



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105264400 B

(45)授权公告日 2018.11.13

(21)申请号 201480031924.6

(22)申请日 2014.04.08

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105264400 A

(43)申请公布日 2016.01.20

(30)优先权数据
102013210256.9 2013.06.03 DE

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.12.03

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2014/057019 2014.04.08

(87)PCT国际申请的公布数据
W02014/195046 DE 2014.12.11

(73)专利权人 罗伯特·博世有限公司

地址 德国斯图加特

(72)发明人 M·朔尔 J·毕

(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
72002

代理人 侯鸣慧

(51)Int.Cl.

G01S 7/02(2006.01)

G01S 13/32(2006.01)

G01S 13/34(2006.01)

G01S 13/38(2006.01)

G01S 13/536(2006.01)

G01S 13/87(2006.01)

G01S 13/93(2006.01)

审查员 赵雅琴

权利要求书3页 说明书9页 附图7页

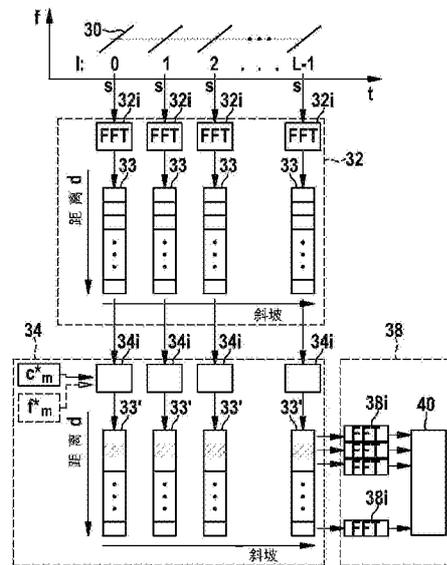
(54)发明名称

FMCW雷达中的干涉抑制

(57)摘要

雷达系统,在该雷达系统中,FMCW雷达传感器(10)的发射信号包括频率调制斜坡(30)的序列并且根据第一码序列(C_m)被相位调制,所述第一码序列与分别其他的码序列(C_q)正交,根据所述其他的码序列对其他FMCW雷达传感器(10')的在时间上同步的发射信号相位调制,所述雷达回波用与所述第一码序列(C_m)相关联的码序列(C_m, f_m)相位解调,并且,基于傅里叶分析(32, 38)的频谱,在第一维度上分别通过频率调制斜坡(30)的雷达回波的采样值和在第二维度上通过所述雷达传感器(10)的发射信号的频率调制斜坡(30)的雷达回波的经相位解调的序列,确定至少一个所定位的对象(44)的间距(d)和/或相对速度(v);和用于车队的雷达系统,在该雷达系统中,在FMCW雷达传感器(10)中使用一码组(C_{m1}, C_{m2})用于相位调制和相位解调,所述码组与在其他车辆的雷达传感器(10'')中所使用的码组(C_{q1}, C_{q2})满足码组正交条件。

CN 105264400 B



1. 雷达系统,其具有第一FMCW雷达传感器(10)和具有至少一个第二FMCW雷达传感器(10'),其中,每个FMCW雷达传感器(10;10')具有一个控制和评估装置(16),所述控制和评估装置设计为用于一种运行方式,在该运行方式中发射一发射信号,所述发射信号包括频率调制斜坡(30)的序列,

其中,所述第一FMCW雷达传感器(10)的发射信号根据至少一个第一码序列(C_m)相位调制,其方式是,所述频率调制斜坡(30)分别根据所述码序列(C_m)的配属于所述频率调制斜坡(30)的元素得到一相位位置,

其中,所述码序列(C_m)与分别其他的码序列(C_q)正交,根据该其他的码序列将对应的其他雷达传感器(10')的包括频率调制斜坡的序列的发射信号相位调制,

其中,所述第一FMCW雷达传感器(10)和所述至少一个第二FMCW雷达传感器(10')的发射信号在时间上同步地被发射,

其中,用与所述第一码序列(C_m)相关联的码序列($C_m; f_m$)来相位解调第一FMCW雷达传感器(10)的发射信号的频率调制斜坡的雷达回波的序列,

其中,基于傅里叶分析(32,38)的频谱的值,在第一维度上分别通过频率调制斜坡(30)的雷达回波的采样值并且在第二维度上通过所述第一FMCW雷达传感器(10)的发射信号的频率调制斜坡(30)的雷达回波的经相位解调的序列,确定所定位的对象(44)的间距(d)和/或相对速度(v),和

其中,在所述的运行方式中:

-进行所述发射信号的所述频率调制斜坡(30)的各雷达回波的对应的第一傅里叶变换(32i),

-在所得到的、所述频率调制斜坡(30)的雷达回波的一维谱(33)上执行所述相位解调(34),

-在第二维度上在相互前后跟随的频率调制斜坡(30)的雷达回波的经相位解调的一维谱(33)的序列的时间过程上实施第二傅里叶变换(38i),和

-其中,根据所得到的二维频谱中的峰值,确定所定位的对象(44)的间距(d)和/或相对速度(v)。

2. 根据以上权利要求中任一项所述的雷达系统,其中,在下述码序列之间的偏移为零的情况下,所述频谱的至少一个值的量值与所述第一码序列(C_m)和与该第一码序列相关联的、用于所述相位解调的码序列(C_m)的复互相关函数的值成比例。

3. 根据权利要求1或2所述的雷达系统,其中,在可能发生的、包含在所述雷达回波中的、来自对应的其他雷达传感器(10')的发射信号的、相应于可能的雷达对象(46)的份额的情况下,通过由于正交性而缺失的、分别其他的码序列(C_q)和用于相位解调的、与所述第一码序列(C_m)相关联的码序列(C_m)之间的关联在所述频谱中抑制所述雷达回波的这个份额。

4. 根据权利要求1或2所述的雷达系统,其中,在所述的运行方式中,所述码序列(C_m)与分别其他的码序列(C_q)的正交性在于,对于所述码序列之间的零偏移,所述码序列($C_m; C_q$)的复互相关函数等于零。

5. 用于车队的雷达系统,其包括用于所述车队的每个车辆(42;46)的多个FMCW雷达传感器(10,10''),其中,所述FMCW雷达传感器(10,10'')分别具有一控制和评估装置(16),所述控制和评估装置设计为用于一种运行方式,在该运行方式中,在一个对应雷达传感器(10,

10”)的测量周期中由所述雷达传感器(10,10”)发射至少两个部分发射信号(47,47’),所述部分发射信号分别包括频率调制斜坡(30;30’)的序列,

其中,根据一码组的码序列(C_{m1}, C_{m2})相位调制各部分发射信号(47,47’),其方式是,所述频率调制斜坡(30;30’)分别根据所述码序列(C_{m1}, C_{m2})的配属于所述频率调制斜坡的元素得到一相位位置,

其中,对于所述至少两个部分发射信号(47,47’),使用所述码组的至少两个所配属的码序列(C_{m1}, C_{m2})用于所述相位调制,

其中,所述部分发射信号(47,47’)的雷达回波被分开地相位解调(34),并且,针对每一个部分发射信号,在第一维度上分别通过频率调制斜坡(30,30’)的雷达回波的采样值并且在第二维度上通过所述部分发射信号(47,47’)的相互前后跟随的频率调制斜坡(30;30’)的雷达回波的经相位解调的序列,确定傅里叶分析(32,38)的频谱,

其中,根据针对所述部分发射信号被分开地确定的频谱的加和(48),确定被定位的对象(44)的间距(d)和/或相对速度(v),和

其中,用于第一车辆(42)的雷达传感器(10)的控制和评估装置(16)设计为用于,在所述的运行方式中使用至少一个第一码组(C_{m1}, C_{m2}),

其中,用于所述车队的至少一个其他车辆(46)的雷达传感器(10”)的控制和评估装置(16)设计为用于,在所述的运行方式中使用至少一个另外的码组(C_{q1}, C_{q2}),

其中,所述至少一个第一码组(C_{m1}, C_{m2})和所述至少一个另外的码组(C_{q1}, C_{q2})满足如下码组正交关系,对于所述第一码组和其他码组的码序列之间的每个任意的离散的偏移、包括零偏移在内,所述第一码组的第q个码序列和所述另外的码组的第q个码序列的复互相关性在每个码组的码序列的数量上所实施的加和等于零,其中,q为加和索引,和

其中,在各雷达传感器(10;10”)的所述的运行方式中,针对所述部分发射信号(47,47’)分开地:

-进行所述部分发射信号(47,47’)的频率调制斜坡(30;30’)的对应雷达回波的对应第一傅里叶变换(32i),

-在所得到的、所述频率调制斜坡(30;30’)的雷达回波的一维谱(33)上执行所述相位解调(34),

-在第二维度上在相互前后跟随的频率调制斜坡(30;30’)的雷达回波的经相位解调的一维谱(33)的序列的时间过程上实施第二傅里叶变换(38),和

其中,进行分开地得到的二维谱的考虑所述相位的加和(48),和

其中,根据所得到的、被加和的二维谱中的峰值,确定所定位的对象(44)的间距(d)和/或相对速度(v)。

6.根据权利要求5所述的雷达系统,其中,在可能的、包含在用于所述第一车辆(42)的雷达传感器(10)的雷达回波中的、来自用于其他车辆(46)的雷达传感器(10”)的用至少一个另外的码组(C_{q1}, C_{q2})相位调制的发射信号的、相应于可能的雷达对象的份额的情况下,由于码组正交关系,在加和时抑制可能的雷达对象的雷达回波。

7.根据权利要求5或6所述的雷达系统,在该雷达系统中,各雷达传感器(10)的控制和评估装置(16)设计为用于,在所述的运行方式中,分别使用一个码组(f_{m1}, f_{m2})用于相位解调,所述码组与用于对所述部分发射信号(47,47’)相位调制的码组(C_{m1}, C_{m2})相关联,但是

与其不同,并且通过所述至少一个另外的码组(C_{q1}, C_{q2})满足码组正交条件。

8. 根据权利要求5或6所述的雷达系统,在该雷达系统中,所述相应的雷达传感器(10; 10")的所述控制和评估装置(16)设计为用于,在所述的运行方式中,在时间上相互交错地发射所述至少两个部分发射信号(47, 47')的频率调制斜坡(30; 30')的序列,并且基于与所述部分发射信号(47, 47')的所述频率调制斜坡(30; 30')的序列在时间上的对应关系将所述至少两个部分发射信号(47, 47')的雷达回波分开。

9. 根据权利要求5或6所述的雷达系统,其中,在下述码序列之间的偏移为零的情况下,针对所述部分发射信号分开地确定的频谱的值的量值分别与用于相位调制各部分发射信号的码序列(C_{m1}, C_{m2})和与该码序列相关联的、用于所述相位解调的码序列(C_{m1}, C_{m2})的复互相关函数的量值成比例。

10. 根据权利要求5或6所述的雷达系统,其中,各雷达传感器(10)的控制和评估装置(16)设计为用于,在所述的运行方式中,在至少一个第一测量周期中使用至少一个第一码组(C_{m1}, C_{m2}),并且在至少一个另外的测量周期中使用至少一个另外的码组(C_{q1}, C_{q2}),

其中,所述第一码组(C_{m1}, C_{m2})和所述至少一个另外的码组(C_{q1}, C_{q2})满足所述码组正交关系。

11. 根据权利要求5或6所述的雷达系统,在该雷达系统中,在所述的运行方式中,频率调制斜坡(30; 30')的各序列为频率斜坡的序列,根据在所述频率斜坡的序列之上的上级频率斜坡改变所述频率斜坡的对应中间频率(f_0)。

12. 根据权利要求5或6所述的雷达系统,在该雷达系统中,在所述的运行方式中:

-基于傅里叶分析(32)的至少一个频谱(33),在一个维度上通过所述发射信号的频率调制斜坡(30; 30')的雷达回波的采样值来确定第一信息,所述第一信息为所定位的对象(44)的间距(d)和相对速度(v)之间的函数关系的形式,所述函数关系使不同的相对速度(v)与不同的间距(d)相位相对应,

-基于傅里叶分析(38)的至少一个频谱,在一个维度上在相互前后跟随的频率调制斜坡(30; 30')的雷达回波的序列的时间过程上获得关于所定位的对象(44)的相对速度(v)和可选的间距(d)的另外的信息,和

-基于所述第一信息与所述另外的信息的调整,确定所定位的对象(44)的所述间距(d)和所述相对速度(v)。

13. 雷达传感器(10),具有控制和评估装置(16),所述控制和评估装置被设计用于权利要求1至12中任一项中所述的雷达系统的雷达传感器的控制和评估(16)的运行方式。

FMCW雷达中的干涉抑制

技术领域

[0001] 本发明涉及用FMCW雷达来确定对象的间距和/或相对速度。本发明尤其涉及一种FMCW雷达传感器,具有第一雷达传感器和至少一个第二雷达传感器的FMCW雷达系统,以及用于车队的、包括多个FMCW雷达传感器的雷达系统。

背景技术

[0002] 在机动车中,例如将雷达传感器用于测量定位在自身车辆的前部地带的车辆或者其它对象的间距、相对速度和方位角。

[0003] 在FMCW(调频连续波,Frequency Modulated Continuous Wave)雷达传感器中,斜坡形地调制连续的雷达信号的发射频率。通过与发射信号混频,由接收信号产生基带信号,然后评估所述基带信号。

[0004] 已知FMCW雷达传感器,所述FMCW雷达传感器按照线性调频序列调制(Chirp-Sequence-Modulation)的方法工作,在该方法中,发射信号包括同类的频率调制斜坡(线性调频波,Chirps)的至少一个序列。如斜坡持续时间和频率上升高度以及一个序列的相邻斜坡之间的时间间隔的调制参数在一个序列之内相等。在此,例如首先根据雷达对象的距离将雷达对象分开,其方式是,分别针对发射信号的各个频率斜坡进行基带信号的第一傅里叶变换。随后,一个序列的频率斜坡的第一傅里叶变换的谱作为用于第二傅里叶变换的输入信号使用。由此,在第二傅里叶变换中,根据雷达对象的速度,按照相位位置在各个频率斜坡的雷达回波的序列上的改变将雷达对象分开。

[0005] 从DE 10100417 A1已知脉冲雷达,在该脉冲雷达中,根据伪噪声码(Pseudo-Noise-Code)通过幅度调制、相位调制或者频率调制来调制发射信号。在一个接收分支中,用延迟的码进行调制。基于雷达脉冲从发射至接收的时间延迟推断目标对象的距离。在另外的接收通道中使用正交的码,所述正交的码例如通过计数器和EXOR门电路由伪噪声码产生。由此,在各传感器的检测区域重叠的情况下仅可以评估对应的接收通道中的相应传感器。

[0006] 从WO 2010/115418 A2已知具有两个在一个平面中并以所定义的横向间距布置的发射天线和一个共同的接收天线的雷达系统,在该雷达系统中,根据同类的频率斜坡的序列同时运行两个发射天线,其中,可转换的倒相器使第一发射天线的信号的相位从斜坡到斜坡随机地改变 0° 或者 180° 。在关于每个频率斜坡的采样值的第一离散傅里叶变换(discrete Fourier transformation, DFT)之后,一次在具有相位修正的情况下和一次在没有相位修正的情况下计算关于斜坡序列的第二DFT,以便为了获得方位角信号而得到针对由各发射天线产生的接收信号而分开的谱。在来自于发射天线的接收信号的谱中,在每个序列1024个斜坡的情况下,来自分别其他的发射天线的信号产生位于其下大约30dB的噪声。

[0007] 现在,在开发用于机动车的驾驶员辅助系统和安全系统时呈现这样的趋势:使用在车辆中的雷达传感器的数量上升。这提高了雷达传感器也接收相同车辆的不同雷达传感

器的不想要的干涉信号的可能性。

[0008] 随着雷达传感器在机动车中越来越多地推广,在确定的交通场景中也会出现其它车辆的雷达信号的无意接收。因此,例如在车队行驶中,在前方行驶的车辆尾部雷达传感器可能干扰跟随的车辆的前方雷达传感器。

发明内容

[0009] 本发明的任务在于,提出一种FMCW雷达系统和一种具有线性调频序列调制的FMCW雷达传感器,其中,可以有效地抑制其它雷达传感器的无意的信号。

[0010] 抑制其它雷达传感器的干涉信号的解决途径为雷达传感器的中间频率的错位(Versatz)。然而,由于可供使用的带宽,这仅仅是有限地可能的并且导致距离分开能力的丧失。

[0011] 另一种解决途径是基于时间信号的内推法来识别雷达传感器的时间信号中的干涉。在此,模型设想认为,时间信号的仅仅一个小的范围被干扰。然而,在使用短的斜坡持续时间时或者在多个干涉信号同时出现时,干涉的识别和内推法不再是可能的。

[0012] 根据本发明,该任务通过根据权利要求1的雷达系统解决。

[0013] 例如,如在常规的线性调频序列调制中那样,进行二维的、两级离散傅里叶变换形式的傅里叶分析。第一傅里叶变换通过一维谱中的峰值描绘一个频率斜坡的雷达回波之内的、相关联的、相应于与距离有关的信号份额的振动。第二傅里叶变换通过第一傅里叶变换的一维的、在这里固然在之前经相位解调的谱实施,并且通过峰值在第二傅里叶变换的谱中的位置来描绘频率斜坡的序列的雷达回波上的、相关联的、相应于多普勒份额的振动。二维傅里叶变换的结果为二维的、离散的或者转变为网目的、即划分为距离/速度单元的谱。优选,相位解调如下发生:频率斜坡的一维谱与接收器中所使用的码序列的对应共轭复元素相乘。第二傅里叶变换已经包含各项的加和并且因此提供自相关或者说互相关的值作为二维谱的相应的距离/速度单元中的幅度因子。

[0014] 通过根据本发明的相位解调,在第二傅里叶变换之后,仅仅当在相位解调之后在频率斜坡的序列上存在雷达回波的相位位置的相关振动时,出现雷达回波的功率峰值。雷达回波满足这些条件,已用码序列相位解调所述雷达回波的发射信号,所述码序列与用于相位解调的码序列相关联。反之,如果雷达回波的基带信号包含至少一个第二雷达传感器的份额,则相应的、在第一傅里叶变换之后得到的峰值在相位解调之后在频率斜坡的序列上不具有相关性。在这里,码序列的互相关性提供因子零。

[0015] 特别有利的是,通过使用相对于彼此正交的码序列,即使在码序列相对短的情况下也对其它雷达传感器的信号的干扰雷达回波进行非常好的、在理想情况下完全地抑制。

[0016] 由此,通过正交码序列的所说明的使用,在时间上同步地相位调制两种发射信号的情况下可以抑制相互的干涉。由此,可以抑制具有多个车辆雷达传感器的雷达系统之内的自身干涉。

[0017] 该任务进一步通过根据权利要求6的雷达系统解决。

[0018] 例如,分开处理部分发射信号的雷达回波直到确定二维谱分别相应于以上所说明的评估步骤。

[0019] 通过相位解调和加和用于部分信号的二维谱,仅当分开的谱相加成一个谱(在该

谱中在频率斜坡的序列上存在雷达回波的被加和的相位位置的相关振动)时,在被加和的谱中产生雷达回波的功率峰值。在所述相加中,在有用信号的情况下,在时间移动为零的情况下得到自相关函数的和作为相应的距离单元/速度单元中的幅度的因子。在其他车辆的雷达传感器的进行干扰的、用另外的码组相位调制的信号的情况下,得到互相关函数的和作为幅度的因子。根据码组正交关系,所述和等于零,与码序列之间的时间移动的值无关。

[0020] 通过具有满足码组正交关系的码序列的码组的所说明的使用,即使在两个发射信号的相位调制在时间上不同步的情况下也可以抑制相互的干涉。由此,可以抑制两个车辆的雷达传感器之间的外源干涉。

[0021] 在从属权利要求中说明本发明的另外的有利的构型和拓展方案。

附图说明

[0022] 以下参照附图详细解释实施例。

[0023] 附图示出:

[0024] 图1FMCW雷达传感器的方框图;

[0025] 图2发射信号的频率调制斜坡的序列的示意图;

[0026] 图3用于解释基带信号的评估的方框图;

[0027] 图4具有处于自身干涉情形中的FMCW雷达系统的机动车的示意图;

[0028] 图5示出来自基带信号的部分信号的间距信息的简图,用于解释根据图3的评估;

[0029] 图6示出来自关于部分信号的信号变化的速度信息和间距信息的简图,用于解释图3的评估;

[0030] 图7示例性地示出具有两个部分发射信号的发射信号,所述部分发射信号为频率调制斜坡的对应序列的形式,用于解释在使用具有多个码的码组的情况下的相位解调;

[0031] 图8用于解释如例如图7的、在发射信号具有两个斜坡组的情况下的基带信号的评估的方框图;

[0032] 图9具有处于外源干涉的情形中的FMCW雷达系统的机动车的示意图;

[0033] 图10示出来自在斜坡组中的基带信号的部分信号的间距信息的简图,用于解释根据图8的评估;

[0034] 图11示出来自关于在斜坡组中的部分信号的序列的信号变化的速度信息和间距信息的简图,用于解释根据图8的评估;

[0035] 图12在用于两个斜坡组的信号处理结果加和之后的间距速度简图,用于解释根据图8的评估;和

[0036] 图13用于解释多速FMCW雷达信号的评估的间距速度简图。

具体实施方式

[0037] 在图1中示出的FMCW雷达传感器10安装在机动车前部。该FMCW雷达传感器包括用于产生发射信号的振荡器12、用于控制振荡器12的频率的频率调制装置14和可与车辆总线系统17连接的控制和评估单元16。振荡器12的输出端通过可控的相位调制器18与发射天线元件20连接。振荡器12的输出端还与混频器22连接。该混频器设置用于使由接收天线元件24所接收的接收信号与振荡器12的经频率调制的信号混频,以产生基带信号s。基带信号被

模拟数字转换器26采样和数字化。在获得所接收的信号和发射信号之间的相关系的情况下进行混频和数字化。控制和评估单元16控制频率调制装置14并且包括用于评估基带信号s的采样值的信号处理单元28。

[0038] 图2示出用于由振荡器12发出并且由相位调制器18相位调制的发射信号的调制模式的例子。发射信号的频率f被描绘为时间t的函数。

[0039] 频率调制装置14设置用于,在一个测量周期中,与线性调频序列调制相应地调制振荡器12的信号,所述线性调频序列调制具有以规则的时间间隔前后跟随的频率斜坡30的至少一个序列,尤其具有相同坡度、相同中间频率和相同上升高度的线性斜坡的至少一个序列。所述频率调制斜坡也被称为线性调频、频率斜坡或者简单地被称为斜坡。

[0040] 相位调制器18设置用于根据码序列 C_m 、以下也称为码 C_m 的调制线性调频的相位。在此,在所述序列之内具有索引I ($I=0, \dots, L-1$)的每个线性调频获得一个按照码序列的所配属的元素的、相位 $\phi_m(I)$ 形式的相位位置。这可以描述为复幅度与因子 $C_m(I) = e^{j\phi_m(I)}$ 的乘积,其中,j为虚部的单位。所述序列的斜坡数量为L并且等于码 C_m 的长度。

[0041] 线性调频序列调制和相位调制可以通过车辆总线17与另外的雷达传感器10'的调制同步,从而在频率斜坡的各序列中或者说在各码序列中,在顺序上相互相应的斜坡或者说码组元素的时间位置仅具有小的时间错位(Zeitversatz)或者不具有时间错位。所述时间错位小于斜坡的持续时间。优选,在顺序上相互相应的斜坡或者说码组元素绝大部分在时间上重叠地使用、特别优选被几乎同时(即在时间上完全重叠地)使用。

[0042] 发射信号的平均频率位于76千兆赫的数量级,并且每个斜坡的频率上升高度F位于数兆赫的数量级。斜坡持续时间T在图2中小于时间间隔 T_{r2r} ,斜坡30以该时间间隔相互跟随。 T_{r2r} 位于数微秒至数毫秒的数量级。

[0043] 图3示出在信号处理单元28中所执行的、用于评估基带信号s的方法的方框图。

[0044] 进行第一傅里叶变换32,其方式是,使基带信号s的与线性调频相应的部分信号分别经受快速傅里叶变换(FFT)形式的离散傅里叶变换32i,以便确定对应的复频谱33。对于所定位的对象,频谱33包括各频率位置 f_d 中的峰值。

[0045] 在线性调频30的序列上,在所定位的对象的相对速度v不变的情况下出现所述峰值的相位的谐振。谐振的频率位置 f_v 与平均的相对速度v成比例。附加地,所述信号在一个斜坡30之内具有相位偏移 $\phi_m(I)$ 。

[0046] 在第一FFT32之后,使一维的频谱33经受相位解调34,在该相位解调中,被调制给发射信号的相位偏移通过相反的相位偏移解调。对于斜坡索引I,通过复谱33与 $C_m^*(I)$ —— $C_m(I)$ 的共轭复数相乘进行对应的解调34i。

[0047] 进行第二傅里叶变换38,其例如为对应的FFT38i的形式,所述第二傅里叶变换实施用于连续的斜坡索引I上的、经相位解调的一维谱33'的与距离d相应的各频率位置。示例性地,在图3中以阴影示出属于频谱33'的一个频率位置的、频谱33'的值。

[0048] 在第一FFT的频率位置 f_d 情况下,相应于所得到的二维谱中的峰值位置(f_d, f_v),通过第二FFT计算的频谱示出在多普勒频率 f_v 情况下配属于各对象的峰值。通过探测单元40进行进一步的评估和对象探测。

[0049] 替代地,可以在计算FFT32之前已经进行所述相位解调。第一FFT32和第二FFT38的

前后相互连接相应于雷达回波的经相位解调的序列的二维FFT。

[0050] 图4示出一个例子,在该例子中,通过在机动车42中使用两个FMCW雷达传感器10, 10'的不同码序列来抑制干扰信号形式的自身干涉,所述干扰信号被一个雷达传感器10接收并且来自具有发射天线20'的另一个雷达传感器10'。雷达传感器10,10'具有不同的安装地点并且尤其分开地安装在该车辆上。

[0051] 在该例子中,雷达对象44位于邻近车道上、在距离 $d=42\text{m}$ 处,并且具有 $v=-7.6\text{m/s}$ 的相对速度。来自自身车辆的第二雷达传感器10'的干涉信号被在 3.32m 距离处并且具有 0m/s 相对速度的对象46、例如在前方行驶的车辆接收。雷达传感器10,10'的发射信号和尤其斜坡序列通过机动车42的车载的车辆总线系统相互同步。

[0052] 第一雷达传感器10使用码序列 C_m 用于相位调制,第二雷达传感器10'使用与所述码序列 C_m 正交的码序列 C_q 。码序列以下也称为码。

[0053] 当对于时间错位为零的情况码的互相关函数等于零、即 $r_{C_m, C_q}(0) = 0$ 时,码被称作正交的。对于复数 C_m, C_q ,互相关函数定义为:

$$[0054] \quad r_{C_m, C_q}(i) = \sum_{h=-\infty}^{\infty} C_m^*(h) \cdot C_q(h+i) \quad (1)$$

[0055] 其中,对于在范围 $0, \dots, L-1$ 之外的索引,码的元素被限定为零。在此, i 为时间错位并且相应于对应码的值的索引的差。

[0056] 例如Hadamard码可以作为正交的码使用。Hadamard码为二进制码,在所述二进制码中,码组的码由Hadamard矩阵的相对于彼此正交的行构成。码的元素——也称作码值——局限于值+1和-1,相应地,相位偏移为 0° 或者说 180° 。在二进制码的情况下,码的元素可以通过各一个比特定义。

[0057] 对于每个斜坡,第一FFT之后的谱与码序列的所配属的元素的共轭复数相乘。

[0058] 因为斜坡的持续时间比信号到实际目标并返回所经过时间大非常多,所接收的信号可以被看作与所发射的信号同步,相应于时间错位为零。以下这也称作同步条件。

[0059] 在对斜坡执行第二FFT之后,对于在多普勒频率为 f_v 时的峰值,产生与所使用的具有时间错位为零的码的互相关函数的值成比例的幅度, $r_{C_m, C_m}(0) = L$ 。码的相关性加和等于码长度 L 。这相应于两个码的同步相乘。总之,通过第一FFT在每个斜坡 K 个样本上的积分和第二FFT在一个序列的 L 个斜坡上的积分得到的幅度比接收信号的幅度大 KL 倍。

[0060] 如果干扰信号被第二雷达传感器10'接收,该第二雷达传感器已通过码 C_q 编码,则相反在第一傅里叶变换和用码 C_m 相位解调之后,作为第二傅里叶变换的幅度的前置因子产生对于时间错位等于零的两个码的互相关函数, $r_{C_m, C_q}(0)$ 。在此,如果满足同步条件并且由此来自雷达传感器10'的第一斜坡的信号与来自雷达传感器10的第一斜坡的信号共同被接收,时间错位等于0。由于两个码的正交性 $r_{C_m, C_q}(0) = 0$,干扰被抑制。相关性加和为零。

[0061] 在所述例子中,干扰信号为来自雷达传感器10'的、在对象44上被反射的信号。但是,也可以直接抑制来自雷达传感器10'的干扰信号。这些信号可能相应于例如发光对象。

[0062] 以下示例性地根据线性调频序列调制来描述在图4中所示出的情形,采用斜坡组的以下参数: $F=180\text{MHz}$, $T=T_{r2r}=0.02\text{ms}$, 和 $L=512$, 由此得出 $T_{s1ow}=10.24\text{ms}$ 的斜坡组持续时间。在 $N_{fast}=512$ 位置上采样每个斜坡。

[0063] 由于斜坡短和陡,在斜坡的基带信号中,频率的与间距有关的份额占主导,从而部

分信号的第一FFT的频谱相应于根据距离d的分辨率。在图5中,在间距d上和在斜坡索引I上示意性地描绘部分信号的频谱的幅度。在此,d=42m处的实际目标的估计距离和间距3.32m处的干涉信号的距离被标记。

[0064] 在此,复幅度在相应于间距d=42m的频率位置的值在斜坡I的序列上用码 $C_m(I)$ 相位调制。反之,在干涉信号的频率位置中的复幅度用码 $C_q(I)$ 相位调制。

[0065] 在用码 C_m 相位解调和第二FFT之后,在真实对象的频率位置相应于d=42m并且 $v=-6.7\text{m/s}$ 的情况下,二维谱具有单一的峰值,如在图6中示意性地示出的这样。反之,在与目标的差信号的频率位置为间距3.32m并且相对速度0m/s的情况下,该值为零,因为在加和第二FFT时,所使用的码的正交性得出零幅度。

[0066] 如果在斜坡时间较短的情况下不满足同步条件,则产生具有不等于零的时间错位的码的互相关函数作为在第二FFT之后的干涉信号的前置因子,。在正常情况下,所述互相关函数不为零。然而,例如在使用具有码长度L=512的两个Hadamard码时,所述互相关函数比有用信号的幅度的前置因子L=512小 $\log_{10}(1/512)=27\text{dB}$ 。由此,即使在超过斜坡长度的、小的时间错位情况下,也有效地抑制干涉信号。

[0067] 以下根据图7至图12解释用于车辆42,46的车队的雷达系统的例子,在该雷达系统中,通过使用分别具有两个码序列的码组,在机动车42的雷达传感器10中抑制干扰信号形式的外源干涉,所述干扰信号来自另一机动车46的其它雷达传感器10'。

[0068] 图9示意性地示出交通状况的例子,在该例子中,装入车辆42中的雷达传感器10在d=42m的距离和相对速度 $v=-7.6\text{m/s}$ 的情况下接收由真实目标44反射的信号。安装在前方行驶的车辆46的车辆尾部上的雷达传感器10"的干涉信号从1.66m的距离处、在相对速度0m/s的情况下接收。

[0069] 为此,图7示出发射信号的例子,在该例子中,一个测量周期包括频率斜坡30,30'的交错的(verschalteten)序列形式的两个部分发射信号47,47'。所述两个序列以下也称作斜坡组47,47'。在各斜坡组或者说部分发射信号47,47'之内,频率斜坡30或者说30'具有相同的斜坡上升高度、斜坡坡度和斜坡中间频率。例如,斜坡组可以通过不同的斜坡上升高度、不同的中间频率和/或不同的斜坡坡度相互区分。在所示出的例子中,斜坡组仅仅通过斜坡坡度的不同的前置符号区分。频率斜坡的参数相应于上述的例子。但是,现在,由于斜坡组47和47'交错, $T_{r2r}=0.04\text{ms}$ 。

[0070] 每个斜坡组用码组的所配属的码序列相位调制,其中,所述序列的每个频率斜坡的码序列配属一个相位偏移。斜坡组47(斜坡30)用码组 C_{m1} 调制,并且斜坡组47'(斜坡30')用码序列 C_{m2} 调制。

[0071] 从码群中选择具有码 C_{m1} 和 C_{m2} 的码组 C_m ,所述码群包括M个码组,其中,每个码组Q具有长度L的码,其中,Q相应于斜坡组的数量并且大于或等于2,在该例子中Q=2。选择一个码群,该码群对于所有的码组对 C_m 和 C_q 满足被称作码组正交条件的特性:

[0072] 对于所有的 $i=0, \dots, L-1, r_{C_{m1}, C_{q1}}(i) + r_{C_{m2}, C_{q2}}(i) + \dots + r_{C_{mQ}, C_{qQ}}(i) = 0$ (2)

[0073] 具有这些特性的码组的群也被称作相互正交("mutually orthogonal")。

[0074] 为了直观说明,给出具有L=16的例子和数量M=2个分别具有Q=2个码C11,C12或者说C21,C22的码组C1,C2:

[0075] $C11 = (+1, +1, +1, -1, +1, +1, -1, +1, +1, +1, +1, -1, -1, -1, +1, -1)$

$$[0076] \quad C_{12} = (+1, +1, +1, -1, +1, +1, -1, +1, -1, -1, -1, +1, +1, +1, -1, +1) \\ [0077] \quad (3)$$

$$[0078] \quad C_{21} = (+1, -1, +1, +1, +1, -1, -1, -1, +1, -1, +1, +1, -1, +1, +1, +1)$$

$$[0079] \quad C_{22} = (+1, -1, +1, +1, +1, -1, -1, -1, -1, +1, -1, -1, +1, -1, -1, -1)$$

[0080] 所述码组满足相互正交的特性:

$$[0081] \quad \text{对于所有的 } i, r_{C_{11}, C_{21}}(i) + r_{C_{12}, C_{22}}(i) = 0. \quad (4)$$

[0082] 以下说明具有 $L=512$ 的例子。雷达传感器10的信号用码组 C_m 编码。外源雷达传感器10"的信号用码组 C_q 编码。

[0083] 接收至两个斜坡组47, 47' 的信号首先分开地在对应通道中处理, 如在图8中示意性地示出的这样。例如所述分开可以通过时间错位、不同的斜坡参数和/或通过用于各个斜坡组的天线的极性来实现。在该例子中, 使用时间错位和呈斜坡坡度不同前置符号的形式不同坡度。

[0084] 在对应通道中, 所述处理首先相应于根据图3所解释的处理。执行第一傅里叶变换32。为了相位解调, 使用码组, 所述码组与用于相位调制的码组 C_{m1}, C_{m2} 相关, 在这里例如相同。通过与对应码的共轭复数 $C_{m,1}^*$ 或者说 $C_{m,2}^*$ 相乘来执行相位解调34, 并且在所涉及的斜坡组的斜坡上执行第二傅里叶变换38。

[0085] 在加和48中, 第一斜坡组47和第二斜坡组47' 的所得到的二维谱相加并且向探测单元40移交用于进一步的评估。因为目标的距离在斜坡组47, 47' 的时间错位期间仅仅改变一个非常小的值, 在加和二维频谱时, 复幅度相关地 (kohaerent) 相加。

[0086] 对于真实目标的情况, 在目标在基带信号的频谱中的频率位置中, 在针对每一个斜坡组的第二FFT38中存在一个幅度, 该幅度与具有时间错位为零的对应码的自相关函数成比例。因此, 对于对应斜坡组, 码的相关性加和等于码长度 L 。

[0087] 在加和斜坡组47, 47' 的二维谱之后, 得出具有量值为 $2AN_{fast}L$ 的幅度的峰值。由此, 该幅度与码组的码的相关性加和的和成比例。

[0088] 然而, 在用码组 C_{q1}, C_{q2} 编码的外源雷达传感器的干涉信号的频率中, 在二维谱的和中分别得出一个幅度, 该幅度与码组的具有可以等于零或者不等于零的时间错位的对应码的互相关函数的和成比例。由于根据等式(2)的相互正交性的特性, 该和总是为零。

[0089] 图10示意性地通过单个斜坡组47或者说47' 的斜坡索引 I 示出从第一FFT得到的关于间距 d 的信息。外源雷达传感器的信号比目标的雷达回波晚5.12ms被雷达传感器10接收。

[0090] 然后, 对于对应斜坡组47, 47' 的频谱, 执行对应的相位解调和第二傅里叶变换38。对于两个斜坡组, 根据图11分别得出关于 d 和 v 的二维谱。

[0091] 在加和了谱之后得出根据图12的谱。可发光的目标的幅度相加为零。反之, 对于真实目标, 由于自相关函数的加和, 得出幅度

$$[0092] \quad 2A_1 N_{fast} L e^{j\phi_{01}} \quad (5)$$

[0093] 在此, ϕ_{01} 为相位偏移, 该相位偏移与目标的距离有关。

[0094] 由此, 有效地抑制干涉信号, 并且可以根据二维谱探测真实目标。

[0095] 在所说明的具有相互正交的码的方法的变型中, 使用不同的码组用于相互前后跟随的测量周期。例如可以从相互正交的码的群中随机地选择码组。由此, 在使用相同码群的两个车辆的雷达传感器的信号干涉的情况下, 所述车辆同时使用相同编码的可能性减小。

[0096] 为了进一步减小外源干涉的影响,在相互前后跟随的测量周期中可以使用斜坡组 47,47' 的频率斜坡的至少一个参数的不同值。如果使用例如不同的斜坡坡度,则干涉信号具有与自身雷达传感器的信号不同的斜坡坡度的可能性提高。然后,干涉信号的能量在基带信号中分布关于频率分配并且导致有用信号的噪声背景。例如也可以使用斜坡组的斜坡的不同持续时间或者数量和/或使用不同的中间频率。

[0097] 在以上所说明的例子中分别用相同的码进行相位调制和相位解调,相应于“匹配滤波器(Matched Filter)”解决途径,也可以考虑,取而代之地,使用码 f_m 或者说码组 f_{m1}, f_{m2} 用于相位解调,所述码组与码 C_m 相关,但是不等同,其中,码组 f_{m1}, f_{m2} 与至少一个另外的码组 C_q 满足码组正交条件。这在图1、图3和图8中分别用虚线表明。相应于“失配滤波器”解决途径,例如这样选择与线性的滤波器相应的码 f_{m1}, \dots, f_{mQ} 用于码组的数量 Q 个长度 L 的码,使得它们满足这样的条件:

$$[0098] \quad r_{f_{m1}, C_{m1}}(0) + r_{f_{m2}, C_{m2}}(0) + \dots + r_{f_{mQ}, C_{mQ}}(0) = LQ, \text{ 和} \quad (6)$$

$$[0099] \quad \text{对于所有的 } i, r_{f_{m1}, C_{q1}}(i) + r_{f_{m2}, C_{q2}}(i) + \dots + r_{f_{mQ}, C_{qQ}}(i) = 0 \quad (7)$$

[0100] 因此存在较大数量的码组可供使用。

[0101] 与所说明的不同地,也可以在第一FFT之前执行基带信号的相位解调,其中,例如在分开的通道中用码组的码序列进行相位解调。

[0102] 也可以使用在发射信号时使用的码进行相位解调,其方式是,混频器使所接收的信号与经相位调制的发射信号混频,以便产生基带信号。

[0103] 也可以使用多值的码。然而,二进制的码能够实现线路技术上简单的结构,因为 180° 的相位偏移仅仅使信号的幅度反向。

[0104] 在所说明的例子中,仅仅进行相位调制,然而不进行幅度调制,从而可以利用完整的信号强度。然而,发射信号也可以用频率斜坡的至少一个根据码序列相位调制和幅度调制的序列来调制。

[0105] 替代所说明的Hadamard码,也可以使用其他正交码,例如傅里叶码。

[0106] 可以修改根据图2或图7的、所说明的、具有相同中间频率 f_0 的频率斜坡的调制方法,其方式是,例如在斜坡组或者斜坡序列之内,根据具有上升高度 F_{s1ow} 和斜坡持续时间 T_{s1ow} 的线性的、上级的(uebergeordneten)频率斜坡改变对应斜坡的中间频率 f_0 。然后,在评估第二FFT时,评估通过斜坡的序列所采样的振动用于确定间距和相对速度,其中,除了 f_v 之外,振动包含与缓慢的斜坡的坡度有关的频率份额 $f_{d, s1ow} = 2dF_{s1ow} / (cT_{s1ow})$ 。那么,频率 $f_v + f_{d, s1ow}$ 相应于用于上级斜坡的FMCW等式。

[0107] 所描述的码具有这样的优点:它们对于任意的码长度存在并且对于各种码长度存在有利的相关特性。因此,在设计雷达信号和雷达系统时提供大的灵活性以供使用。例如可以使用具有少许的斜坡的发射信号。由此可以得出较小的发射时间和对存储器和评估单元的数据传递比率的减小的要求。

[0108] 在所描述的调制方法中,使用短的、快速的频率斜坡,从而与斜坡相应的部分信号的频谱由与间距有关的频率份额占主导。但是,也可以考虑经修改的方法,以实现用于对象的 v 和 d 值的确定。在此,例如可以使用具有较小的坡度和/或较大的例如 $T = 0.1ms$ 的斜坡持续时间的斜坡,由此也减小对采样率和/或频率调制的要求。因此,例如可以由配属于一斜坡的部分信号的第一傅里叶分析求取 v 和 d 之间的函数关系,例如根据FMCW等式。然后,为了

确定 v 和 d ,例如可以使用从第二FFT获得的信息和/或在不同斜坡参数的斜坡的多个序列上进行值的匹配。

[0109] 例如可以进行发射信号的频率斜坡的各雷达回波的对应第一傅里叶变换;从至少一个所得到的一维谱确定呈所定位的对象的间距 d 和相对速度 v 之间的函数关系形式的第一信息,该函数关系使不同的相对速度 v 配属于不同的间距 d ,其中,例如所述函数关系可以相应于用于对应频率斜坡的FMCW等式;在第二维度上,在相互前后跟随的频率斜坡的雷达回波的经相位解调的一维谱的序列的时间过程上实施至少一种第二傅里叶变换;由第二傅里叶变换的至少一个所得到的谱,或者说在部分发射信号的情况下由第二傅里叶变换的所得到的谱的加和,获得关于所定位的对象的相对速度和可选间距的、另外的信息,其中,所述另外的信息可以是例如函数关系形式的信息,所述函数关系根据用于频率斜坡的中间频率的上级缓慢斜坡的FMCW等式;并且,基于第一信息与另外的信息的比较(也称作匹配)确定所定位的对象的间距 d 和相对速度 v 。例如,可以通过考虑第二信息的由用于相对速度 v 和可选的间距 d 的单义区域(Eindeutigkeitsbereich)所确定的多义性(Mehrdeutigkeit)来进行第一信息与第二信息的比较。这样的方法也称作多速FMCW(Multispeed-FMCW,MS-FMCW)。在此,满足正交条件的、正交的码或者码组的使用具有这样的特别的优点:即使在具有相对少、相比较而言长的斜坡的MS-FMCW调制样式中,也能实现自身干涉和/或外源干涉的非常好的抑制。由此在A/D转换器的采样率减小的情况下仍能实现相对速度 v 的好的分开能力。

[0110] 通过一维的第一和第二傅里叶变换的相继实施,第二傅里叶变换的谱为二维的傅里叶分析的谱或者说部分发射信号的两个这样的谱的和。由此,尤其根据二维的傅里叶分析的频谱值或者说根据这样的二维频谱的和来确定间距和相对速度。

[0111] 第一信息已经可以由第一傅里叶变换的一维谱确定。也可以根据二维频谱中的峰值,由峰值在频谱的第一维度上的位置来确定第一信息,并且由峰值在频谱的第二维度上的位置确定另外的信息。

[0112] 图13示出通过短斜坡的中间频率的缓慢上级频率斜坡的MS-FMCW测量的斜坡序列的第一和第二信息的 v - d 图的例子。由频率斜坡的频谱的评估,取代用于 d 的值而得出相对于竖直线轻微倾斜的直线,相应于相对速度 v 和间距 d 之间的线性关系(第一信息)。在相位解调之后,从第二FFT的谱的峰值(或者说从第二FFT的谱的的和的峰值)得出另外的、在这里平的、划虚线的直线,该直线有多义性。在考虑所提到的多义性的情况下,由第一信息与第二信息的调整得出可能的值对 (v,d) ,所述值对的特征在于直线交点上的圆。这些值对中的仅仅一个相应于所定位的雷达对象(在图13中标出)。通过在七个测量周期中使用具有短斜坡的其他坡度和/或上级斜坡的其他坡度的至少一个第二斜坡序列,对于雷达对象可以通过所得到的交点的匹配确定单义的值对 (v,d) 。

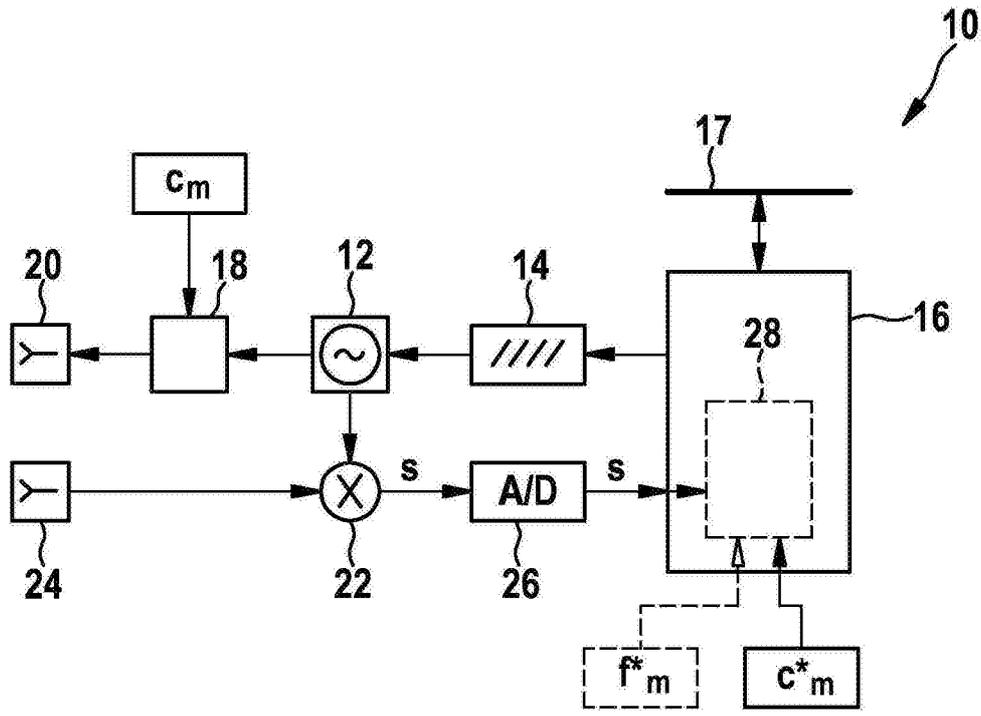


图1

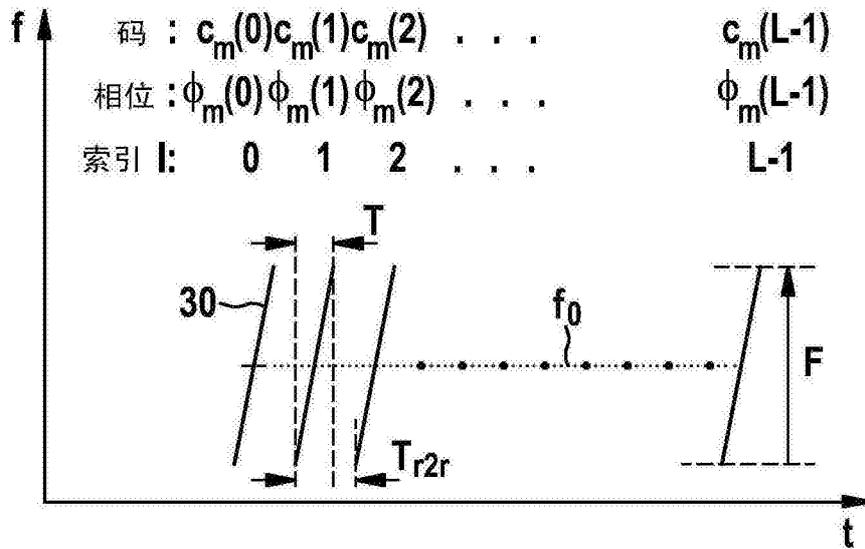


图2

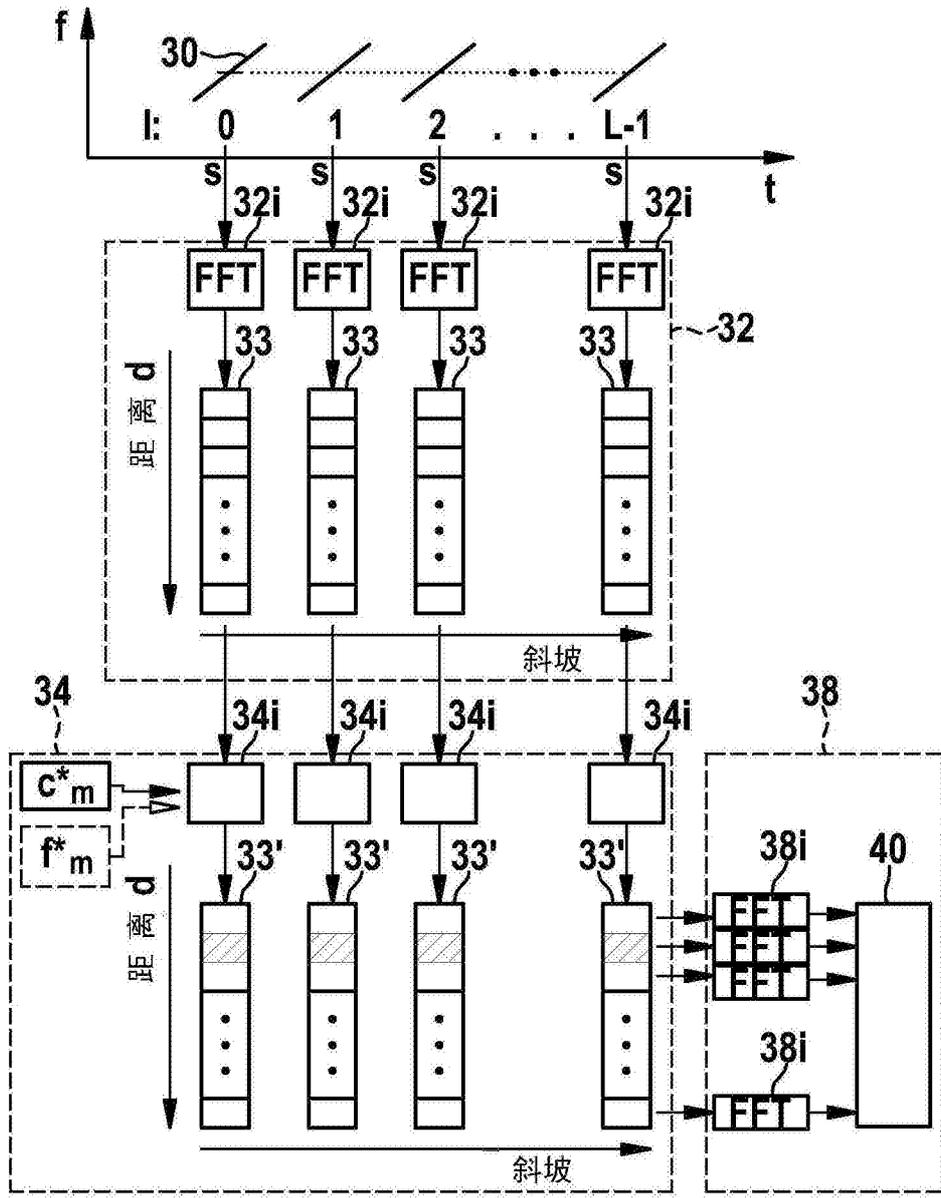


图3

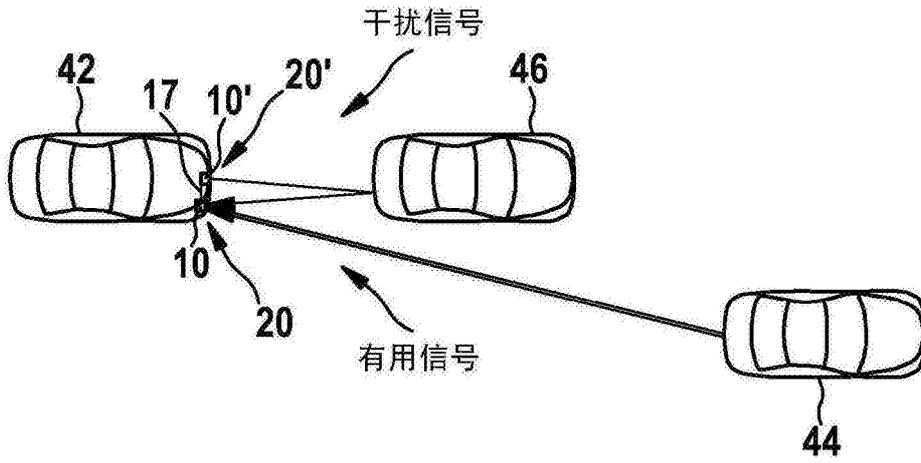


图4

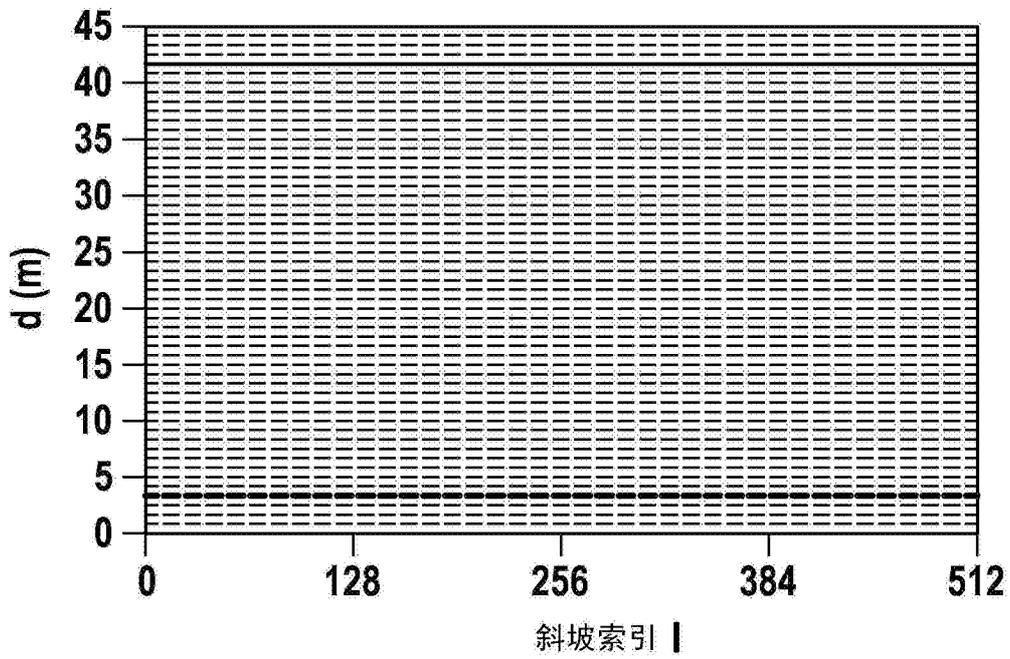


图5

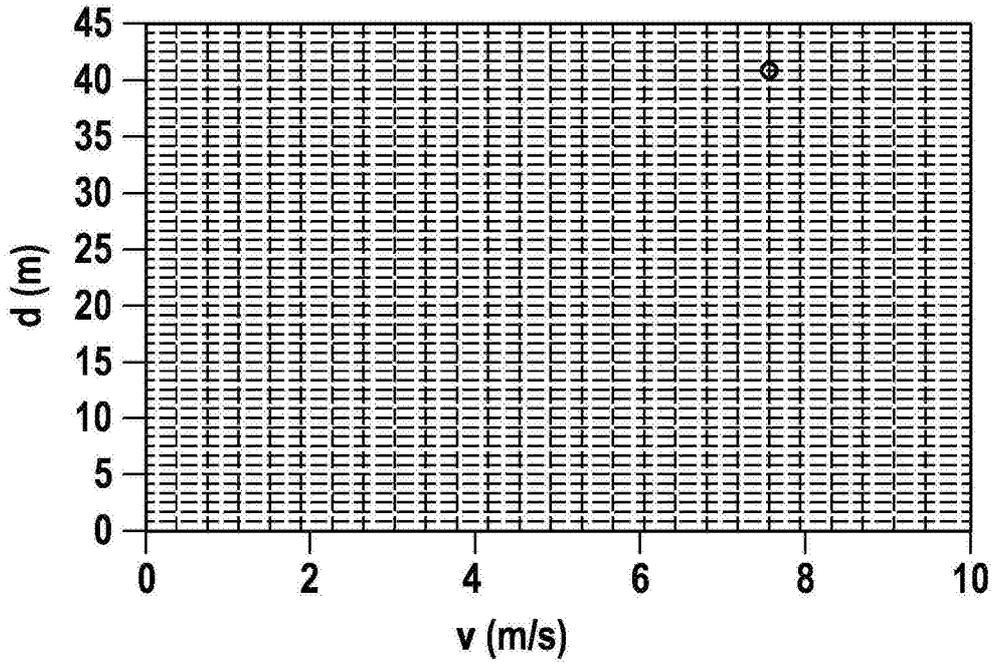


图6

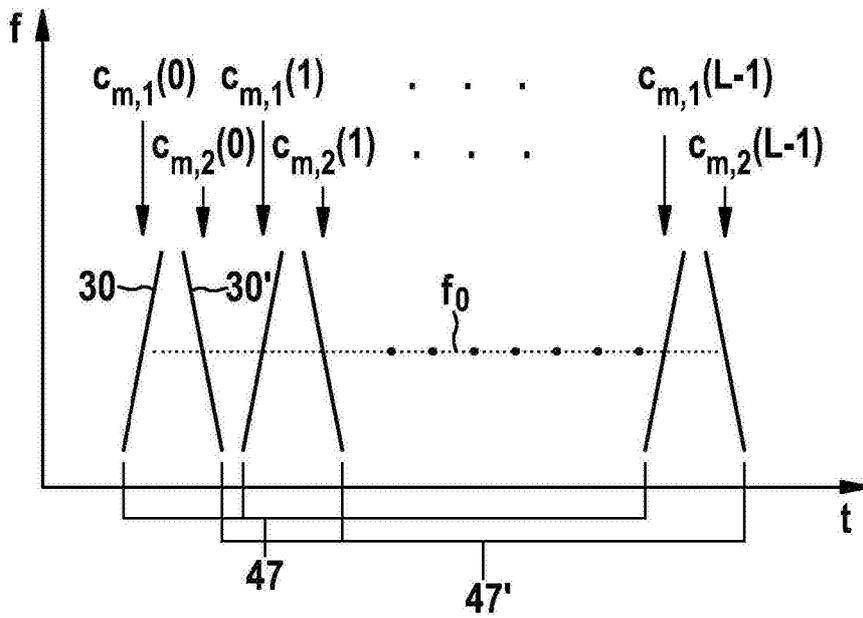


图7

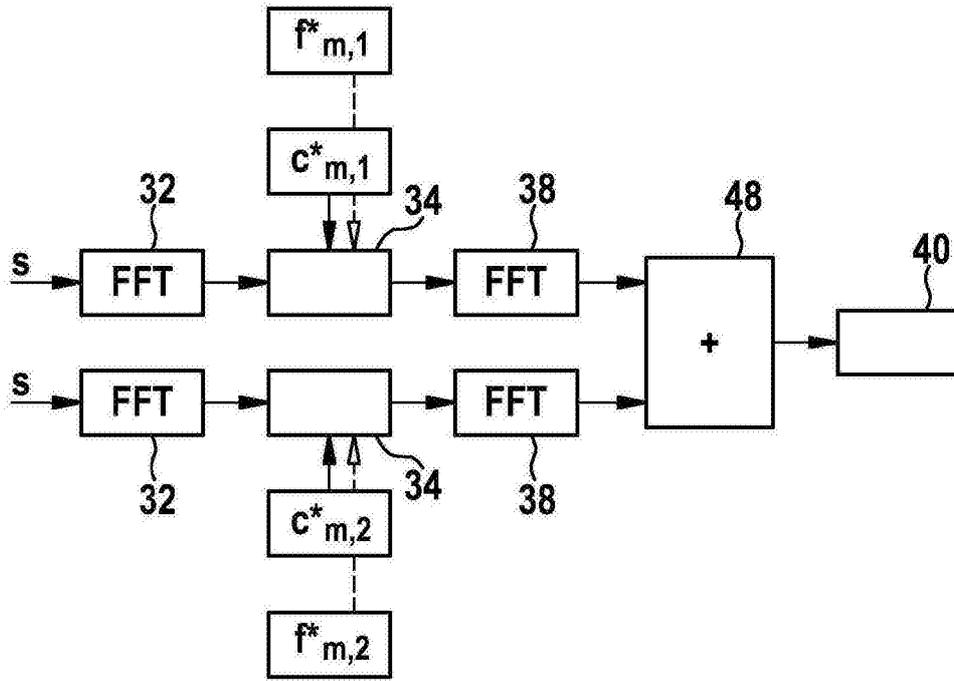


图8

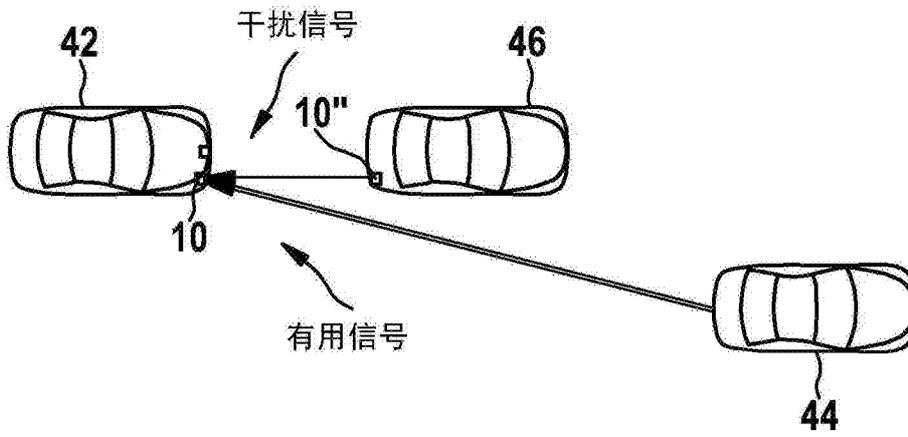


图9

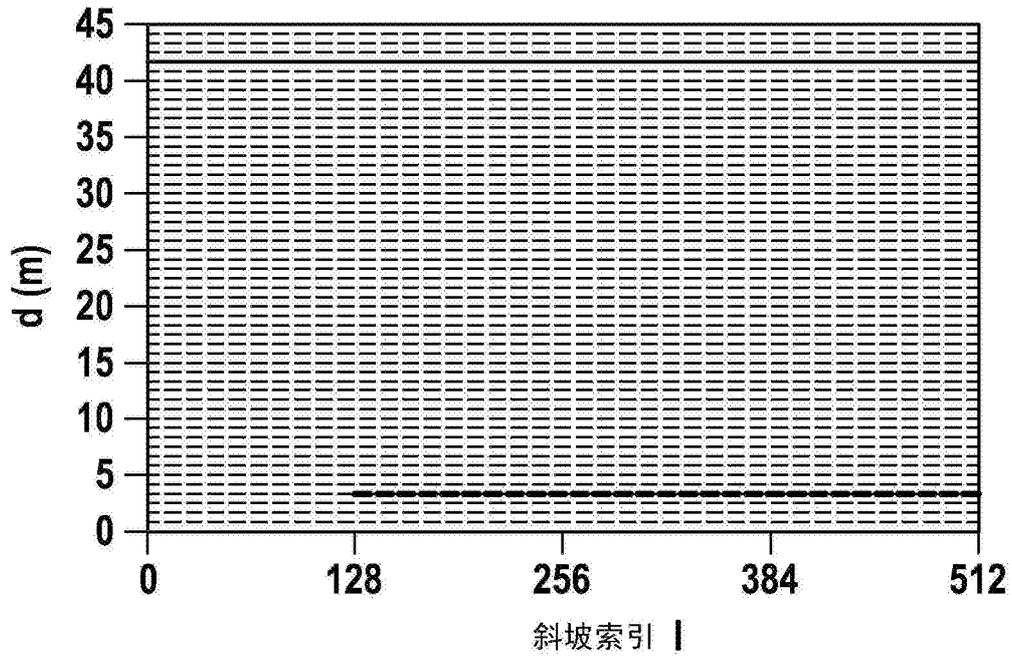


图10

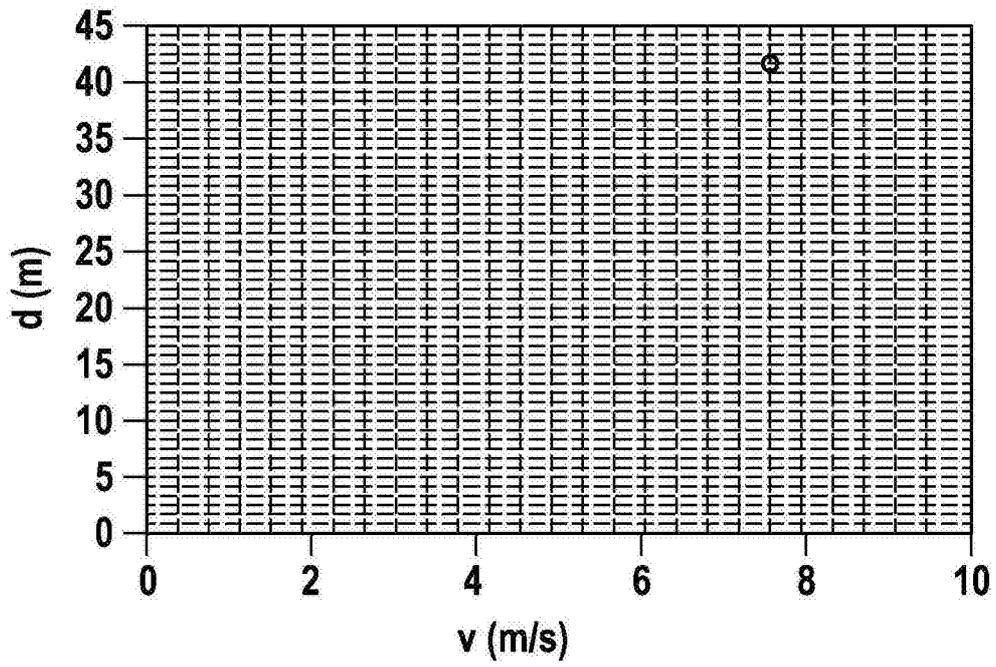


图11

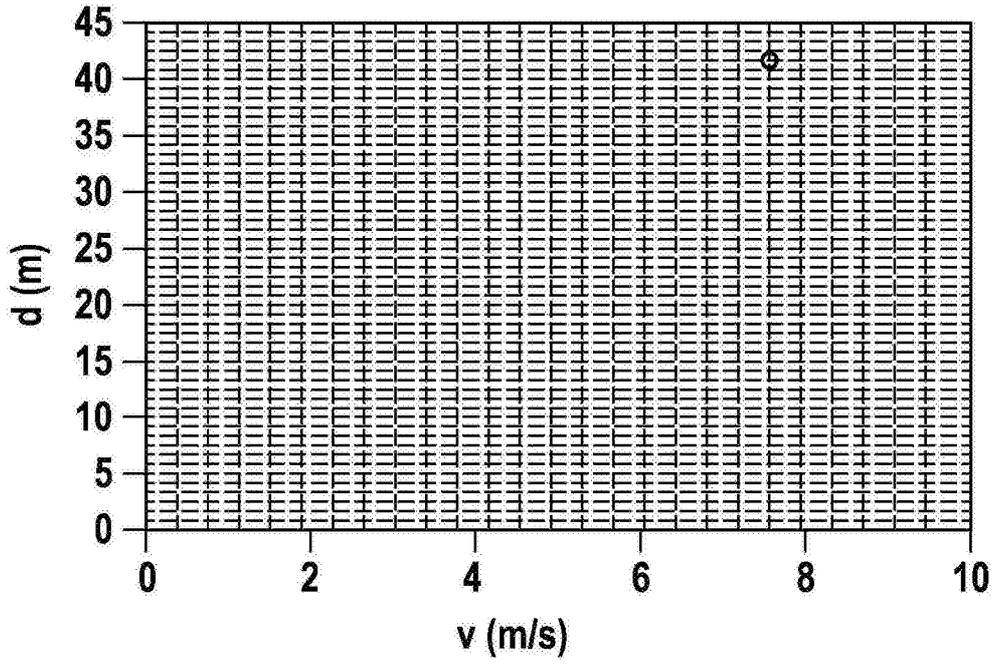


图12

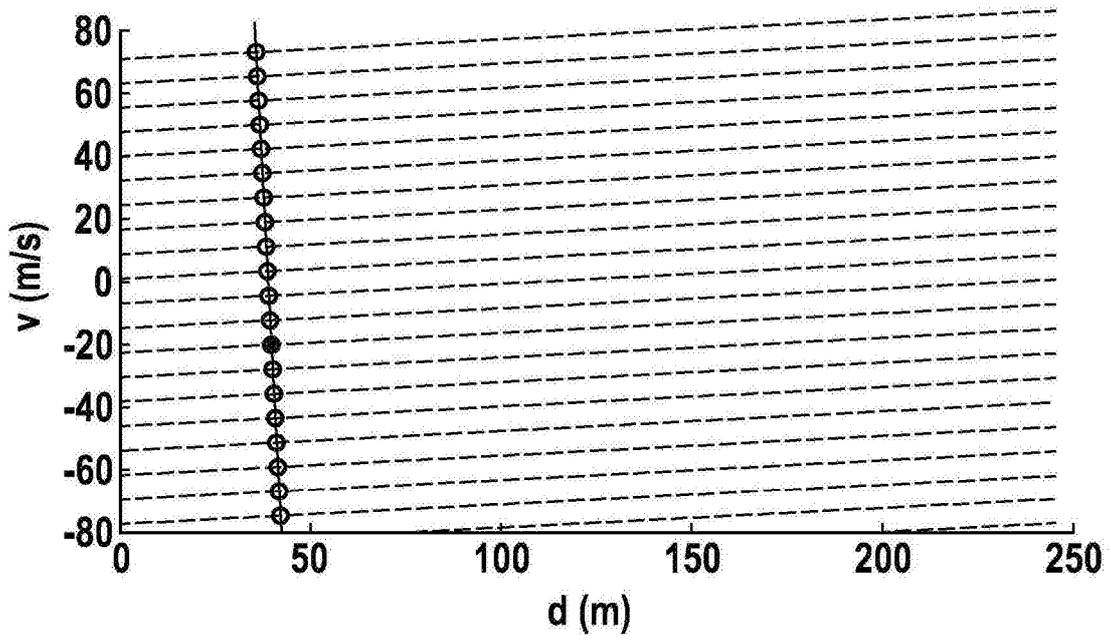


图13