道402。进一步地,接收信道的数量可大于发射信道的数量。例如,雷达SOC 302的一个实施例可具有两个发射信道和四个接收信道。

[0024] 发射信道包括合适的发射器和天线。接收信道包括合适的接收器和天线。进一步地,接收信道402中的每个是相同的,并且包括:放大接收信号的低噪声放大器406、低噪声放大器408;将发射信号与接收信号混频以产生IF信号的混频器410、混频器412;用于滤波IF信号的基带带通滤波器414、基带带通滤波器416;用于放大滤波IF信号的可变增益放大器(VGA) 415、VGA 417;以及用于将模拟IF信号转换为数字IF信号的模数转换器(ADC) 418、ADC 420。接收信道的带通滤波器VGA和ADC可统称为基带链或基带滤波器链。混频器406、混频器408产生IF信号的同相(I)分量和正交(Q)分量。可通过将输入信号与 $\cos(W_{Lo}*t)$ 混频产生I分量,并且可通过将输入信号与 $\sin(W_{Lo}*t)$ 混频产生Q分量,其中t是以秒为单位的时间, $W_{Lo}=2*\pi*f_{Lo}$ (单位为弧度/秒),并且 $f_{Lo}(t)$ 为发射器在时间t的瞬时频率。

[0025] 接收信道402耦合到数字前端(DFE)组件422。DFE 422包括对数字IF信号执行抽取滤波以降低数据传送速率的功能。DFE 422还可对数字IF信号执行其它操作,诸如DC偏移消除。DFE 422进一步包括对来自接收信道402中的一个的数字IF信号执行干扰监视的功能。参照图5描述了该功能。DFE 422耦合到高速串行接口(I/F) 424以将抽取的数字IF信号和干扰监视的输出传送到处理单元106。

[0026] 串行外围接口(SPI) 426提供用于与处理单元306通信的接口。例如,处理单元306可使用SPI 426将控制信息(诸如线性调频脉冲的时序和频率、输出功率电平以及监视功能的触发)发送到控制模块428。此外,例如,雷达SOC 302可使用SPI 426将监视功能的结果发送到处理单元306。

[0027] 控制模块428包括控制雷达SOC 302的操作的功能。具体地,控制模块428包括接收来自处理单元306的线性调频脉冲控制信息并使用该控制信息产生用于时序引擎432的线性调频脉冲参数的功能。例如,控制模块426可包括执行固件以控制雷达SOC 302的操作并执行各种监视功能的MCU。

[0028] 可编程时序引擎432包括接收来自控制模块428的用于雷达帧中的线性调频脉冲序列的线性调频脉冲参数值并基于参数值产生线性调频脉冲控制信号的功能,该线性调频

脉冲控制信号控制帧中的线性调频脉冲的发射和接收。线性调频脉冲参数由雷达系统架构限定,并且例如可包括用于指示启用哪些发射器、线性调频脉冲频率起始值、线性调频脉冲频率斜率、模数(ADC)采样时间、斜坡结束时间和发射器起始时间的发射器启用参数。

[0029] 射频合成器(SYNTH)430包括基于来自时序引擎432的线性调频脉冲控制信号产生用于发射的FMCW信号的功能。在一些实施例中,RSYNTH 430包括具有压控振荡器(VCO)的锁相环(PLL)。

[0030] 时钟乘法器440将发射信号(L0信号)的频率提高到混频器406、混频器408的L0频率。清除PLL(锁相环)434操作以将外部低频参考时钟(未示出)的信号频率提高到SYNTH 430的频率,并将参考时钟相位噪声从时钟信号滤除。

[0031] 图5是示出了干扰监视功能和IF信号的正常处理两者的DFE 422的方框图。如上所述,监视来自接收信道402中的一个的数字IF信号以获得干扰。解释了方框图,假设来自ADC 418的数字IF信号是正被监视的信号。进一步地,假设ADC 418是复数(complex)过采样ADC。如果接收天线是对称的,则所有接收信道具有任何干扰的类似的视野,因此可监视接收信道中的任一个以获得干扰。如果接收天线不相似,则可选择具有最宽波束宽度的接收信道用于监视以更好地检测任何干扰信号。

[0032] DFE 422的抽取组件502接收来自ADC 418的数字IF信号,并抽取该信号用于进一步处理。然后,将抽取IF信号传递到DFE 422的正常处理路径和干扰监视组件512两者。正常处理路径从抽取IF信号中提取雷达信号频带,并在雷达信号输出到处理组件306之前进一步降低采样率。期望的雷达信号频带占用IF信号中的 $[0, f_{\text{IFBW}}]$ 。第一抽取组件504包括期望的带宽 $[0, f_{\text{IFBW}}]$ 的信号,其最小输出采样率为 $2 * f_{\text{IFBW}}$ 。对于实数抽取滤波器,该信号还包括 $[-f_{\text{IFBW}}, 0]$ 中的所有信息,其可包含不需要的干扰。频移器组件506将期望的频带移动到 $[-f_{\text{IFBW}}/2, f_{\text{IFBW}}/2]$ ,并且将不需要的频带移动到 $|f| > f_{\text{IFBW}}/2$ 。最终抽取组件508将输出采样率降低到 $f_{\text{IFBW}}$ ,而期望的频带信息不会有任何损失。

[0033] 抽取量取决于ADC 418中的过采样与由干扰监视512监视的子频带的比率。对于 $\Sigma - \Delta$  ADC,过采样率(OSR)(并且同样地,总抽取率)通常在16和128之间,取决于期望的SNR、调制器的阶数和晶体管的速度。对于管线或SAR(逐次逼近寄存器)ADC,过采样抽取率通常为1-4,取决于模拟抗混叠滤波器的要求。在一些实施例中,ADC 418是 $\Sigma - \Delta$  ADC。抽取组件502和抽取组件504的总抽取率等于OSR。由抽取组件502执行的抽取小于由抽取组件504执行的抽取,使得带外区域未被完全消除。针对正常处理路径抽取组件504清除带外区域。包含带外信息的抽取组件502的输出用于干扰监视。如果第二奈奎斯特频带用于干扰检测,则抽取组件502减小一半,并且抽取组件504执行最后的2x抽取。如果附加频带用于干扰检测,则相应减小抽取组件502的抽取和抽取组件。

[0034] 干扰监视组件512可包括一个或更多个干扰监视路径513。如图6至图9的干扰检测方法描述所示,在各种实施例中,可监视IF信号的一个或更多个子频带以获得干扰。子频带可以是IF信号的频带的一部分,或者可以是全频带。在一个特定实施例中,如果可同时监视最多N个子频带,则DFE 422包括N个干扰监视路径513。在一个特定雷达系统中可同时监视的子频带的数量是一个设计决定。

[0035] 干扰监视路径513监视特定的子频带以获得干扰,随时间推移产生RSSI数值,并输出指示监视子频带中的一个或更多个干扰电平的量化RSSI数值。频移器组件514和低通滤

波器组件516操作以提取频率的子频带 $[f_{iL}, f_{iU}]$ , 其中 $i=1, \dots, N$ 并且 $f_L$ 和 $f_U$ 是子频带的下端和上端。频移器组件514将IF信号移位 $-(f_{iU}+f_{iL})/2$ , 使得相关的频带集中在 $[-f_{BW}, +f_{BW}]$ , 其中 $2f_{BW}=|f_{iL}-f_{iU}|$ 。低通滤波器组件516输出带宽 $f_{BW}$ 的信号。

[0036] 瞬时功率探测器组件518确定子频带信号的瞬时功率。瞬时功率是测量进行时的信号中的功率。瞬时功率探测器组件518将瞬时功率确定为 $I^2+Q^2$ 。为低通滤波器组件516的输出处的每个样本 $m$ 计算瞬时功率。每个样本 $m$ 对应于不同的时间点 $t=m*T_s$ , 其中 $T_s$ 是系统的采样率。

[0037] 滑动平均滤波器组件520确定在时间 $t$ 的子频带信号的RSSI数值。滑动平均滤波器对顺序输入值的固定子集的值求平均, 其中: 当新样本进入时, 从子集中删除最早的样本, 并添加新样本。固定子集的大小(也称为滑动平均滤波器的宽度)可以是可编程的, 并且可基于预期干扰与IF信号交叉的相对速率进行选择。较宽的滑动平均滤波器将降低噪声, 但可倾向于抑制快速移动干扰信号。在一些实施例中, 基于斜坡速率, 宽度可改变(诸如0.5至10us), 其中较快的斜坡速率将导致较窄的滤波器宽度。

[0038] 在一些实施例中, 滑动平均滤波器组件520的输出是用于每个输入样本的RSSI数值。并且, 在一些实施例中, 抽取滑动平均滤波器的输出, 使得滑动平均滤波器组件520的输出处于较低采样率。抽取量可以是可编程的, 并且可选择抽取率, 作为更准确地定位任何干扰(优选较小抽取率)与发送到处理单元306的数据量(优选较高抽取率)之间的折衷。

[0039] 干扰阈值组件522使用三个干扰阈值(其为E1、E2和E3)量化来自滑动平均滤波器组件520的RSSI数值。由干扰阈值组件522执行的阈值化是量化处理, 该量化处理将RSSI数值(诸如十六比特)转换为包含足够信息的二比特数(其为干扰影响指示符)以允许处理单元306做出关于任何检测到的干扰的决定。该量化显著降低了处理单元306的数据速率, 而不会丢失检测中等和大幅度干扰所需的信息。表1示出了三个阈值的使用。阈值的特定值和用于影响指示符的二比特编码是取决于实施方案的, 并且在一些实施例中可以是可编程的。

[0040] 表1

RSSI数值	影响
<E1	不干扰
E1-E2	中等干扰□轻微雷达劣化
E2-E3	高干扰□中等雷达劣化
>E3	严重干扰□无雷达操作可能

[0042] 干扰监视组件512的输出可表征为 $\widehat{RSSI}_k[n]$ , 其是在第 $n$ 个时间步的第 $k$ 个频率子频带的量化RSSI(干扰影响指示符)。在一个实施例中, 当发射到处理单元306时, 对于用于监视的子频带中的每个的 $\widehat{RSSI}_k[n]$  RSSI值进行交织, 诸如

$\widehat{RSSI}_0[0n], \widehat{RSSI}_1[0], \dots, \widehat{RSSI}_M[0], \widehat{RSSI}_0[1]\dots, \dots$ , 其中 $M$ 是监视的子频带的数量。然后处理单元306将交织值分成用于每个子频带的单独流。在另一实施例中, 该值作为三元组 $(k, n, \widehat{RSSI}_k[n]RSSI)$ 传递到处理单元306, 如果小于全部的值传递到处理单元306, 诸如不发送针对于 $RSSI < E1$ 的任何信息, 则这是有用的。



[0043] 处理单元306可使用用于子频带k的影响指示符以确定信息,诸如任何干扰的频率和干扰的时间。例如,如果 $\widehat{RSSI}_k[n1, n2]$ 之间存在干扰,其中影响指标符的采样率为 $1\mu s$ ,则检测到的干扰存在 $(n2-n1)*1\mu s$ 。如果子频带k覆盖IF频率 $[f_A, f_B]$ ,则干扰对雷达的LO

的相对频率斜率幅度是 $\left| \frac{f_A - f_B}{(n2-n1)*1\mu s} \right|$ 。进一步地,如果正在监视多个子频带,则相对斜率的符号可通过查看相邻的子频带确定。如果子频带k+1覆盖IF频率 $[f_B, f_C]$ ,并且在子频带k之后的子频带k+1中存在干扰,则可确定相对斜率的符号是符号 $(f_C - f_A)$ 。

[0044] 图6是用于可在雷达系统300中执行的干扰检测的方法的一个示例。在该方法中,在发射器开启时的线性调频脉冲发射期间执行干扰监视。在雷达信号频带外的IF信号的子频带中的一个或更多个中执行干扰监视,该雷达信号频带是具有预期的反射信号的频带。例如,可如图7所示监视两个子频带,即图像频带(或其子频带)和第二(上)奈奎斯特频带(或其子频带)。用这种方法,可检测与雷达信号频带交叉的干扰或可潜在地移入雷达信号频带中的“接近的(close-by)频率”干扰。

[0045] 更具体地,在线性调频脉冲期间,预期在频率范围中有反射信号

$$[0046] \quad f_c(t) + \frac{B}{T_r} * (0, \text{MaxRoundTripDelay})$$

[0047] 其中 $f_c(t)$ 是当前发射频率,B是IF信号的带宽,并且 $T_r$ 是线性调频脉冲斜坡的长度。 $\text{MaxRoundTripDelay}$ 的值取决于雷达系统300的目标范围。如果目标范围是 $D_{\text{max}}$ 米,则 $\text{MaxRoundTripDelay} = 2*D_{\text{max}}/c$ ,其中 $c$ 是光速。这对应于其中 $F_{\text{BeatMax}}$ 为 $B/T_r * (2D_{\text{max}}/c)$ 的 $(0, F_{\text{BeatMax}})$  Hz的雷达信号中频范围。因此,图像频带的频率范围为 $(-F_{\text{BeatMax}}, 0)$ ,并且上奈奎斯特频带的频率范围为 $(F_{\text{BeatMax}} + \Delta_1, F_{\text{BeatMax}} + \Delta_2)$ ,其中可基于实施方案的简易性选择 $\Delta_1$ 和 $\Delta_2$ 的值。

[0048] 该方法的目的是在子频带中无其它能量的情况下测量子频带中的干扰。对该方法的限制可以是:(a)在图像频带中,可存在从雷达信号频带折叠的能量;并且(b)在第二奈奎斯特频带中,可存在来自遥远物体的弱反射、在雷达信号频带中来自物体的谐波失真和互调,以及来自过采样ADC的过量量化噪声。然而,通过测量雷达信号频带外的干扰,干扰与无干扰之比可增加40dB。

[0049] 为了针对两个子频带实现该方法,干扰监视组件512至少包括两个干扰监视路径513。在监视路径的一个中,频移器组件514和低通滤波器组件516被配置成提取图像子频带,并且在监视路径的另一个中,频移器组件514和低通滤波器组件516被配置成提取上奈奎斯特子频带。干扰监视部件512产生用于这些子频带中的每个的干扰影响指示符。

[0050] 处理单元306可使用用于两个子频带的接收干扰影响指示符以减轻干扰的存在。例如,如果干扰影响指示符指示在子频带中的一个或两个中存在严重或高的干扰,则处理单元306可将检测到的干扰附近发生的对应的线性调频脉冲内的对应时间样本标记为破坏的。具体地说,假定两个子频带跨越雷达信号频带,如果首先在一个子频带中检测到干扰,并且然后在间隙之后,在另一子频带中检测到干扰,其间的线性调频脉冲样本可能为干扰所破坏,并且可进行标记。

[0051] 然后,处理单元306中的雷达信号处理可使用该信息减轻已破坏线性调频脉冲的

影响。在另一示例中,处理单元306可将用于来自所有接收信道402的先前线性调频脉冲的所有样本和/或下一个线性调频脉冲归零。在另一示例中,处理单元306可使用该信息改变用于帧中的后续线性调频脉冲和/或用于后续线性调频脉冲帧的频率。

[0052] 图7是可在雷达系统300中执行的用于干扰检测的方法的一个示例。在该方法中,在线性调频脉冲帧中的线性调频脉冲发射之间执行干扰监视。在线性调频脉冲恢复/空白时间期间的每个线性调频脉冲之后,关闭发射器,并且在线性调频脉冲的活动频率范围中执行扫描。在77GHz雷达系统中,取决于线性调频脉冲配置,该活动频率范围可在100Mhz至4GHz之间任何位置。在扫描期间,由于L0的斜降(ramp back),L0频率发生变化,并且由于干扰监视组件512从在监视接收信道402中接收的信号产生干扰影响指示符。在该方法中,监视IF信号的一个子频带,该子频带是IF信号的全带宽。

[0053] 处理单元306可使用接收干扰影响指示符减轻干扰的存在。例如,处理单元306可使用接收指示符创建哪些频率具有干扰和干扰强度的频率占用图。该图可以是单次扫描或扫描的累积。在观察到干扰的强度和频率之后,处理单元306可在连续的频谱上选择用于未来发射的具有最小干扰的合适的频带。

[0054] 可同时使用图6和图7的方法。在线性调频脉冲的“上”斜坡期间,可执行图6的方法,其中可在雷达信号频带的相邻子频带中测量干扰,并且可检测对应的线性调频脉冲中的破坏样本。当发射器关闭时,在“下”斜坡期间,可执行图7的方法以跟踪存在干扰的频带。

[0055] 图8是可在雷达系统300中执行的用于干扰检测的方法的一个示例。在该方法中,当发射器关闭时,在发射线性调频脉冲帧之前执行干扰监视。在该方法中,执行全频范围(诸如4GHz)的扫描。在扫描期间,L0频率变化,并且由于干扰监视组件512从在监视的接收信道402中接收的信号产生干扰影响指示符。在该方法中,监视IF信号的一个子频带,该子频带是雷达系统300的全带宽。

[0056] 处理单元306可使用接收干扰影响指示符减轻干扰的存在。例如,处理单元306可使用指示符确定无干扰频率。然后,处理单元306可对雷达SOC进行编程,以使用识别的无干扰频率范围用于发射后续线性调频脉冲帧。

[0057] 图9是可在雷达系统300中执行的用于干扰检测的方法的一个示例。在该方法中,在线性调频脉冲帧中的选择的线性调频脉冲发射之间的线性调频脉冲恢复/空白时间期间执行干扰监视。因此,例如,可在每个线性调频脉冲之后、在线性调频脉冲子集之间或在具有足够的带宽下斜坡的线性调频脉冲之后,执行干扰监视。在该方法中,执行全频范围(诸如4GHz)的扫描。在扫描期间,L0频率变化,并且由于干扰监视组件512从在监视的接收信道402中接收的信号产生干扰影响指示符。在该方法中,监视IF信号的一个子频带,该子频带是雷达系统300的全带宽。

[0058] 处理单元306可使用接收干扰影响指示符减轻干扰的存在。例如,处理单元306可使用指示符确定无干扰频率。然后处理单元306可对雷达SOC进行编程,以使用识别的无干扰频率范围用于发射帧中的后续线性调频脉冲和/或发射下一个线性调频脉冲帧。

[0059] 图10是可在雷达系统300中执行的用于干扰检测的一种方法的流程图。当操作雷达系统300时可连续执行该方法。最初,在正在被监视以检测干扰的雷达系统300中接收1000来自接收器(接收信道)的数字IF信号。在干扰监视组件512中接收数字IF信号。干扰监视组件512监视1002数字IF信号中的一个或多个子频带(取决于方法实施例)以获得干

扰。在一些实施例中,监视一个子频带。此类监视的示例在上文中描述。在一些实施例中,监视多个子频带。此类监视的示例在上文中描述。

[0060] 其它实施例

[0061] 在所描述的实施例中,干扰频率检测和干扰减轻处理由在雷达SOC外的雷达系统中的处理单元执行。在其它示例中,此类处理的一些或全部由SOC上的处理单元执行,诸如SOC的控制模块或SOC上的另一处理器。

[0062] 在另一示例中,本文已经描述了在其中使用时钟乘法器的实施例。在其它示例中,因为SYNTH以LO频率而非较低的频率操作,所以不需要乘法器。

[0063] 在另一示例中,本文已经描述了其中将发射信号产生电路系统假设为射频合成器的实施例。在其它示例中,该电路系统是开环振荡器(射频振荡器)加上数模转换器(DAC)或其它合适的发射信号产生电路系统。

[0064] 在另一示例中,本文已经描述了其中当存在多个接收信道时在单个接收信道上执行干扰监视的实施例。在其它示例中,监视多于一个接收信道以获得干扰。例如,如果接收机天线指向不同的方向,则可在多个(如果不是全部)接收信道中执行干扰监视。

[0065] 在其中监视多于一个接收信道的一些实施例中,为待监视的每个接收信道重复干扰监视组件。在一些此类实施例中,可组合(例如,求平均)来自干扰监视组件中的每个的RSSI值,并且组合结果对于确定干扰的存在和性质是有用的。这种方法可以称为硬组合。在另一实施例中,将干扰监视组件的滑动平均滤波组件的输出进行组合(例如,求平均)以产生组合输出。然后一个干扰阈值组件对该组合输出进行操作。这种方法可以称为软组合。这些实施例可以在干扰的灵敏度和干扰频率的斜率的识别准确性方面提供改进的干扰监视性能,代价是额外的功率消耗。

[0066] 在另一示例中,在一些实施例中,将来自多个接收信道的IF信号组合(例如,通过求和),并且将组合信号提供给单个干扰监视组件。干扰的频率预期会随任何单个线性调频脉冲迅速变化,因为针对所有的IF频率在不同信道中的干扰信号将不会相互相干地减去,也不会相互相干地加强,所以这种线性组合是可接受的。

[0067] 在另一示例中,本文已经描述了其中向外部处理单元提供量化RSSI数值的实施例。在其它示例中,RSSI数据未在雷达SOC上进行量化。

[0068] 在另一示例中,本文已经描述了其中使用三个阈值量化RSSI数值的实施例。在其它示例中,使用更多或更少的阈值。

[0069] 在另一示例中,本文已经描述了在其中向处理单元提供所有量化的RSSI数值的实施例,包括那些指示很少至无干扰的RSSI数值。在其它示例中,未向处理单元提供那些指示很少至无干扰的量化RSSI数值。

[0070] 在另一示例中,一个或更多个干扰监视路径的组件中的一个或更多个是可编程的。

[0071] 在另一示例中,本文已经描述了其中干扰监视路径不共享组件的实施例。在其它示例中,可在干扰监视路径之间共享组件中的一个或更多个。

[0072] 在另一示例中,本文已经描述了其中使用频移器组件和低通滤波器组件提取用于干扰监视的子频带的实施例。在其它示例中,使用带通滤波器代替。在更多的示例中,滤波器组提取用于干扰监视路径中的每个的期望的子频带,而不是使每个干扰监视路径包括提

取子频带的一个或更多个组件。

[0073] 在另一示例中,滑动平均滤波器组件在其中实现了块平均滤波器,而不是向子集添加一个新样本并丢弃最早的样本,可将新样本块添加到子集,并且丢弃对应数量的最早的样本。使用块平均滤波器降低滑动平均滤波器组件的输出的采样率。

[0074] 在另一示例中,本文已经描述了其中在监视的接收信道中的ADC是复数过采样ADC的实施例。在其它示例中,ADC是复数ADC或过采样ADC。在过采样实数ADC中,图像频带不可与雷达信号频带区分开,但可观察到奈奎斯特以外的多个频带。

[0075] 在另一示例中,本文已经描述了其中在图像子频带和上奈奎斯特子频带中的一个或两个中执行干扰监视的实施例。在其它示例中,这些子频带中的任一个或两个进一步分为用于监视的子频带。当估计干扰的斜率时并用于处理多个干扰信号时,监视额外的子频带提供更好的粒度。在更多的示例中,还监视较远的子频带(诸如第三和/或第四奈奎斯特频带的子频带)以获得干扰。

[0076] 在另一示例中,可通过对干扰监视组件的输入执行快速傅立叶变换(FFT)并将对应于每个子频带的FFT点(bin)的幅度或功率进行求和以产生每个子频带的RSSI数值,实现多个子频带中的RSSI数值的确定。FFT可在样本的多个持续时间内执行——每个持续时间一个FFT,并且在连续的结果上比较RSSI(或影响指标符)结果,以识别干扰频率的方向和斜率。

[0077] 在另一示例中,由干扰阈值组件使用的阈值对于每个监视的子频带可以不同。基于接收信道的组件对IF频率以及噪声功率对IF频率的增益响应,可为每个子频带设计用于检测干扰的存在和干扰影响的阈值。这特别适用于第二和较高奈奎斯特频带,其中典型的接收器可具有较高的噪声功率,诸如采用 $\Sigma - \Delta$  ADC的那些,以及由IF滤波器下降和IF滤波器的低通滤波器性质引起的较低增益。

[0078] 在另一示例中,本文已经描述了其中FMCW雷达系统包括雷达SOC和处理单元的实施例。其它实施例包括其它FMCW雷达系统架构。在更多的示例中,干扰监视组件在与雷达前端分离的芯片上。在此类实施例中,抽取组件502的输出可经由高速串行接口提供给该芯片。

[0079] 在另一示例中,本文已经描述了其中以硬件执行干扰监视的实施例。在其它示例中,干扰监视的一些或全部可以以软件实现。

[0080] 雷达系统中的组件可称为不同的名称和/或可以以本文未示出的方式组合,而不背离所描述的功能。例如,如果第一装置耦合到第二装置,则此类连接可通过直接电连接、通过经由其它装置和连接的间接电连接、通过光电连接和/或通过无线电连接。

[0081] 在所描述的实施例中,修改是可能的,并且在权利要求的范围内,其它实施例是可能的。

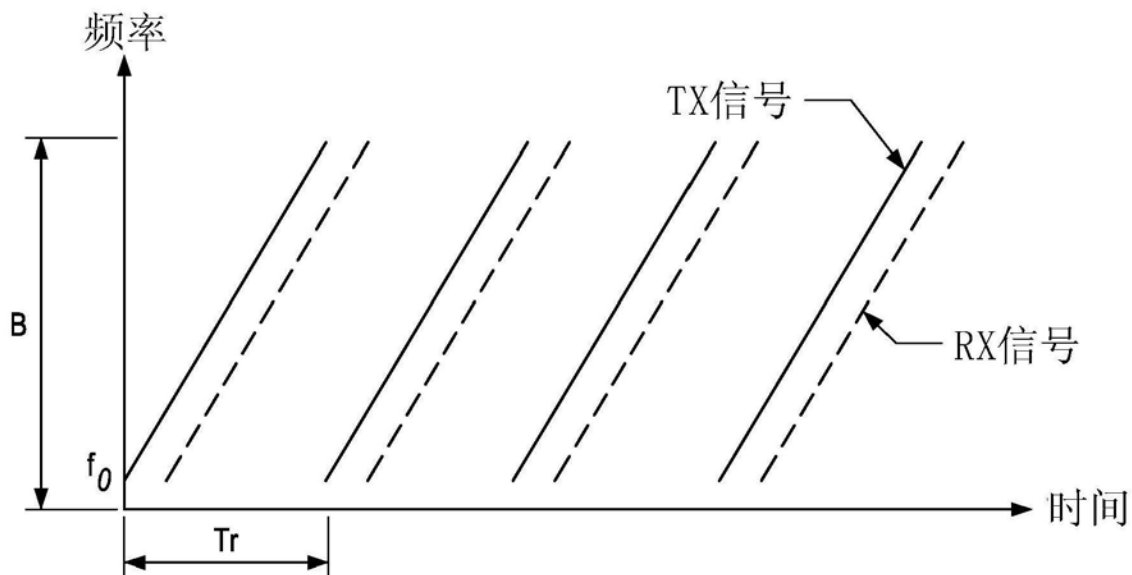


图1

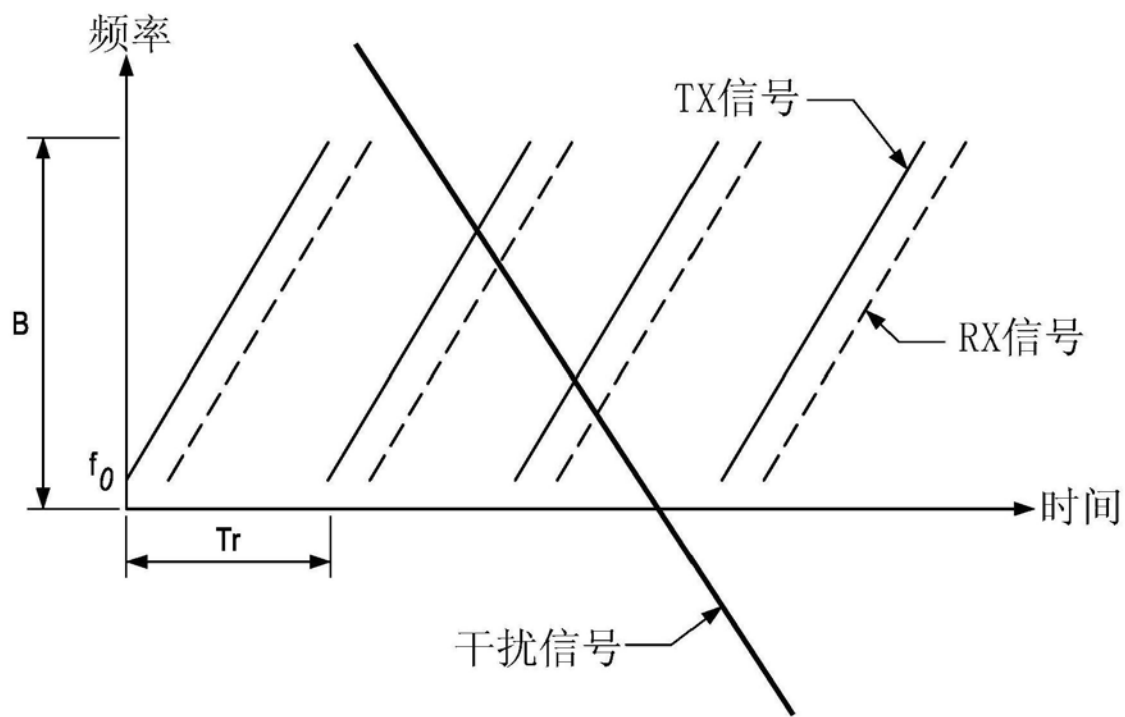


图2



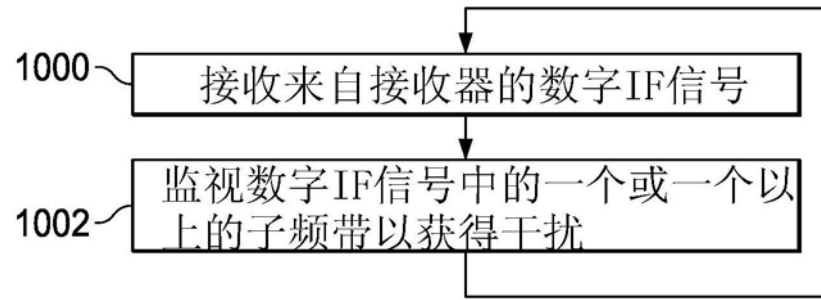


图10

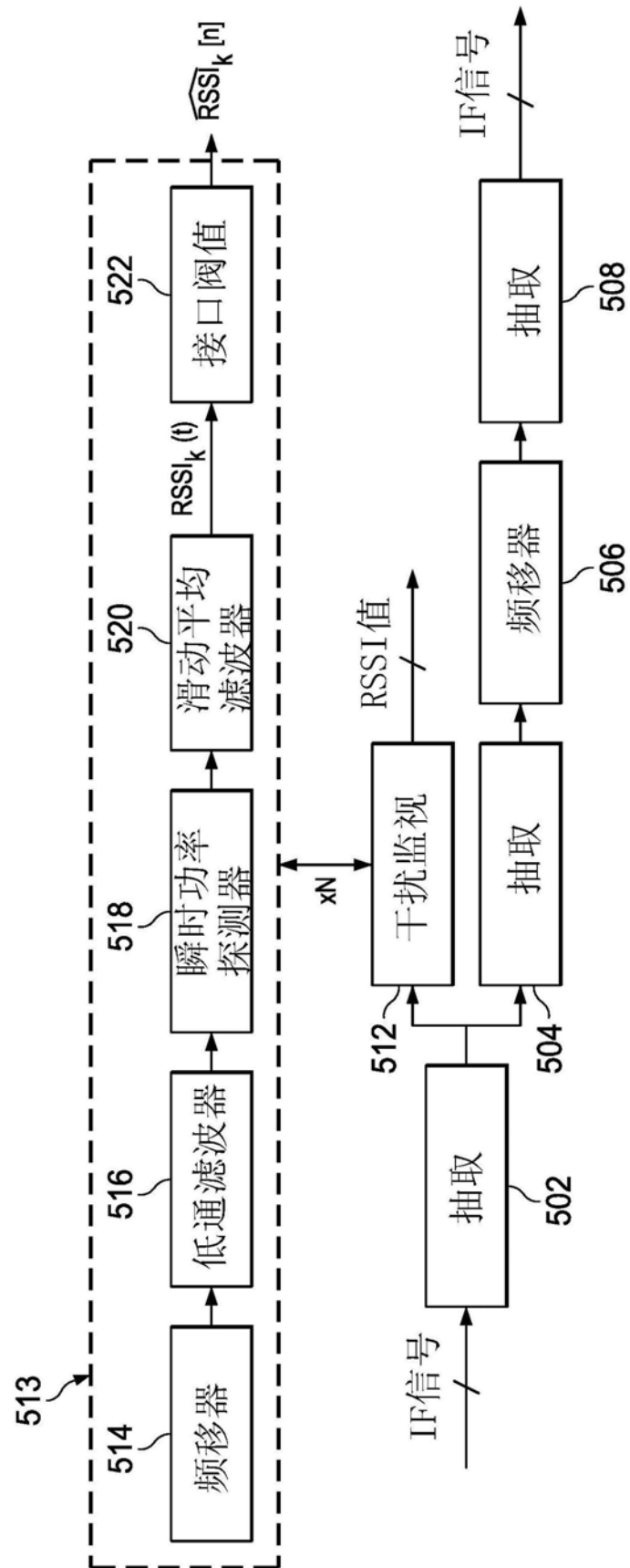


图5



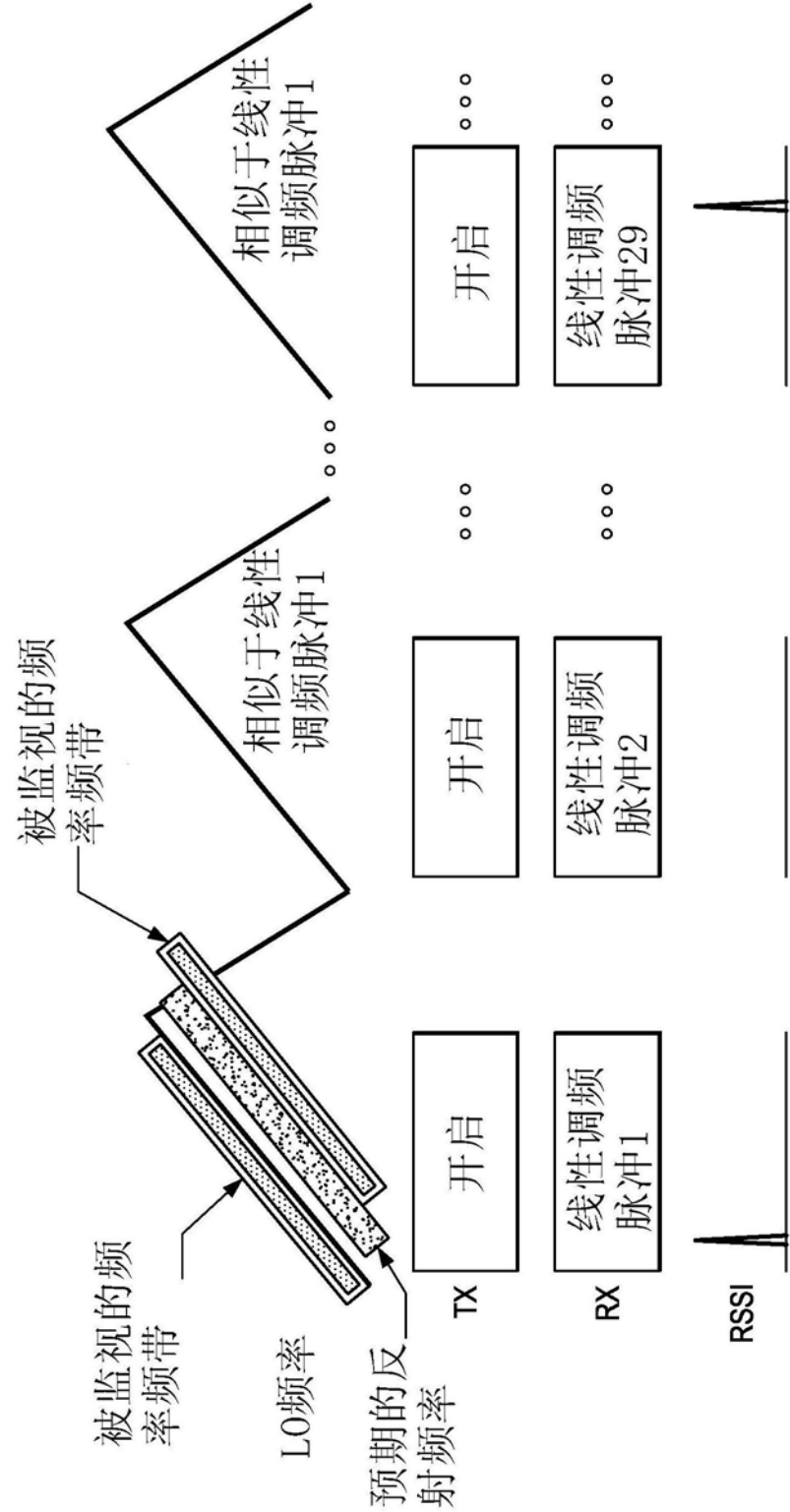


图6

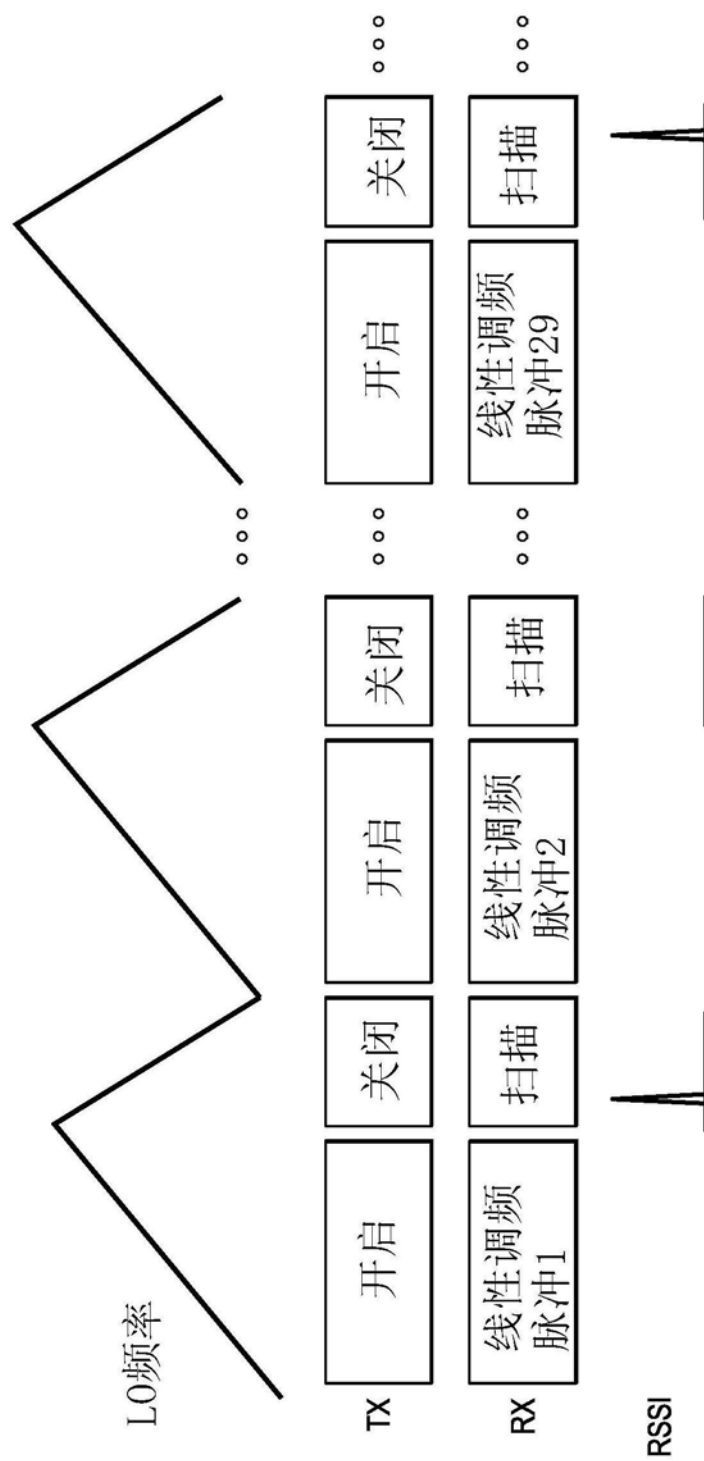


图7

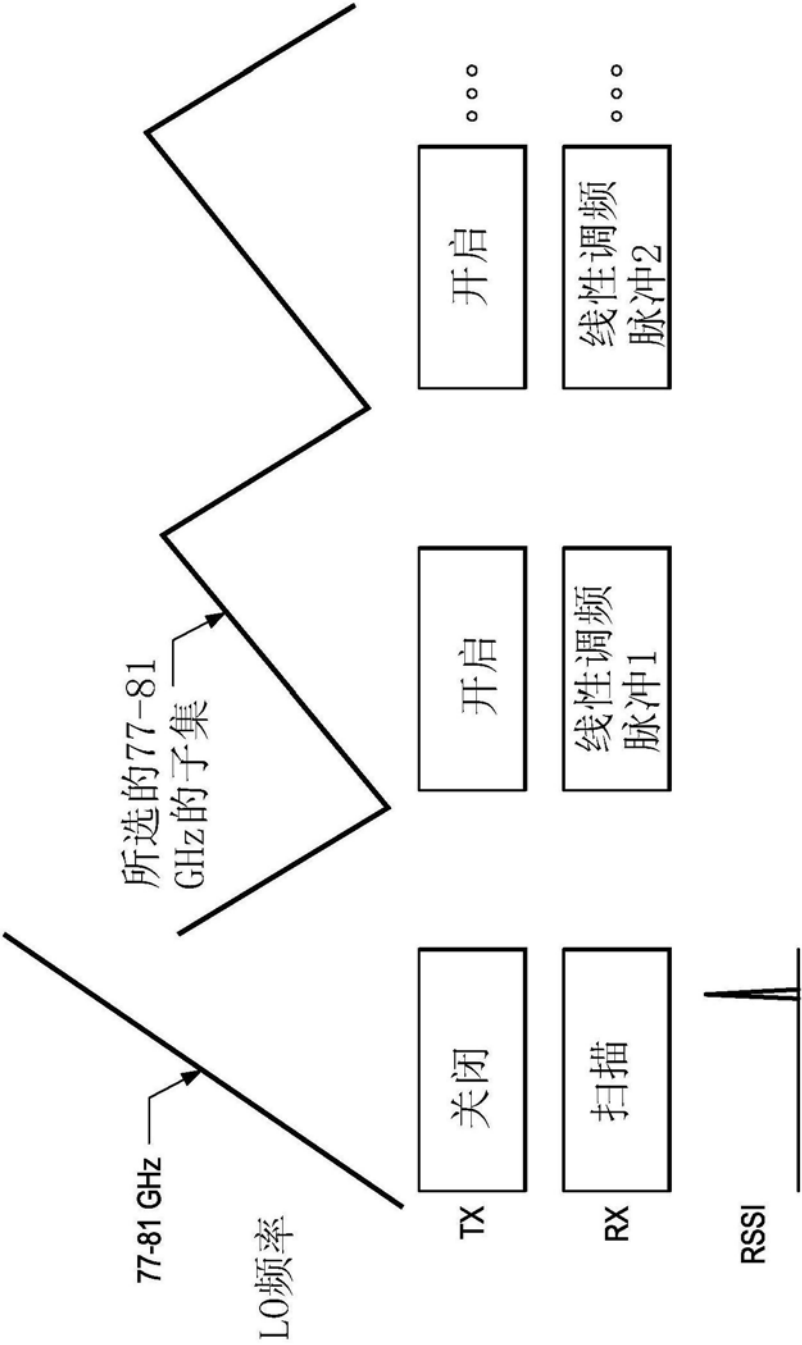


图8

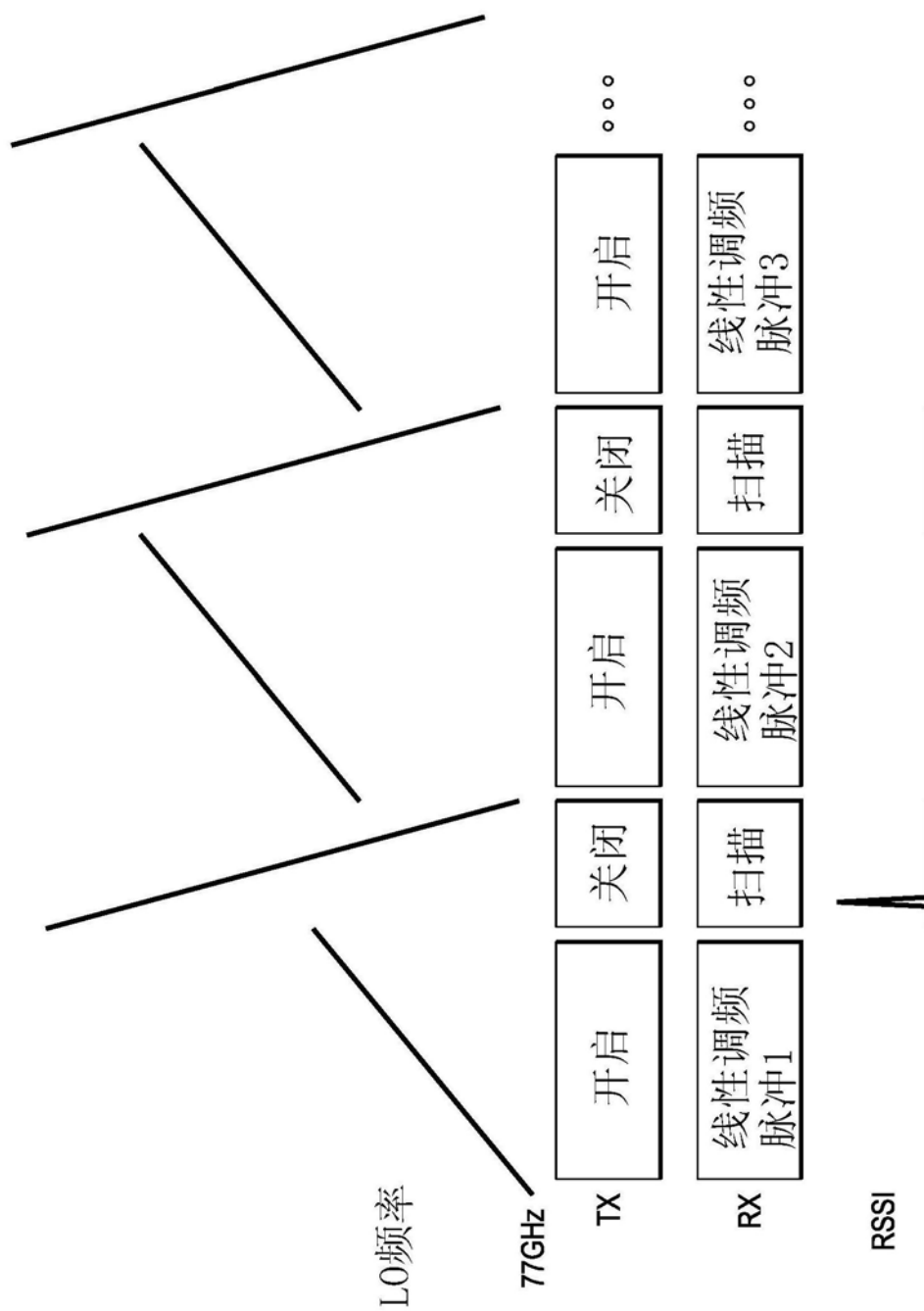


图9