



(12)发明专利



(10)授权公告号 CN 105683776 B

(45)授权公告日 2018.06.22

(21)申请号 201480058752.1

(22)申请日 2014.09.29

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105683776 A

(43)申请公布日 2016.06.15

(30)优先权数据

4825/CHE/2013 2013.10.25 IN

14/329,446 2014.07.11 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2016.04.25

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2014/058018 2014.09.29

(87)PCT国际申请的公布数据

W02015/060997 EN 2015.04.30

(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

(72)发明人 S·拉奥 S·康纳

(74)专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245

代理人 徐东升 赵蓉民

(51)Int.Cl.

G01S 13/93(2006.01)

审查员 梁策

权利要求书3页 说明书11页 附图5页

(54)发明名称

雷达中的角分辨率

(57)摘要

在所描述的用于估计障碍物的位置的雷达装置(200)的示例中,接收天线单元(210)包括:天线线性阵列;和与天线线性阵列中的至少一个天线具有预定偏移的附加天线。信号处理单元(215)根据在天线线性阵列处从障碍物接收的信号来估计与每个障碍物相关联的方位频率。信号处理单元(215)根据与每个障碍物相关联的估计的方位频率来估计与每个障碍物相关联的方位角和仰角。

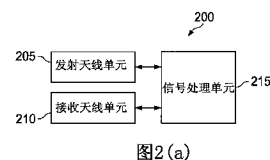


图2(a)

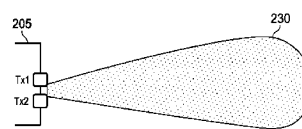


图2(c)-1

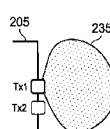


图2(c)-2

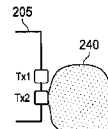


图2(c)-3

1. 一种用于估计多个障碍物的位置的雷达装置,所述雷达装置包含:

接收天线单元,其包括:天线线性阵列;和与所述天线线性阵列中的至少一个天线具有预定偏移的附加天线;以及

信号处理单元,其被配置为:根据在所述天线线性阵列处从所述多个障碍物接收的信号来估计与所述障碍物中的每一个相关联的方位频率;根据与所述多个障碍物相关联的所估计的方位频率并根据在所述天线线性阵列处从所述多个障碍物接收的所述信号来估计与每个障碍物相关联的复振幅;根据与所述多个障碍物相关联的所估计的复振幅并根据在所述附加天线处从所述多个障碍物接收的信号来估计与每个障碍物相关联的复相量;以及根据与每个障碍物相关联的所估计的复相量并根据与每个障碍物相关联的所估计的方位频率来估计与每个障碍物相关联的方位角和仰角。

2. 根据权利要求1所述的雷达装置,其中所述多个障碍物相对于所述雷达装置具有固定的距离和固定的相对速度。

3. 根据权利要求1所述的雷达装置,其中在所述天线线性阵列处从所述多个障碍物接收的所述信号的多个帧被用于估计所述方位频率;并且其中针对所述多个帧中的每一帧估计所述复振幅。

4. 根据权利要求1所述的雷达装置,其中在所述附加天线处从所述多个障碍物接收的所述信号的多个帧被用于估计与每个障碍物相关联的所述复相量。

5. 根据权利要求1所述的雷达装置,其中与每个障碍物相关联的所述复振幅的估计是最小二乘估计和加权最小二乘估计中的一个。

6. 根据权利要求1所述的雷达装置,其中与每个障碍物相关联的所述复相量的估计是最小二乘估计和加权最小二乘估计中的一个。

7. 根据权利要求1所述的雷达装置,还包含:发射天线单元,其包括一起操作以估计每个障碍物在第一范围内的位置和按顺序操作以估计每个障碍物在第二范围内的位置的多个发射天线,其中所述第一范围大于所述第二范围。

8. 根据权利要求1所述的雷达装置,其被安装在车辆上,其中在所述车辆中的运动改善在所述雷达装置中的解相关。

9. 一种使用雷达装置估计多个障碍物的位置的方法,所述方法包含:

根据在所述雷达装置处从所述多个障碍物接收的信号估计与所述障碍物中的每一个相关联的方位频率;

根据与所述多个障碍物相关联的所估计的方位频率并根据在所述雷达装置处从所述多个障碍物接收的所述信号来估计与每个障碍物相关联的复振幅;

根据与所述多个障碍物相关联的所估计的复振幅并根据在所述雷达装置处从所述多个障碍物接收的所述信号来估计与每个障碍物相关联的复相量;以及

根据与每个障碍物相关联的所估计的复相量并根据与每个障碍物相关联的所估计的方位频率来估计与每个障碍物相关联的方位角和仰角,其中所述雷达装置中的接收天线单元从所述多个障碍物接收所述信号,并且所述接收天线单元包括天线线性阵列和附加天线。

10. 根据权利要求9所述的方法,其中所述附加天线与所述天线线性阵列中的至少一个天线具有预定偏移。

11. 根据权利要求9所述的方法, 其中估计所述方位频率包括根据在所述天线线性阵列处从所述多个障碍物接收的信号来估计与每个障碍物相关联的所述方位频率。

12. 根据权利要求9所述的方法, 其中估计所述复振幅包括根据与所述多个障碍物相关联的所估计的方位频率并根据在所述天线线性阵列处从所述多个障碍物接收的所述信号来估计与每个障碍物相关联的所述复振幅。

13. 根据权利要求9所述的方法, 其中估计所述复相量包括根据与所述多个障碍物相关联的所估计的复振幅并根据在所述附加天线处从所述多个障碍物接收的信号来估计与每个障碍物相关联的所述复相量。

14. 根据权利要求9所述的方法, 还包括: 根据在所述天线线性阵列处从所述多个障碍物接收的所述信号的多个帧来估计与每个障碍物相关联的所述方位频率和所述复振幅。

15. 根据权利要求9所述的方法, 还包括: 根据在所述附加天线处从所述多个障碍物接收的所述信号来估计与每个障碍物相关联的所述复相量。

16. 根据权利要求9所述的方法, 其中: 与每个障碍物相关联的复振幅的估计是最小二乘估计和加权最小二乘估计中的一个; 并且与每个障碍物相关联的所述复相量的估计是最小二乘估计和加权最小二乘估计中的一个。

17. 根据权利要求9所述的方法, 其中所述雷达装置包括发射天线单元, 所述发射天线单元包括一起操作以估计每个障碍物在第一范围内的位置和按顺序操作以估计每个障碍物在第二范围内的位置的多个发射天线, 其中所述第一范围大于所述第二范围。

18. 一种用于估计多个障碍物的位置的雷达装置, 所述雷达装置包含:

发射天线单元;

发射器, 其耦合到所述发射天线单元并被配置为产生出站RF信号即出站射频信号;

接收天线单元;

接收器, 其耦合到所述接收天线单元并被配置为接收来自所述接收天线单元的入站RF信号, 其中所述出站RF信号被所述多个障碍物散射以产生所述入站RF信号;

混频器, 其耦合到所述接收器和所述发射器并被配置为解调所述入站RF信号以产生解调信号;

模数转换器即ADC, 其耦合到所述混频器并被配置为响应于从所述混频器接收的所述解调信号产生数字信号;

FFT模块即快速傅里叶变换模块, 其耦合到所述ADC并被配置为将所述数字信号从时域变换到频域; 以及

信号处理单元, 其耦合到所述FFT模块并被配置为: 处理所述数字信号; 根据所述数字信号来估计与所述障碍物中的每一个相关联的方位频率; 根据与所述多个障碍物相关联的所估计的方位频率并根据所述数字信号来估计与每个障碍物相关联的复振幅; 根据与所述多个障碍物相关联的所估计的复振幅来估计与每个障碍物相关联的复相量; 以及根据与每个障碍物相关联的所估计的复相量并根据与每个障碍物相关联的所估计的方位频率来估计与每个障碍物相关联的方位角和仰角。

19. 根据权利要求18所述的雷达装置, 其中所述接收天线单元包括: 天线线性阵列; 和与所述天线线性阵列中的至少一个天线具有预定偏移的附加天线。

20. 根据权利要求19所述的雷达装置, 其中与每个障碍物相关联的所述复相量是根据

在所述附加天线处从所述多个障碍物接收的信号并根据与所述多个障碍物相关联的所估计的复振幅来估计的。

21. 根据权利要求19所述的雷达装置, 其中所述出站RF信号包括由所述发射器产生的所述RF信号的多个帧, 并且所述入站RF信号包括从所述多个障碍物接收的所述信号的多个帧。

22. 根据权利要求21所述的雷达装置, 其中在所述天线线性阵列处从所述多个障碍物接收的所述信号的所述多个帧被用于估计与每个障碍物相关联的所述方位频率和所述复振幅; 并且在所述附加天线处从所述多个障碍物接收的所述信号的所述多个帧被用于估计与每个障碍物相关联的所述复相量。

23. 根据权利要求18所述的雷达装置, 其中所述发射天线单元包括一起操作以估计每个障碍物在第一范围内的位置和按顺序操作以估计每个障碍物在第二范围内的位置的多个发射天线, 其中所述第一范围大于所述第二范围。

雷达中的角分辨率

技术领域

[0001] 本申请总体涉及雷达,并且具体涉及雷达中的角分辨率。

背景技术

[0002] 车辆可以具有停车传感器以检测车辆后方的障碍物。当倒车时停车传感器使用超声波信号确定车辆离障碍物的距离。此类停车传感器以超声波频率操作。停车传感器输出超声波检测信号以检测障碍物是否在车辆后部的后面,并且接收从障碍物答复的超声波信号。在一个示例中,车辆具有多个停车传感器以覆盖车辆的整个后方,这使得它相对昂贵。另外,超声波停车传感器使用时分障碍物检测技术,其中每个传感器在定义的时隙中发送和接收超声波检测信号。因此,使用超声波传感器检测障碍物的过程是耗时的,这在车辆高速移动时是不安全的。

[0003] 对于超声波停车传感器,测量孔并在车辆的保险杠中钻孔以安装换能器。风险与钻孔和安装换能器到保险杠中有关。超声波传感器的性能对温度和大气条件(如雪和雨)敏感。当传感器被雪覆盖时,超声波传感器的性能大大降低。此外,超声波传感器具有有限的工作范围。

[0004] 在汽车应用中雷达的使用正在迅速发展。雷达不具有与超声波传感器相同的缺点。雷达在许多车辆应用(如碰撞报警、盲点警告、辅助变更车道、停车辅助和后部碰撞警告)中是有用的。示例包括脉冲雷达和FMCW(频率调制连续波)雷达。

[0005] 在脉冲雷达中,雷达以固定的间隔以一种脉冲形状发射信号。障碍物对所发射的脉冲进行散射,而散射的脉冲被雷达接收。在发射脉冲和接收散射的脉冲之间的时间与从雷达到障碍物的距离成比例。为了实现更好的范围分辨率,在脉冲雷达的ADC(模数转换器)中使用具有高采样速率的较窄脉冲。此外,脉冲雷达的灵敏度与功率成正比,这使脉冲雷达的设计复杂。

[0006] 在FMCW雷达中,发射信号被频率调制以产生发射线性调频脉冲。障碍物散射该发射线性调频脉冲,而且散射的线性调频脉冲由FMCW雷达接收。拍频信号通过混合发射的线性调频脉冲和接收的散射线性调频脉冲来获得。拍频信号的频率与从FMCW雷达到障碍物的距离成比例。拍频信号由模数转换器(ADC)采样。ADC的采样速率与拍频信号的最大频率成比例,且拍频信号的频率与最远障碍物的范围成比例,这可以通过FMCW雷达来检测。因此,在脉冲雷达中,FMCW雷达中的ADC的采样速率独立于范围分辨率。

[0007] 通常,在FMCW雷达中,多个线性调频脉冲以帧为单位发射。针对障碍物的范围和相对速度估计对在一个帧上接收的采样拍频信号数据执行2维(2D)FFT。收集器(bin)是对应于障碍物的范围和相对速度估计的2D FFT网格。在特定收集器中检测的信号表示存在具有预定范围和相对速度的障碍物。当多个接收天线被用于接收散射线性调频脉冲时,FMCW雷达估计障碍物的仰角和障碍物的方位角。在每个帧中,使用从每个接收天线接收的数据来计算2D FFT。因此,2D FFT的数量等于接收天线的数量。当在2D FFT网格的特定收集器中检测到障碍物时,对应于每个接收天线的特定收集器的数值被用于估计障碍物的方位角和仰

角。

[0008] FMCW雷达在范围、相对速度和角度的维度上解析障碍物。为了准确地估计障碍物的位置,在这些维度中的任何一个维度中解析障碍物。如果多个障碍物位于从FMCW雷达起的相同距离处,并且如果它们以相同的相对速度行进,那么FMCW雷达在角度维度上解析这些障碍物。

[0009] 因此,在确定FMCW雷达的性能时,角度估计是一个重要因素。角度估计的分辨率和精确度与FMCW雷达中的天线单元的数目成正比。随着FMCW雷达在范围广泛的应用中使用,其设计变得更加成本敏感。每个天线具有用于接收散射线性调频脉冲的不同接收器路径(其包括放大器、混频器、ADC和滤波器),因此在FMCW雷达中使用的天线的数目是确定FMCW雷达的总体成本的关键因素。

发明内容

[0010] 在所描述的用于估计障碍物的位置的雷达装置的示例中,接收天线单元包括:天线线性阵列;和与天线线性阵列中的至少一个天线具有预定偏移的附加天线。信号处理单元根据在天线线性阵列处从障碍物接收的信号来估计与每个障碍物相关联的方位频率。信号处理单元根据与每个障碍物相关联的估计的方位频率来估计与每个障碍物相关联的方位角和仰角。

附图说明

[0011] 图1示出雷达装置中的接收天线单元。

[0012] 图2(a)示出雷达装置。

[0013] 图2(b)示出雷达装置的操作。

[0014] 图2(c)-1示出雷达装置中的发射天线单元的波束宽度,其中发射天线Tx1和Tx2在相同时间发射。

[0015] 图2(c)-2示出雷达装置中的发射天线单元的波束宽度,其中发射天线Tx1正在发射,而发射天线Tx2不发射。

[0016] 图2(c)-3示出雷达装置中的发射天线单元的波束宽度,其中发射天线Tx2正在发射,而发射天线Tx1不发射。

[0017] 图3示出雷达装置。

具体实施方式

[0018] 以下共同未决的专利申请通过引用并入本文:申请号US 14/329,446。

[0019] 图1示出雷达装置中的接收天线单元100。在至少一个示例中,接收天线单元100被集成在雷达装置中,该雷达装置进一步被集成在工业应用或汽车应用中。接收天线单元100包括天线的线性阵列。天线的线性阵列包括多个天线,例如天线a1、a2、a3和aN,其中aN是第N个天线,并且N是整数。在图1的示例中,天线被表示为a1至aN。天线线性阵列a1-aN被显示为沿X轴布置。在天线线性阵列a1-aN中的相邻天线被分开一个间距d,所以天线a1和a2相对彼此以距离“d”放置。

[0020] 另外,接收天线单元100包括附加天线b1。附加天线b1与天线线性阵列a1-aN中的

至少一个天线具有预定偏移。如图1所示,该预定偏移是距离天线线性阵列a1-aN中的天线a1的 (α, β) 。术语 α 是从Z轴到附加天线b1的距离,而术语 β 是从X轴到附加天线b1的距离。在一个实施例中,附加天线不在XZ平面中,并且从XZ平面到附加天线b1的垂直距离为 γ 。在一个实施例中,预定偏移是 $\lambda/2$ 的倍数,其中 λ 是接收天线单元100的工作波长。在一个实施例中, d 为 $\lambda/2$, α 为 $\lambda/4$, β 为 $\lambda/2$,且 γ 为0。在一个实施例中,天线线性阵列中的天线之间的间隔 d 是 $\lambda/2$ 的倍数。

[0021] 为了便于理解,考虑其中天线线性阵列具有三个天线(a1、a2和a3)的实施例。以下等式(1)是在接收天线单元100处从障碍物102接收到的信号的数学表示。等式(1)中的信号‘r’表示在信号处理单元处理由接收天线单元100接收的信号之后获得的信号。在一个实施例中,信号‘r’表示对在接收天线单元100中的每个天线处从障碍物接收的信号执行2D FFT之后获得的信号。

$$[0022] \quad r = A[1 \quad e^{-jw_x} \quad e^{-j2w_x} \quad e^{-j\psi}] \quad (1)$$

[0023] 其中 w_x 是方位频率,并且A是对应于障碍物的复振幅。术语 ψ 是在附加天线b1处的相位,且由下式给出

$$[0024] \quad \psi = w_z + \frac{\alpha}{d} w_x$$

[0025] 其中 w_z 是高程频率。术语 w_x 和 w_z 定义如下:

[0026]

$$w_x = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin(\theta) \cos(\phi) \quad (2)$$

[0027]

$$w_z = \frac{2\pi}{\lambda} \beta \sin(\phi) \quad (3)$$

[0028] 在等式(1)中,分量 e^{-jw_x} 表示由于天线a1所产生的因数,分量 e^{-j2w_x} 表示由于天线a2所产生的因数,并且分量 $e^{-j\psi}$ 表示由于天线b1所产生的因数。角度104(θ)表示障碍物102与天线单元100之间的方位角。角度108(ϕ)表示障碍物102与天线单元100之间的仰角。方位角(θ)104是Y轴与从天线a1到障碍物102的矢量在XY平面上的投影之间的角度。仰角(ϕ)108是从天线a1到障碍物102的矢量与XY平面之间的角度。在至少一个示例中,接收天线单元100被用于估计在从接收天线单元100起的固定距离处并且相对于雷达装置具有相同的相对速度的多个障碍物的位置。在一个示例中,接收天线单元100被用于估计多个障碍物的位置,所述多个障碍物在不同的距离处并且相对于雷达装置具有不同的相对速度。例如,接收天线单元100被用于估计两个障碍物A和B的位置,其中A在距离雷达装置1米处,B在距离雷达装置1.2米处,A的相对速度为5m/s,而B的相对速度为4.5m/s。在一个附加的示例中,接收天线单元100被用于估计两个障碍物的位置,这两个障碍物在2D FFT网格的不同收集器(bin)中被检测,但是它们在2D FFT域中的信号相互干扰。例如,第一障碍物(在2D FFT网格的第一收集器中被检测)可以具有衰减信号,该衰减信号表示第一障碍物在第二收集器中。

这个衰减信号干扰在第二收集器中检测到的第二障碍物的位置估计。在一个实施例中,当天线线性阵列a1-aN具有N个天线时,接收天线单元100估计高达(N-1)个障碍物的位置。

[0029] 图2(a)示出雷达装置200。雷达装置200包括发射天线单元205、接收天线单元210和信号处理单元215。接收天线单元210在连接和操作方面类似于接收天线单元100。

[0030] 雷达装置200在范围、相对速度和角度的维度中解析障碍物。为了精确地估计障碍物的位置,在这些维度中的任一维度中解析障碍物。因此,如果多个障碍物位于从雷达装置200起相同的距离处并且相对于雷达装置200具有相同的相对速度,则该雷达装置200在角度维度中解析这些障碍物。雷达装置200估计在从雷达装置200起的固定距离处并且相对于雷达装置200具有固定的相对速度的多个障碍物的位置。在一个实施例中,雷达装置200估计多个障碍物的位置,并且每个障碍物在从雷达装置200起不同的距离处。

[0031] 图2(b)通过障碍物‘m’255和‘n’260的示例示出雷达装置200的操作。在这个示例中,接收天线单元210(图2a)包括:形成天线线性阵列的三个天线a1、a2和a3;以及附加天线b1。术语 θ_m 265是与障碍物‘m’255相关联的方位角,并且术语 ϕ_m 270是与障碍物‘m’255相关联的仰角。类似地,术语 θ_n 275是与障碍物‘n’260相关联的方位角,并且术语 ϕ_n 280是与障碍物‘n’260相关联的仰角。如图2(b)所示,方位角 θ_n 275被解释为在负方向上的角度。

[0032] 发射天线单元205被配置为发射RF(射频)信号,并且接收天线单元210接收来自障碍物‘m’255和‘n’260的散射信号。所发射的RF信号包括由发射器产生的RF信号的多个帧,并且所接收的散射RF信号包括从障碍物接收的信号多个帧。接收天线单元210在这些帧处跟踪来自障碍物的信号。在帧“k”处在接收天线单元210处从障碍物“m”255和“n”260接收的信号被表示为:

$$[0033] \begin{bmatrix} r_{a1,k} \\ r_{a2,k} \\ r_{a3,k} \\ r_{b1,k} \end{bmatrix} = A_{m,k} \begin{bmatrix} 1 \\ e^{-jw_{xm}} \\ e^{-j2w_{xm}} \\ e^{-j\psi_m} \end{bmatrix} + A_{n,k} \begin{bmatrix} 1 \\ e^{-jw_{xn}} \\ e^{-j2w_{xn}} \\ e^{-j\psi_n} \end{bmatrix} \quad (4)$$

[0034] 其中 $r_{a1,k}$ 、 $r_{a2,k}$ 、 $r_{a3,k}$ 、 $r_{b1,k}$ 是分别在天线a1、a2、a3和b1处在帧k处接收的信号。术语 $r_{a1,k}$ 、 $r_{a2,k}$ 、 $r_{a3,k}$ 、 $r_{b1,k}$ 表示在信号处理单元215中处理之后在相应的天线处接收的信号。例如,在一个实施例中,信号 $r_{a1,k}$ 表示执行2D FFT之后针对帧k在天线a1处从障碍物‘m’255和‘n’260接收的信号。术语 $A_{m,k}$ 和 $A_{n,k}$ 分别是两个障碍物‘m’255和‘n’260在帧k处的复振幅。术语 w_{xm} 是与障碍物‘m’255相关联的方位频率,并且术语 w_{xn} 是与障碍物‘n’260相关联的方位频率。术语 ψ_m 被称为由于障碍物‘m’255而在附加天线b1处产生的相位,并且术语 ψ_n 被称为由于障碍物‘n’260而在附加天线b1处产生的相位。此外, $e^{-j\psi_m}$ 被称为在附加天线b1处与障碍物‘m’255相关联的复相量(complex phasor),且 $e^{-j\psi_n}$ 被称为在附加天线b1处与障碍物‘n’260相关联的复相量。方位频率 w_{xm} 和 w_{xn} 被定义为:

[0035]

$$w_{xm} = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin(\theta_m) \cos(\phi_m) \quad (5)$$

[0036]

$$w_{xn} = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin(\theta_n) \cos(\phi_n) \quad (6)$$

[0037] 与障碍物‘m’255相关联的高程频率 (w_{zm}) 以及与障碍物‘n’260相关联的高程频率 (w_{zn}) 被定义为:

[0038]

$$w_{zm} = \frac{2\pi}{\lambda} \beta \sin(\phi_m) \quad (7)$$

[0039]

$$w_{zn} = \frac{2\pi}{\lambda} \beta \sin(\phi_n) \quad (8)$$

[0040] 由于障碍物‘m’255而在附加天线b1处产生的相位 (ψ_m) 以及由于障碍物‘n’260而在附加天线b1处产生的相位 (ψ_n) 被定义为:

$$[0041] \quad \psi_m = w_{zm} + \frac{\alpha}{d} w_{xm} \quad (9)$$

$$[0042] \quad \psi_n = w_{zn} + \frac{\alpha}{d} w_{xn} \quad (10)$$

[0043] 其中 θ_m 265 是与障碍物‘m’255相关联的方位角, 且 ϕ_m 270 是与障碍物‘m’255相关联的仰角。类似地, θ_n 275 是与障碍物‘n’260相关联的方位角, 且 ϕ_n 280 是与障碍物‘n’260相关联的仰角。

[0044] 信号处理单元215被配置为根据从障碍物接收的信号来估计与每个障碍物相关联的方位频率。因此, 信号处理单元215根据在天线a1、a2和a3的线性阵列处从障碍物‘m’255和‘n’260接收的信号来估计分别与障碍物‘m’255和‘n’260相关联的方位频率 w_{xm} 和 w_{xn} 。方位频率的估计通过常规技术 (例如, 根MUSIC (多信号分类) 技术、频谱MUSIC技术以及基于最大似然估计的技术) 进行。通过使用这些技术, 具有N个天线的雷达装置可以估计N-1个障碍物的方位频率。该估计提供与障碍物‘m’255和‘n’260中的每一个相关联的估计的方位频率 w_{xm} 和 w_{xn} 。信号处理单元215根据与障碍物相关联的估计的方位频率并根据在天线a1、a2和a3的线性阵列处从障碍物接收的信号来估计与每个障碍物相关联的复振幅。因此, 信号处理单元215使用如下等式 (4) 估计 $A_{m,k}$ 和 $A_{n,k}$, 其分别是两个障碍物‘m’255和‘n’260的复振幅:

[0045]

$$A_{m,k} \begin{bmatrix} 1 \\ e^{-jw_{xm}} \\ e^{-2jw_{xm}} \end{bmatrix} + A_{n,k} \begin{bmatrix} 1 \\ e^{-jw_{xn}} \\ e^{-2jw_{xn}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{a1,k} \\ r_{a2,k} \\ r_{a3,k} \end{bmatrix} \quad (11)$$

[0046]

$$\underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ e^{-jw_{xm}} & e^{-jw_{xn}} \\ e^{-2jw_{xm}} & e^{-2jw_{xn}} \end{bmatrix}}_S \begin{bmatrix} A_{m,k} \\ A_{n,k} \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} r_{a1,k} \\ r_{a2,k} \\ r_{a3,k} \end{bmatrix}}_{r_k(1:3)} \quad (12)$$

[0047]

$$\begin{bmatrix} A_{m,k} \\ A_{n,k} \end{bmatrix} = \text{pinv}(S) r_k(1:3) \quad (13)$$

[0048] 其中, $\text{pinv}(S)$ 是 S 的伪逆。在一个实施例中, $\text{pinv}(S)$ 被定义为:

$$[0049] \quad \text{pinv}(S) = (S^H S)^{-1} S^H \quad (14)$$

其中 H 被称为共轭转置。估计 $\text{pinv}(S)$ 涉及反转如在等式 (14) 中所示的 2×2 矩阵 $(S^H S)$ 。 S 独立于帧 'k'。因此, 估计之后, $\text{pinv}(S)$ 被用于所有的连续帧。术语 $r_{a1,k}$ 表示在帧 k 处在天线 $a1$ 处接收的信号。类似地, $r_{a2,k}$ 表示在帧 k 处在天线 $a2$ 处接收的信号。信号处理单元 215 使用在天线 $a1$ 、 $a2$ 和 $a3$ 的线性阵列处接收的信号的帧来估计与每个障碍物相关联的复振幅。针对每一帧来估计该复振幅。针对每一帧, 测量 $r_k(1:3)$ 的值, 这是在天线 $a1$ 、 $a2$ 和 $a3$ 的线性阵列处从障碍物 'm' 255 和 'n' 260 接收的信号。在一个实施例中, 针对帧 k , 分别与障碍物 'm' 255 和 'n' 260 相关联的复振幅 $A_{m,k}$ 和 $A_{n,k}$ 的估计是最小二乘估计。在另一个实施例, 当在天线线性阵列中的每个天线处的 SNR (信噪比) 不同时 (例如当在 $a1$ 、 $a2$ 和 $a3$ 处的 SNR 不同, 或者当在天线 $a1$ 、 $a2$ 和 $a3$ 的线性阵列中的任何天线处的 SNR 跨越帧改变时), 针对帧 k , 分别与障碍物 'm' 255 和 'n' 260 相关联的复振幅 $A_{m,k}$ 和 $A_{n,k}$ 的估计是加权最小二乘估计。复振幅的估计提供针对每一帧与障碍物 'm' 255 和 'n' 260 中的每一个相关联的估计的复振幅。

[0050] 信号处理单元 215 根据与障碍物相关联的估计的复振幅并根据在附加天线处从障碍物接收的信号来估计与每个障碍物相关联的复相量。因此, 信号处理单元 215 根据分别与障碍物 'm' 255 和 'n' 260 相关联的复振幅 $A_{m,k}$ 和 $A_{n,k}$ 并根据在附加天线 $b1$ 处从障碍物 'm' 255 和 'n' 260 接收的信号来估计分别与障碍物 'm' 255 和 'n' 260 相关联的复相量 $e^{-j\psi_m}$ 和 $e^{-j\psi_n}$ 。信号处理单元 215 使用如下等式 (4) 估计复相量 $e^{-j\psi_m}$ 和 $e^{-j\psi_n}$:

[0051]

$$A_{m,k} e^{jw_{zm}} + A_{n,k} e^{jw_{zn}} = r_{b1,k} \quad (15)$$

[0052]

$$\underbrace{\begin{bmatrix} A_{m,1} & A_{n,1} \\ A_{m,2} & A_{n,2} \\ \vdots & \vdots \\ A_{m,N_{fr}} & A_{n,N_{fr}} \end{bmatrix}}_T \begin{bmatrix} e^{j\psi_m} \\ e^{j\psi_n} \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} r_{b1,1} \\ r_{b1,2} \\ \vdots \\ r_{b1,N_{fr}} \end{bmatrix}}_{r_{b1}} \quad (16)$$

[0053]

$$\begin{bmatrix} e^{j\psi_m} \\ e^{j\psi_n} \end{bmatrix} = \text{pinv}(T) r_{b1} \quad (17)$$

[0054] 其中, $\text{pinv}(T)$ 是 T 的伪逆。在一个实施例中, $\text{pinv}(T)$ 被定义为:

$$\text{pinv}(T) = (T^H T)^{-1} T^H \quad (18)$$

其中 H 被称为共轭转置。估计 $\text{pinv}(T)$ 涉及反转等式 (18) 的 2×2 矩阵 $(T^H T)$ 。等式 (16) 表示在帧 ‘ k ’ 处的等式 (15), 其中 $k=1, 2, \dots, N_{fr}$, 并且 N_{fr} 是第 N 个帧。信号处理单元 215 使用跨越多个帧在附加天线 $b1$ 处接收的信号来估计与每个障碍物相关联的复相量。信号处理单元 215 还使用跨越多个帧与每个障碍物相关联的估计的复振幅来估计与每个障碍物相关联的复相量。因此, 等式 (16) 中的 $A_{m,1}$ 和 $A_{n,1}$ 分别表示: 由于障碍物 m 而在第 1 帧处产生的复振幅; 以及由于障碍物 n 而在第 1 帧处产生的复振幅。此外, $r_{b1,1}$ 表示在第 1 帧处在附加天线 $b1$ 处接收的信号。类似地, 等式 (16) 中的 $A_{m,N_{fr}}$ 和 $A_{n,N_{fr}}$ 分别表示: 由于障碍物 m 而在第 N_{fr} 帧处产生的复振幅; 以及由于障碍物 n 而在第 N_{fr} 帧处产生的复幅度。另外, $r_{b1,N_{fr}}$ 代表在第 N_{fr} 帧处在附加天线 $b1$ 处接收的信号。在一个实施例中, 分别与障碍物 ‘ m ’ 255 和 ‘ n ’ 260 相关联的复相量 $e^{-j\psi_m}$ 和 $e^{-j\psi_n}$ 的估计是最小二乘估计。在另一个实施例中, 当附加天线处的 SNR 跨越多个帧变化时, 分别与障碍物 ‘ m ’ 255 和 ‘ n ’ 260 相关联的复相量 $e^{-j\psi_m}$ 和 $e^{-j\psi_n}$ 的估计是加权最小二乘估计。

[0056] 信号处理单元 215 根据复相量 $e^{-j\psi_m}$ 和 $e^{-j\psi_n}$ 并根据估计的方位频率 w_{xm} 和 w_{xn} 使用以下等式来估计与障碍物 ‘ m ’ 255 相关联的高程频率 (w_{zm}) 以及与障碍物 ‘ n ’ 260 相关联的高程频率 (w_{zn}):

[0057]

$$w_{zm} = \text{angle} \left(e^{j\psi_m} e^{-\frac{\alpha}{d} w_{xm}} \right) \quad (19)$$

[0058]

$$w_{zn} = \text{angle} \left(e^{j\psi_n} e^{-\frac{\alpha}{d} w_{xn}} \right) \quad (20)$$

[0059] 信号处理单元215进一步被配置为根据估计的高程频率 w_{zm} 分别使用等式(7)和等式(5)估计与障碍物‘m’255相关联的仰角 ϕ_m 270和方位角 θ_m 265,如下所示:

[0060] 从等式(7)可得:

[0061]

$$\phi_m = \sin^{-1} \left(\frac{w_{zm}}{2\pi\beta/\lambda} \right) \quad (21)$$

[0062] 并且从等式(5)可得:

[0063]

$$\theta_m = \sin^{-1} \left(\frac{w_{xm}}{2\pi d \cos(\phi_m)/\lambda} \right) \quad (22)$$

[0064] 类似地,信号处理单元215被配置为根据估计的高程频率 w_{zn} 分别使用等式(8)和等式(6)估计与障碍物‘n’260相关联的仰角 ϕ_n 280和方位角 θ_n 275。在一个实施例中,信号处理单元215根据与每个障碍物相关联的估计的复相量并根据与每个障碍物相关联的估计的方位频率来估计方位角和仰角。

[0065] 雷达装置200提供用于解析两个障碍物‘m’255和‘n’260的方位角和仰角的有效解决方案,这两个障碍物与雷达装置200相距相同的距离并且相对于雷达装置200具有相同的相对速度。此外,雷达装置200适用于以比常规技术更少的天线进行操作。一些常规技术使用2D天线阵列,而其他技术使用在正交方向上具有天线的线性阵列的L形天线,以估计多个障碍物的方位角和仰角。与此相反,在天线的线性阵列中具有N个天线并且在接收天线单元210中具有一个附加天线的情况下,雷达装置200能够估计N-1个障碍物的方位角和仰角,所述N-1个障碍物在从雷达装置200起的相同范围处并且相对于雷达装置200具有相同的相对速度。

[0066] 另外,在雷达装置200中通过信号处理单元215进行处理是更有效的(与常规雷达装置相比),因为信号处理单元215即使在没有搜索的情况下也可实现封闭形式的解决方案来有效地操作。因此,雷达装置200的性能是更鲁棒的并且不会受到严重影响基于搜索的解决方案(特别是在低SNR(信噪比)下)的假峰值或障碍物漏检带来的性能下降的困扰。此外,这种技术是有效的,甚至无需繁重的计算工作(例如找到特征值和特征相量或大矩阵逆变换)。雷达装置200提供了用于估计方位角和仰角的有效解决方案,即使当两个障碍物‘m’255和‘n’260的角度间隔小时。

[0067] 图2(c)-1至图2(c)-2示出雷达装置中的发射天线单元205的波束宽度。发射天线单元205在连接和操作方面与雷达装置200中的发射天线单元205类似。发射天线单元205包括多个发射天线。在这个示例中,发射天线单元205被示出具有两个发射天线Tx1和Tx2。

[0068] 如图2(c)-1所示,发射天线Tx1和Tx2一起操作,这增加了波束宽度230的功率和聚焦。因此,发射天线单元205提供波束宽度230,该波束宽度比较窄并且具有高SNR(信噪比)。这种布置被雷达装置200用于估计在第一范围内的障碍物的位置。在一个实施例中,这种布

置被雷达装置200用于估计远范围障碍物的位置。

[0069] 如图2(c)-2和图2(c)-3所示,发射天线Tx1和Tx2按顺序操作,所以:(a) 首先,Tx1被激活,且Tx2被停用;以及(b) 其次,Tx1被停用,且Tx2被激活。分别由Tx1和Tx2产生的波束宽度235和240是比较宽的并且相应地被用于估计相对接近雷达装置200且在宽视场中的障碍物的位置。因此,在给定的时刻,只有一个发射天线被激活。在一个实施例中,在给定的时刻,一组发射天线被激活。图2(c)-2和图2(c)-3中的布置被雷达装置200用于估计在第二范围中的障碍物的位置,其中第一范围大于第二范围。

[0070] 在一个实施例中,图2(c)-2和图2(c)-3中的布置被雷达装置200用于估计近范围障碍物的位置,其中远范围大于近范围。在一个实施例中,发射天线一起操作以估计每个障碍物在第一范围中的位置,并且按顺序操作以估计每个障碍物在第二范围中的位置,其中第一范围大于第二范围。图2(c)-2和图2(c)-3中的布置被用于改善在雷达装置200中横跨多个连续帧接收的信号中的解相关(decorrelation)。这种解相关改善了雷达装置200的角度估计性能。

[0071] 在一个实施例中,雷达装置200被安装在车辆上,并且在车辆中的运动改善了雷达装置200中的解相关。在一个实施例中,该运动被专门引入车辆中以改善雷达装置200中的解相关。在一个实施例中,引入的运动具有由雷达装置200发射的RF信号的波长的量级。在一个实施例中,运动是车辆的往复运动,从而车辆的位置变化是微不足道的。

[0072] 图3示出根据一个实施例的雷达装置300。雷达装置300包括发射天线单元305和接收天线单元320。发射器310被耦合到发射天线单元305。控制模块315被耦合到发射器310。接收天线单元320被耦合到接收器325。混频器330被耦合到接收器325和发射器310。模数转换器(ADC) 335被耦合到混频器330,并且FFT(快速傅里叶变换)模块340被耦合到ADC 335。信号处理单元345被耦合到FFT模块340。

[0073] 发射天线单元305发射出站RF(射频)信号到多个障碍物,并且接收天线单元320接收来自障碍物的入站RF信号。出站RF信号被障碍物散射以产生入站RF信号。出站RF信号包括由发射器310产生的RF信号的多个帧,并且入站RF信号包括从障碍物接收的信号的一个或多个帧。控制模块315提供控制信号给发射器310。发射器310产生出站RF信号,并且接收器325接收来自接收天线单元320的入站RF信号。

[0074] 在一个实施例中,发射天线单元305包括耦合到发射器310的一个或多个发射天线。在操作中,发射天线单元305类似于雷达装置200中的发射天线单元205。因此,发射天线单元305包括多个发射天线,这些发射天线一起操作以估计每个障碍物在第一范围内的位置并且按顺序操作以估计每个障碍物在第二范围内的位置,其中第一范围大于第二范围。在一个实施例中,接收天线单元320包括耦合到接收器325的一个或多个天线。

[0075] 在一个实施例中,接收天线单元320类似于接收天线单元210,并且因此包括天线的线性阵列以及天线线性阵列中的至少一个天线具有预定偏移的附加天线。在一个实施例中,天线线性阵列中的每个天线和附加天线具有包括接收器、混频器和ADC的独立接收器路径。每个接收器路径被耦合到信号处理单元345。

[0076] 混频器330接收来自接收器325的入站RF信号并且产生解调信号。ADC335接收来自混频器330的解调信号并且响应于该解调信号产生数字信号。FFT模块340接收来自ADC 335的数字信号并且被配置为将该数字信号从时域变换到频域。信号处理单元345被配置为处

理从FFT模块340接收的数字信号。在操作中,信号处理单元345类似于信号处理单元215。信号处理单元345被用于估计与雷达装置300相距固定的距离并且相对于雷达装置300具有相同的相对速度的多个障碍物的位置。在一个示例中,接收天线单元100被用于估计在不同的距离处并且相对于雷达装置300具有不同的相对速度的多个障碍物的位置。例如,接收天线单元320被用于估计两个障碍物A和B的位置,其中A在从雷达装置起1m处,B在从雷达装置起1.2m处,A的相对速度为5m/s且B的相对速度为4.5m/s。在另一示例中,接收天线单元320被用于估计两个障碍物的位置,这两个障碍物在2D FFT网格的不同收集器中被检测到,但是它们在2D FFT域中的信号相互干扰。例如,第一障碍物(在2D FFT网格的第一收集器中检测到)可以具有表示第一障碍物在第二收集器中的衰减信号。该衰减信号干扰在第二收集器中检测的第二障碍物的位置估计。信号处理单元345以与信号处理单元215所执行的相同方式估计与每个障碍物相关联的方位角和仰角。信号处理单元345通过使用与信号处理单元215所使用的相同的技术处理从FFT模块340接收的数字信号来估计与每个障碍物相关联的方位频率、复振幅和复相量。相应地,在接收天线单元320中的天线线性阵列处从障碍物接收的信号的多帧被用于估计与每个障碍物相关联的方位频率和复振幅,并且在接收天线单元320中的附加天线处从障碍物接收的信号的多帧被用于估计与每个障碍物相关联的复相量。这个过程与上面结合图2(a)所描述的过程是相同的。在一个示例中,雷达装置300的所有部件都被集成在芯片上。在另一示例中,雷达装置300中除了该信号处理单元350外的所有部件被集成在芯片上。

[0077] 当‘m’ 255和‘n’ 260与雷达装置300相距相同的距离并且相对于雷达装置300具有相同的相对速度时,雷达装置300提供用于解析两个障碍物‘m’ 255和‘n’ 260的方位角和仰角的有效解决方案。雷达装置300是有效的,甚至比常规技术具有更少的天线。在天线的线性阵列中具有N个天线并且在接收天线单元320中具有一个附加天线的情况下,雷达装置300能够检测N-1个障碍物,所述N-1个障碍物在从雷达装置300起的相同范围处并且相对于雷达装置300具有相同的相对速度。

[0078] 雷达装置300还估计这些N-1个障碍物的方位角和仰角。另外,通过雷达装置300中的信号处理单元345进行处理是更有效的(与常规雷达装置相比),因为即使在没有搜索、大型矩阵的反演或发现用于估计方位角和仰角的特征数值或特征向量的情况下,信号处理单元345也有效地操作。用于在信号处理单元345中估计方位角和仰角的技术是较不复杂的,并且也不会受到严重影响基于搜索的解决方案(特别是在低SNR(信噪比)下)的假峰值/障碍物漏检带来的性能下降的困扰。

[0079] 即使当两个障碍物‘m’ 255和‘n’ 260的角度间隔小时,雷达装置300也提供用于估计方位角和仰角的有效解决方案。发射天线单元305包括多个发射天线。发射天线一起操作以估计每个障碍物在第一范围内的位置,并且按顺序操作以估计每个障碍物在第二范围内的位置,其中第一范围大于第二范围。这改进了在雷达装置300中的接收天线单元320处接收的信号的相关,并由此改进角度估计性能。

[0080] 相应地,一个实施例提供用于估计多个障碍物的位置的雷达装置。该雷达装置包括接收天线单元。该接收天线单元包括天线线性阵列以及与天线线性阵列中的至少一个天线具有预定偏移的附加天线。该雷达装置还包括信号处理单元。该信号处理单元根据在天线线性阵列处从障碍物接收的信号来估计与每个障碍物相关联的方位频率。该信号处理单

元还根据与障碍物相关联的所估计的方位频率并根据在天线线性阵列处从障碍物接收的信号来估计与每个障碍物相关联的复振幅。该信号处理单元根据与障碍物相关联的所估计的复振幅并根据在附加天线处从障碍物接收的信号来估计与每个障碍物相关联的复相量。此外,该信号处理单元根据与每个障碍物相关联的所估计的复相量并根据与每个障碍物相关联的所估计的方位频率来估计与每个障碍物相关联的方位角和仰角。

[0081] 另一个实施例提供一种使用雷达装置估计多个障碍物的位置的方法。该方法包括根据在雷达装置处从障碍物接收的信号估计与每个障碍物相关联的方位频率。根据与障碍物相关联的所估计的方位频率并根据在雷达装置处从障碍物接收的信号来估计与每个障碍物相关联的复振幅。根据与障碍物相关联的所估计的复振幅并根据在雷达装置处从障碍物接收的信号来估计与每个障碍物相关联的复相量。根据与每个障碍物相关联的所估计的复相量并根据与每个障碍物相关联的所估计的方位频率来估计与每个障碍物相关联的方位角和仰角。

[0082] 另外,一个实施例提供一种用于估计多个障碍物的位置的雷达装置。该雷达装置包括发射天线单元。发射器被耦合到发射天线单元并且产生出站RF(射频)信号。该雷达装置还包括接收天线单元。接收器被耦合到接收天线单元并且接收来自接收天线单元的入站RF信号。出站RF信号被多个障碍物散射以产生入站RF信号。混频器被耦合到接收器和发射器并且解调入站RF信号以产生解调信号。模数转换器(ADC)耦合到混频器并且响应于从混频器接收的解调信号而产生数字信号。FFT(快速傅里叶变换)模块被耦合到ADC并且将数字信号从时域变换到频域。信号处理单元被耦合到FFT模块并且处理数字信号。信号处理单元根据该数字信号来估计与每个障碍物相关联的方位频率。信号处理单元还根据与障碍物相关联的所估计的方位频率并根据该数字信号来估计与每个障碍物相关联的复振幅。根据与障碍物相关联的所估计的复振幅来估计与每个障碍物相关联的复相量。根据与每个障碍物相关联的所估计的复相量并根据与每个障碍物相关联的所估计的方位频率来估计与每个障碍物相关联的方位角和仰角。

[0083] 在权利要求的范围之内,在所描述的实施例中进行修改是可能的,并且其它实施例是可能的。

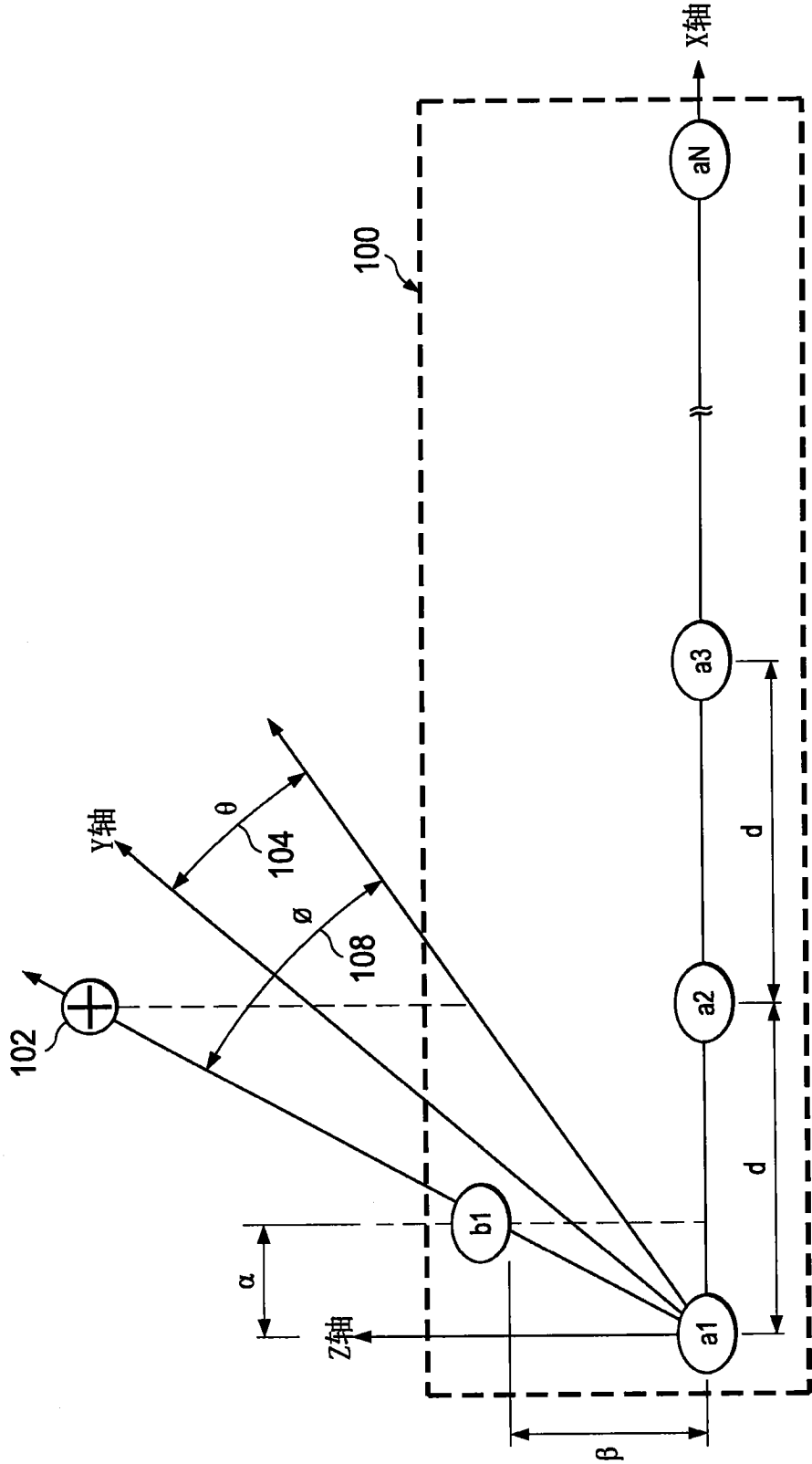


图1

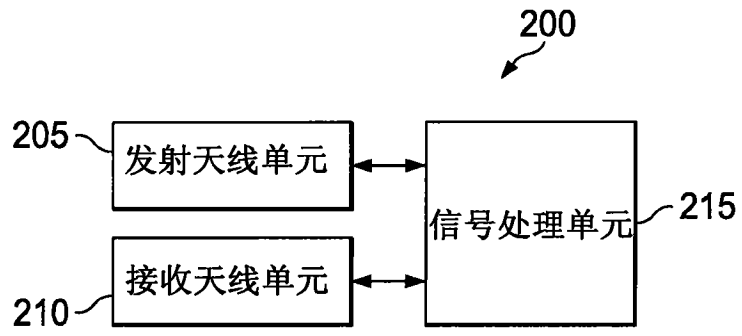


图2(a)

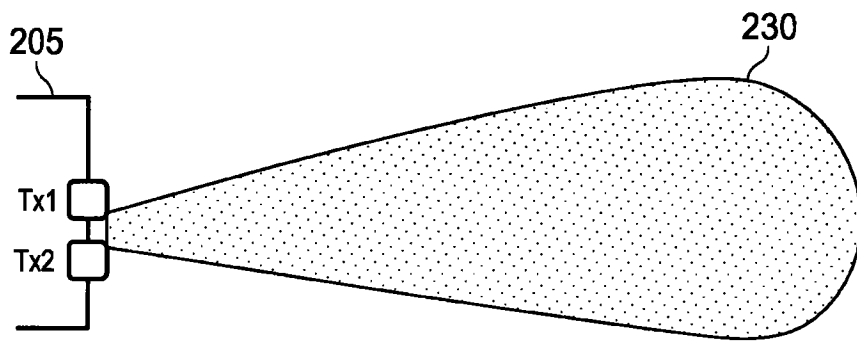


图2(c)-1

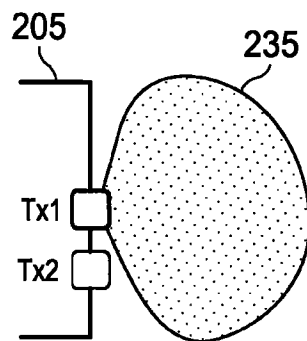


图2(c)-2

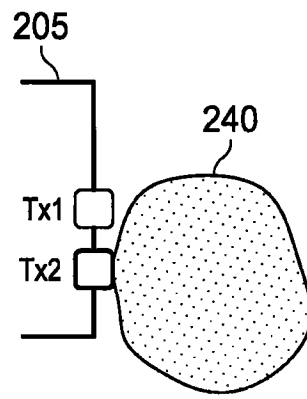


图2(c)-3

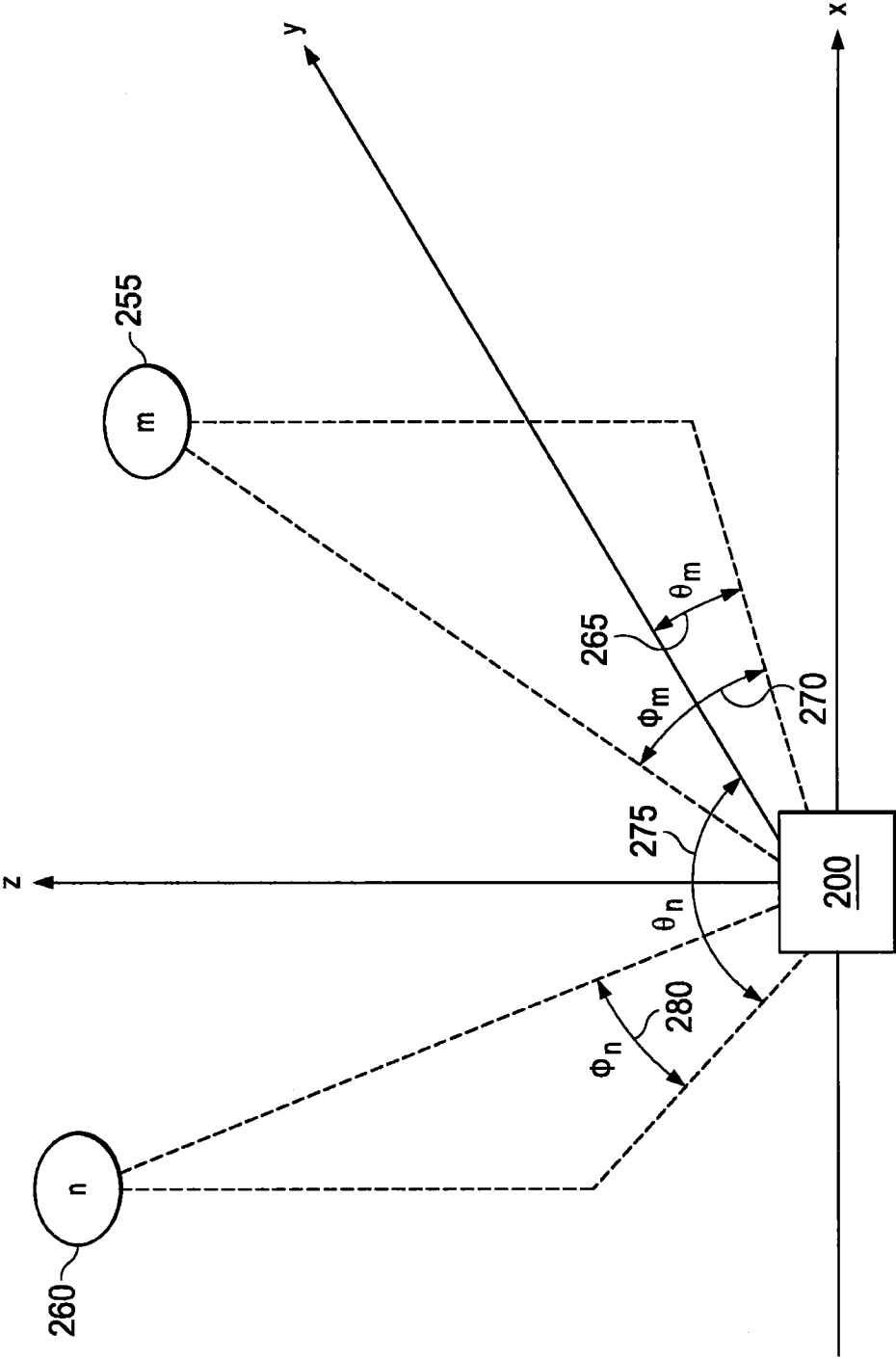


图2 (b)

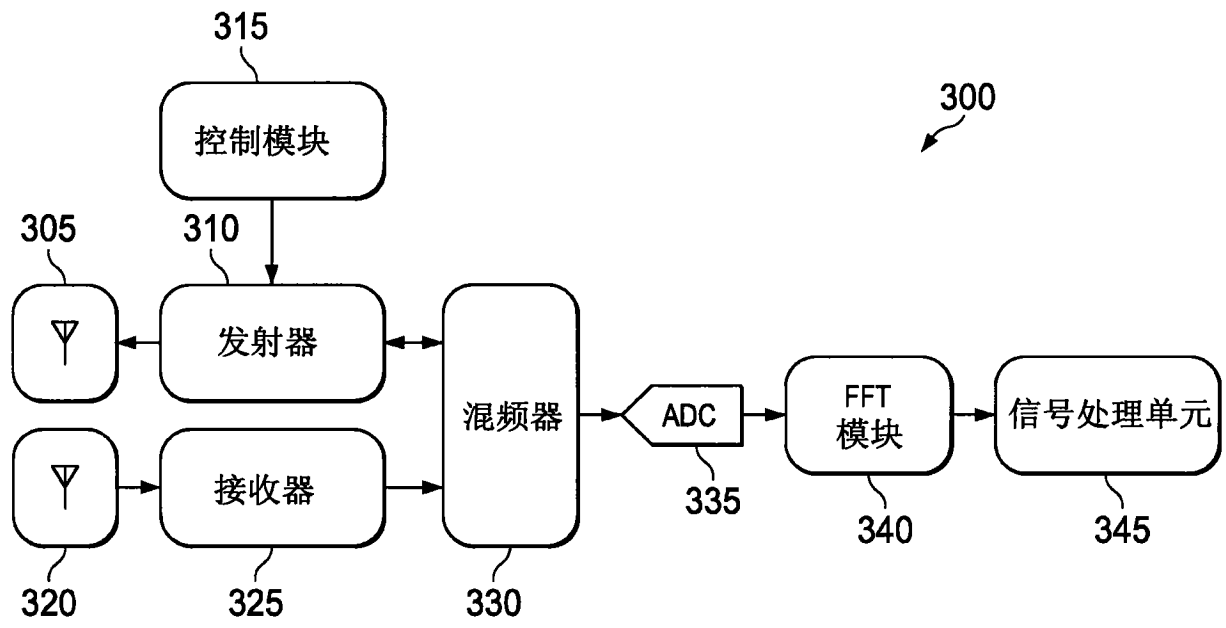


图3