

1. 一种用于定位雷达目标 (18) 的方法, 其中, 借助具有不同视距 (p) 的发射天线 (12; 15) 实施 FMCW 雷达测量, 所述不同视距在打开角度和/或作用距离方面不同, 其中, 将所接收的信号向下混频成基带信号,

其特征在于,

(a) 在一个测量周期中, 对于所述不同视距 (p) 分别实施测量, 其中, 发射斜坡状频率调制的发射信号 (20), 所述发射信号的调制模式包括斜坡 (24; 28; 34; 38; 41; 43; 45) 的多个时间上交错的序列 (22; 26; 32; 36; 40; 42; 44), 所述斜坡在相应的序列内以时间间隔 (T_{r2r}) 时间错位地彼此相继,

其中, 所述具有不同视距 (p) 的测量的序列在时间上相互交织, 其中, 在有规律的模式中, 在所述视距 (p) 之间进行切换,

其中, 对于所述视距 (p) 中的至少一个, 所述测量具有以下调制模式: 所述调制模式在相应的序列内在具有相同的、计数相应的序列中的斜坡的斜坡索引 (j) 的不同序列 (22, 26; 32, 36) 的斜坡 (24, 28; 34, 38) 之间具有至少两个不同的、有规律地反复出现的时间错位 ($T_{12,1}; T_{12,2}$), 其中, 所述时间错位 ($T_{12,1}; T_{12,2}$) 不同于所述时间间隔 (T_{r2r}), 所述斜坡以所述时间间隔在相应的序列内彼此相继,

(b) 分开对于所述序列 (22; 26; 32; 36; 40; 42; 44) 中的每一个, 通过二维傅里叶变换由所述基带信号计算二维谱 (X), 其中, 在第一维中逐个斜坡地进行变换, 并且在第二维中通过所述斜坡索引 (j) 进行变换,

(c) 对于所述视距 (p) 中的至少一个, 借助所述相应的视距的基带信号的至少一个二维功率谱 (56) 中的峰值的位置 (k, l), 确定在所述相应的视距中检测的雷达目标 (18) 的相对速度 (v) 的值, 所述值以预确定的速度周期为周期,

(d) 对于所述视距 (p) 中的至少一个, 在与对于所检测的雷达目标 (18) 的相对速度 (v) 的所确定的周期值中的多个周期值的期望的相位关系 ($a(v, m, p)$) 的一致性方面, 检查分别在所述视距 (p) 的分开计算的二维谱 (X) 中的相同位置 (k, l) 处获得的谱值之间的至少一个相位关系,

(e) 对于所述视距 (p) 中的至少一个, 借助所述检查的结果, 从所述相对速度 (v) 的所确定的周期值中选择在相应的视距中检测的雷达目标 (18) 的相对速度 (v) 的估计值。

2. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中, 对于所述视距 (p) 中的至少一个, 所述测量具有以下调制模式: 所述调制模式包括所述序列 (40; 42; 44) 中的至少三个, 对于所述序列使用同一个天线 (15) 用于发射,

其中, 所述序列相互间关于所述序列 (40) 中的第一个具有不同的、分配给所述序列 (42; 44) 中的相应另一个的时间错位 ($T_{12,m,p}; T_{13,m,p}$)。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法, 其中, 对于所述视距 (p) 中的至少一个, 借助多个用于发射的天线 (12) 实施所述测量, 其中, 使用在所述用于发射的天线 (12) 的选择方面不同的至少两个不同的发射开关状态 (m),

其中, 所述序列 (22; 26; 32; 36) 中的至少两个分别分配给所述发射开关状态 (m), 所述序列在时间上相互交错并且相互间关于所述序列 (22; 32) 中的第一个具有分配给所述序列 (26; 36) 中的相应另一个的时间错位 ($T_{12,m,p}$),

其中, 在不同的发射开关状态 (m) 中, 不同的时间错位 ($T_{12,1,p}; T_{12,2,p}$) 分配给其它

序列 (26;36) ,

其中,在所述测量的分配给不同发射开关状态 (m) 的彼此相继的斜坡 (24;28;34;38) 之间,在所涉及的发射开关状态 (m) 之间进行切换。

4. 根据权利要求1或2所述的方法,

其中,对于所述视距 (p) 中的至少两个,相应的测量是进行角分辨的测量,所述进行角分辨的测量借助多个用于发射和/或用于接收的天线 (12,15;14) 的不同选择实施,

其中,借助对于所述用于发射和/或接收的天线 (12,15;14) 的不同的选择获得的多个视距 (p) 的测量的基带信号的二维谱 (X) 中相应于所述雷达目标 (18) 的峰值的位置 (k,1) 处的振幅和/或相位,确定在所述视距 (p) 中的多个视距中定位的雷达目标 (18) 的角位置 (θ) 。

5. 根据权利要求1或2所述的方法,

其中,对于所述视距 (p) 中的至少两个,所述相应的测量是借助多个用于发射和/或用于接收的天线 (12,15;14) 的不同选择实施的进行角分辨的测量,

其中,为了定位雷达目标 (18),在所述相应的视距 (p) 的测量的基带信号的二维功率谱 (56;57) 中执行对峰值的寻找,

其中,借助对于所述用于发射和/或用于接收的天线 (12,15;14) 的不同选择获得的基带信号的二维谱 (X) 中相应于所述雷达目标 (18) 的峰值的位置 (k,1) 处的振幅和/或相位,确定在相应的视距 (p) 中定位的雷达目标 (18) 的角位置 (θ) ,

其特征在于,

在以下情况中:在所述视距 (p) 中的至少一个中,在由于其距离 (d) 和/或其角位置 (θ) 位于所述视距 (p) 与所述视距 (p) 中的没有定位所述雷达目标 (18) 的另一个视距的重叠区域中的位置 (d,θ) 处定位了雷达目标 (18),补充地考虑所述另一个视距 (p) 的测量的基带信号的二维谱 (X) 中相应于所述雷达目标 (18) 的位置 (k,1) 处的振幅和/或相位用于所述角位置 (θ) 的确定或修正。

6. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,在相应的序列 (22;26;32;36;40;42;44) 内,彼此相继的斜坡 (24;28;34;38;41;43;45) 具有相同的斜坡斜率 (F/T) 并且具有相同的其斜坡中心频率的差,

其中,所述的斜坡中心频率的差不等于零,

其中,在所述测量的相应的序列 (22;26;32;36;40;42;44) 中具有相同斜坡索引 (j) 的斜坡 (24;28;34;38;41;43;45) 具有相同的斜坡斜率 (F/T) 和相同的斜坡中心频率。

7. 根据权利要求1或2所述的方法,所述测量的序列的斜坡 (24;28;34;38;41;43;45) 具有相同的频率偏差 (F) 。

8. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,对于所述视距 (p) 中的至少一个,分开对于所述相应的视距 (p),将对于所述序列 (22;26;32;36;40;42;44) 中的每一个分开计算的二维谱 (X) 合并成所述基带信号的二维功率谱 (56),其在确定所述相对速度 (v) 的值的步骤 (c) 中使用。

9. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,在检查所述相位关系时,使用根据以下等式的关系:

$$\Delta\phi_{12} = 2\pi \frac{2}{c} f_0 T_{12} v$$

所述等式使另一个序列(26)的相应的二维谱(X)的谱值的相位与第一序列(22)的二维谱(X)的谱值的相位之间的期望的相位差 $\Delta\phi_{12}$ 与分配给所述另一个序列(26)的时间错位(T12)和相对速度 v 形成关系,其中, c 是光速,并且 f_0 是平均发射频率。

10. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,对于所述相应的视距(p),在与期望的相位关系的一致性方面检查所述相位关系时,借助取决于所述相对速度的值 v 的控制向量 $a(v)$ 计算测量向量 $a_{k,l}$ 的复内积 $a_{k,l}^H a(v)$ 的绝对值的平方,其中,所述测量向量 $a_{k,l}$ 的分量是所述峰值的位置(k,l)处的对于所述序列分开计算的谱(X)的谱值,其中, $a_{k,l}^H$ 是 $a_{k,l}$ 的埃尔米特伴随向量,其中,所述控制向量 $a(v)$ 是具有相对速度 v 的雷达目标的理想测量的控制向量,其中,除了共同的归一化因子之外,所述控制向量 $a(v)$ 的分量分别是对于分配给所述相应的序列(26;36;42;44)的时间错位(T12)相对于第一个序列(22;32;40)的期望的相位差($\Delta\phi_{12}$),其中,除了共同的归一化因子之外,所述控制向量 $a(v)$ 的第一个分量等于1。

11. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,在与期望的相位关系的一致性方面检查所述相位关系时,根据以下关系式确定一致性 $S(v)$ 的相应的程度:

$$S(v) = \frac{1}{\sum_{(m,n) \in MN} |a_{k,l}^H(n,m)|^2} \sum_{(m,n) \in MN} |a_{k,l}^H(n,m) a(v,m)|^2$$

其中, MN 是接收通道 n 与如有必要在用于发射的天线(12)的选择方面不同的发射开关状态 m 的组合, $a_{k,l}(n,m)$ 是测量向量,其分量是在所述峰值的位置(k,l)处对于所述发射开关状态 m 的各个序列(22;26;32;36)的基带信号和对于各个接收通道 n 分别分开计算的谱(X)的谱值, $a_{k,l}^H(n,m)$ 是 $a_{k,l}(n,m)$ 的埃尔米特伴随向量,并且 $a(v,m)$ 是借助所述发射状态 m 对于具有相对速度 v 的雷达信号的理想测量的控制向量。

12. 一种FMCW雷达传感器,其具有控制与分析处理装置(16),在所述控制与分析处理装置中实现了根据权利要求1至11中任一项所述的方法。

具有不同视距的雷达测量方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于定位雷达目标的方法,其中,借助具有不同视距的发射天线实施FMCW雷达测量,所述不同视距在打开角度(Öffnungswinkel)和/或作用距离方面不同,其中,将所接收的信号向下混频成基带信号。

[0002] 本发明尤其涉及这种类型的方法,其中,对于视距中的至少两个,相应的测量是借助多个用于发射和/或用于接收的天线的不同选择实施的进行角分辨的测量,其中,为了定位雷达目标,在相应的视距的测量的基带信号的二维谱中执行对峰值的寻找,其中,借助对于用于发射和/或用于接收使用的天线的不同选择获得的基带信号的二维谱中相应于雷达目标的峰值的位置处的振幅和/或相位,确定在相应的视距中定位的雷达目标的角位置。

[0003] 本发明还涉及一种尤其用于机动车的雷达传感器,所述雷达传感器构造用于实施所述方法。

背景技术

[0004] 在机动车中使用FMCM雷达传感器用于检测交通环境,尤其用于定位其它车辆。可以使用定位结果用于不同的辅助功能,例如用于自动间距调节、自动碰撞警告或也用于在严重碰撞危险时自动触发紧急制动过程。

[0005] 在FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave:调频连续波)雷达传感器中,使用具有斜坡状调制的频率的发射信号。在斜坡的变化过程期间连续发射信号。由接收信号通过与发射信号的混频来产生基带信号,对所述基带信号进行采样和分析处理。

[0006] 基带信号的频率相应于在给定时刻发射的信号与在同一时刻接收的信号之间的频率差。基于发射信号的频率调制,该频率差取决于信号从雷达传感器至对象并且返回的传播时间并且因此取决于对象的距离。然而,由于多普勒效应,频率差也包含通过对象的相对速度决定的分量。因此,单个斜坡上的频率差的测量还无法确定距离和相对速度,而是仅提供这些参量之间的线性关系。该关系可以在距离/速度图(d-v图)中表示为直线。

[0007] FMCW雷达传感器是已知的,在所述FMCW雷达传感器中,以相同的、相对较短的斜坡的序列(即所谓的“Rapid Chirps:快速线性调频”)进行工作,所述斜坡相对于其持续时间具有高的频率偏移(Frequenzhub)并且因此如此陡峭,从而在基带信号中频移(Frequenzverschiebung)的与距离有关的分量占主导,而通过斜坡的序列对多普勒频移进行采样。因此,为了在相对速度的测量范围内允许相对速度的唯一明确的确定,需要短斜坡的足够高的重复率。彼此相继的短斜坡之间的时间错位尤其必须小于多普勒频率的一半周期持续时间。

[0008] 雷达传感器大多具有多个天线,所述多个天线彼此间隔地布置在一条线上,例如布置在水平线上,从而所定位的对象的不同的方位角导致雷达信号从对象直至相应天线要经过的传播长度的差。这些传播长度差导致由天线接收的并且在所属的分析处理通道中分析处理的信号的相位方面的相应差别。然后通过在不同通道中接收的(复)振幅与天线图中的相应振幅的比较,能够确定雷达信号的入射角并且因此确定所定位的对象的方位角。

[0009] 在MIMO雷达(Multiple Input/Multiple Output:多输入/多输出)中,通过以下方式实现更大的角分辨能力:不仅借助多个进行接收的天线而且借助多个进行发射的天线工作,其中,分析处理进行发送和进行接收的天线的不同组合,所述不同组合导致反射信号的相应传播长度差。

[0010] 在MIMO雷达中,借助进行发射的天线的不同选择发射的信号必须相互正交或在时间上可分离。这例如能够通过码分复用、频分复用或时分复用实现。然而,码分复用方法需要高的耗费并且仅能够实现信号的有限正交性。在频分复用方法中存在以下缺点:相位与多普勒频移取决于相应的波长。在时分复用原理中存在以下问题:所定位的对象的相对运动与具有不同开关状态的测量之间的时间差相结合地导致相位差,所述相位差使后续的角度估计变得困难。

发明内容

[0011] 本发明的任务是,说明一种开始所述类型的方法,所述方法允许可供用于不同视距的采样使用的周期时间的更好的充分利用。

[0012] 当应该在不同的、但是重叠的视距中定位对象时,例如在有限作用距离情况下具有相对较大的打开角度的视距中并且在有限的打开角度情况下具有相对较大的作用距离的视距中,这通常需要测量周期的长的周期时间,以便依次对所有视距进行采样。

[0013] 根据本发明通过开始提及类型的方法解决所述任务,在所述方法中:

[0014] (a) 在一个测量周期中,对于不同的视距分别实施测量,在所述测量时,发射斜坡状频率调制的发射信号,所述发射信号的调制模式包括斜坡的多个时间上交错的序列,所述斜坡在相应的序列内以时间间隔时间错位地彼此相继,

[0015] 其中,具有不同视距的测量的序列在时间上相互交织,其中,在有规律的模式中,在视距之间进行切换,

[0016] 其中,对于视距中的至少一个,测量具有以下调制模式:所述调制模式在相应的序列内在具有相同的、计数相应序列中的斜坡的斜坡索引的不同序列的斜坡之间具有至少两个不同的、有规律地(**regelmäßig**)反复出现的时间错位,其中,所述时间错位不同于所述时间间隔,斜坡以所述时间间隔在相应的序列内彼此相继,

[0017] (b) 分开对于序列中的每一个,通过二维傅里叶变换由基带信号计算二维谱,其中,在第一维中逐个斜坡地进行变换,并且在第二维中通过斜坡索引进行变换,

[0018] (c) 对于视距中的至少一个,借助相应视距的基带信号的至少一个二维谱中的峰值的位置,确定在相应视距中检测的雷达目标的相对速度的值,该值以预确定的速度周期为周期,

[0019] (d) 对于视距中的至少一个,在与所检测的雷达目标的相对速度的所确定的周期值中的多个周期值的期望相位关系的一致性方面,检查分别在视距的分开计算的二维谱中的相同位置处获得的谱值之间的至少一个相位关系,

[0020] (e) 对于所述视距中的至少一个,借助所述检查的结果从相对速度的所确定的周期值中选择在相应视距中检测的雷达目标的相对速度的估计值。

[0021] 序列在时间上相互交错。也就是说,在一个序列的斜坡之间的间隙中布置有相应的其他序列的斜坡。在此,术语“相互交错”与“相互交叉”或“相互交织”同义地使用。

[0022] 优选地,在步骤(c)中,借助至少一个二维谱的第一维中的峰值的位置确定雷达目标的距离与相对速度之间的线性关系,并且借助至少一个二维谱的第二维中的峰值的位置至少确定雷达目标的相对速度的值,该值以预确定的速度周期为周期。

[0023] 通过斜坡的序列,实现多普勒频移频率的欠采样,从而所获得的关于相对速度的信息具有模糊性(Mehrdeutigkeit)。相对速度的值尤其是以一速度间隔为周期

$$[0024] \quad \Delta v = \frac{c}{2f_0 T_{r2r}} \quad (1)$$

[0025] 其中,c是光速, f_0 是平均发射频率,并且 T_{r2r} 是一个序列内的斜坡之间的时间间隔。因此,由经采样的基带信号的二维谱中分配给雷达目标的峰值的位置,确定雷达目标的相对速度的具有模糊性的值。然后,能够以以下方式解决所述模糊性:检查序列的信号之间对于相对速度的相应值期望的相位关系与所测量的相位关系有多好的一致性。期望的相位关系分别取决于相对速度与相关序列之间的时间错位。

[0026] 由于分别与对于所有视距的所有序列相同的时间间隔 T_{r2r} 不同的序列之间的至少两个时间错位,能够在速度测量范围内实现相对速度的唯一明确的估计,所述速度测量范围至少是借助斜坡的序列中的仅一个的测量的唯一明确范围的多倍。由此实现一个序列的斜坡之间——即在斜坡中点之间——的相对较大的时间间隔,从而对于不同视距的测量能够在时间上相互交织,并且在相同的硬件耗费的情况下实现更准确的定位。

[0027] 在长度相应于时间间隔 T_{r2r} 的调制模式的一个周期内,斜坡优选地以不均匀的间距布置,从而尽管时间间隔 T_{r2r} 有规律性但调制模式仍然具有尽可能少的对称性。基于统一的时间间隔 T_{r2r} ,不同序列的斜坡之间的时间错位逐个周期地重复。

[0028] 优选地,在选择相对速度的估计值的步骤(e)中,在相对速度的测量范围内,唯一明确地确定估计值,其中,测量范围的上限最大值 v_{max} 与序列内的斜坡中点的时间间距 T_{r2r} 具有以下关系:

$$[0029] \quad T_{r2r} > c / (4f_0 v_{max})$$

[0030] 其中,c是光速, f_0 是平均发射频率。这相应于通过序列的以时间间距 T_{r2r} 彼此相继的斜坡欠采样雷达目标的最大待探测的相对速度 v_{max} 。优选地, T_{r2r} 至少为关系式右侧的所述参量的多倍。

[0031] 优选地,在选择相对速度的估计值的步骤(e)中,在相对速度的测量范围中唯一明确地确定估计值,其中,测量范围的上限最大值 v_{max} 与不同序列的斜坡之间的相应时间错位 T_{1i} 具有以下关系:

$$[0032] \quad T_{1i} > c / (4f_0 v_{max})$$

[0033] 优选地, T_{1i} 至少为关系式右侧的所述参量的多倍。

[0034] 具有不同视距的测量优选分别具有以下调制模式:所述调制模式在不同序列的斜坡之间具有至少两个不同的、有规律地反复出现的时间错位。

[0035] 在从属权利要求中说明本发明的有利的构型。

[0036] 能够以以下不同的方式设置视距的序列之间的不同时间错位:

[0037] 例如对于视距中的至少一个,测量能够具有以下调制模式:所述调制模式包括序列中的至少三个,对于所述序列中的至少三个使用用于发射的同一个天线,其中,这些序列相互间关于序列中的第一个具有不同的、分配给序列的相应的另一个的时间错位。这在对

于一个视距仅有一个发射天线供使用时是有用的。

[0038] 例如对于视距的中至少一个,能够借助多个用于发射的天线实施测量,其中,使用至少两个不同的发射开关状态,所述两个不同的发射开关状态在用于发射的天线的选择中不同,

[0039] 其中,序列的至少两个分别分配给这些发射开关状态,所述序列在时间上彼此交错并且相互间关于序列中的第一个具有分配给序列的相应的另一个的时间错位,

[0040] 其中,在不同的发射开关状态下,不同的时间错位分配给其它序列,

[0041] 其中,在分配给不同的发射开关状态的彼此相继的测量斜坡之间,在涉及的发射开关状态之间切换。

[0042] 所述测量例如能够是MIMO-FMCW测量,其中,借助雷达传感器的对于用于发射和接收的天线的不同选择获得的基带信号之间的振幅和/或相位关系,确定所定位的雷达目标的角位置。

[0043] 例如能够对于视距中的至少一个实施首先描述的测量,该测量具有包括序列中的至少三个的调制模式,对于所述序列中的至少三个使用同一个用于发射的天线,并且对于视距中的至少另一个,能够借助多个用于发射的天线实施最后描述的测量。

[0044] 在进行角分辨的测量时,天线在雷达传感器有角分辨能力的方向上布置在不同的位置中。例如使用多个天线用于接收。对于相应的角位置中的理想的、近似于点状的雷达目标,在不同天线中接收的信号之间存在特有的相位和振幅关系。所接收的信号之间的振幅比取决于天线的方向角和灵敏度曲线。通过相位关系的分析处理和/或振幅关系的分析处理,能够确定所定位的雷达对象的角位置。

[0045] 对于给定距离中并且具有给定反射强度的标准对象,可以在天线图中示出由天线发射的并且在雷达目标处反射之后在天线上接收的信号的振幅和相位与所定位的雷达目标的角位置的依赖关系。例如通过不同天线或(在MIMO测量的情况下)对于用于发射和用于接收的天线的不同选择对于同一个雷达目标获得的振幅和/或相位与相应的天线图的比较,能够确定雷达目标的角位置。

[0046] 因为不同视距的测量在时间上交织,所以近似同时地对其进行采样。如果在视距的重叠区域中定位雷达目标,能够使用不同视距的谱中的谱值——即振幅和/或相位——用于雷达目标的共同角度估计。能够实现对于视距分开制作的列表与所定位的雷达目标或分配了雷达对象的对象的比较。

[0047] 角度估计的有利方法特征在权利要求4和5中说明。

[0048] 在相应的序列内彼此相继的斜坡优选具有相同的斜坡斜率和相同的它们的斜坡中心频率的差,以及特别优选具有相同的频率偏移,其中,斜坡中心频率的差可选地不等于零,其中,在测量的相应序列中具有相同斜坡索引的斜坡具有相同的斜坡斜率和相同的斜坡中心频率以及尤其优选具有相同的频率偏移。如果除了逐个斜坡的可选地不等于零的频率差以外所有测量的所有序列的所有斜坡的频率变化过程相同,则能够特别准确地测量由雷达目标的相对速度引起的相位关系。

[0049] 如果序列之间的时间错位和序列内的斜坡的时间间距处于相同的数量级,则能够特别好地使用可供使用的测量时间。此外,能够将对象加速度对各个序列的基带信号之间的相位关系的影响保持地尽可能小。此外,能够对于序列与序列内的斜坡的时间间距之间

的时间错位选择如此有利的值,所述值尽可能“不可通约”,即相互间不成整数倍关系。因此,调制模式包含斜坡之间的间歇。调制模式尤其优选具有至少一个间歇,该间歇有规律地在一个序列的各两个彼此相继的斜坡之间反复出现,间歇与间歇之间的时间间隔等于一个序列的斜坡之间的时间间隔。

[0050] 相应的序列的斜坡优选在调制模式的主要时段期间交替布置,即序列很大程度上在时间上重叠。序列之间的相应时间错位优选小于相应序列内的斜坡之间的时间间隔的两倍,尤其优选小于该时间间隔。因此,后者等同于在视距的测量中在第一序列的两个彼此相继的斜坡之间始终发射斜坡的相应的其它的序列的相应斜坡。

[0051] 优选地,对于相应的视距,将对于序列中的每一个分开计算的二维谱合并成基带信号的二维谱,尤其是功率谱,其在确定所述相对速度的值的步骤(c)中使用。所述合并例如是非相位相干的,优选地对谱值的绝对值的平方进行非相位相干求和得到功率谱。由此能够改善对峰值的探测。

[0052] 在检查相位关系时优选使用根据以下等式的关系:

$$[0053] \quad \Delta\varphi_{12} = 2\pi \frac{2}{c} f_0 T_{12} v \quad (2)$$

[0054] 所述等式使得视距测量的另一个序列的相应谱的谱值的相位与第一序列的谱的谱值的相位之间的期望的相位差 $\Delta\varphi_{12}$ 与分配给另一序列的时间错位 T_{12} 和相对速度 v 形成关系,其中, c 是光速, f_0 是平均发射频率。替代第二序列的 T_{12} 和 $\Delta\varphi_{12}$,一般性地,对于第 i 个序列、如有必要第 m 个发射开关状态和第 p 个视距可以写为 $T_{1i,m,p}$ 或者 $\Delta\varphi_{1i,m,p}$,其中, $i > 1$ 。

[0055] 在检查相位关系时,优选根据以下等式使用测量的取决于相对速度 v 的控制向量(Steuerungsvektor) $a(v)$:

$$[0056] \quad a(v) = \frac{1}{\sqrt{I}} \begin{bmatrix} 1 \\ \mathbf{M} \\ e^{2\pi j \frac{2}{c} f_0 T_{1i} v} \end{bmatrix} \quad (3)$$

[0057] 其中, I 是计数序列的序列数量, $i=1, \dots, I$,并且在向量(Vektor)的第 i 个分量中, T_{1i} 是分配给第 i 个序列的相对于第一序列的时间错位,其中, $i > 1$ 。控制向量 $a(v)$ 在该记号中是列向量,其分量分别描述第 i 个序列相对于第一个序列的部分测量的期望的相位差,其中,期望的相位差分别确定为复指数函数的相位。向量的分量的数量是 I 。共同的前置因子(Vorfaktor)是归一化因子。在指数函数的指数中,只要没有其它说明, j 表示虚数单位。替代 $a(v)$ 和 T_{1i} ,对于第 m 个发射开关状态和第 p 个视距可以写为 $a(v,m,p)$ 或者 $T_{1i,m,p}$,其中,对于相应的视距 p , I 通过数量 I_p 替换。

[0058] 控制向量 $a(v)$ 的知识允许:在峰值的位置处制造雷达目标的相对速度 v 与所接收的复谱值之间(在合适条件下唯一明确)的关系,并且由所接收的信号的相位关系推断雷达目标的相对速度 v 。因为然而实际上所接收的信号或多或少有噪声,所以不能够精确计算而是仅仅能够估计速度,例如借助最大似然估计。对于不同视距分开执行最大似然估计。

[0059] 例如对于接收通道 n ,如有必要对于发射开关状态 m 和视距 p 将测量向量定义为:

$$[0060] \quad \mathbf{a}_{k,i}(n,m,p) = \begin{bmatrix} x_1(n,m,p) \\ \mathbf{M} \\ x_{I_p}(n,m,p) \end{bmatrix} \quad (4)$$

[0061] 其中, $i=1, \dots, I_p$, 在向量的第 i 个分量中, $x_i(n)$ 表示接收通道 n 的斜坡的第 i 个序列的经采样的基带信号的二维谱的复谱值, 其中, n 计数接收通道, 其中, 在 N 个接收通道的情况下 $n=1, \dots, N$ 。

[0062] 优选在步骤 (d) 中, 在所述谱值之间的相位关系的干扰的情况下 (这相应于以下情况: 具有不同相对速度的两个雷达目标在至少一个二维谱中占据相同的位置), 从以下识别干扰的存在: 没有达到相位关系与期望相位关系的一致性的期望程度。

附图说明

[0063] 以下借助附图进一步阐述实施例。附图示出:

[0064] 图1具有用于MIMO雷达测量的两个发射天线和四个接收天线以及另一个发射天线的FMCW雷达传感器的示意图;

[0065] 图2具有重复发射的同类斜坡的七个序列的调制模式;

[0066] 图3速度/距离图, 其具有雷达目标的相对速度的以预确定的间隔为周期的值;

[0067] 图4FMCW雷达传感器的分析处理装置的详细的框图。

具体实施方式

[0068] 在图1中示出 (MIMO) FMCW雷达传感器10的一个简单示例的示意图, 在该示例中, (MIMO) FMCW雷达传感器具有用于在第一视距中的MIMO测量的两个发射天线12和四个接收天线14以及具有另一视距的另一天线15。实际上, 能够实现更大数量的天线。发射天线12、15由控制与分析处理单元16馈电并且发射雷达信号, 所述雷达信号在对象18处反射并且由接收天线14的每个接收。与发射天线12的视距相比, 发射天线15的视距具有更大的作用距离和更窄的打开角度。发射和接收天线能够分别由贴片天线阵列构成。

[0069] 将接收的信号向下混频成基带信号并且在控制与分析处理单元16中分析处理。雷达传感器10例如在机动车中在前方安装, 并且用来测量对象18 (例如前方行驶的车辆) 的距离 d 、角度和相对速度 v 。在雷达测量内借助上升或下降的斜坡的序列调制发射信号的频率。

[0070] 在此, 仅仅清楚起见, 示出了双基地天线系统 (bistatisches Antennensystem), 其中, 发射天线12、15与接收天线14不同。实际上, 也能够使用单基地天线方案 (monostatisches Antennenkonzept), 其中, 分别使用相同的天线用于发射并且用于接收。

[0071] 天线12、14在雷达传感器10有角分辨能力的方向上布置在不同的位置中。在该示例中, 接收天线14等距地布置在一条直线上 (ULA: Uniform Linear Array: 均匀线阵)。同理也适用于发射天线12, 其中, 发射和接收天线不一定必须布置在同一条直线上。当要使用雷达传感器来测量对象的方位角时, 天线在其上布置的直线水平地延伸。对于用于测量仰角的传感器, 相反地, 天线布置在竖直的直线上。也可设想二维天线阵列, 借助所述二维天线阵列不仅能够测量方位角而且能够测量仰角。

[0072] 在示出的示例中, 在时分复用方法中运行雷达传感器10, 其中, 具有不同视距的测

量在时间上相互交织。在每个时刻,发射天线12、15中的最多一个是激活的并且发射发射信号。各个天线12、15的激活阶段周期性地相互切换。在图1中示出以下情况:两个发射天线12中的仅下面的天线是激活的。

[0073] 图2示出发射信号20的发射频率 f 随时间 t 的变化。

[0074] 在对于发射天线12的视距的测量中,借助每个发射天线12发射具有在时间上相互交错的具有相同斜坡参数的斜坡24、28或34、38的两个序列22、26或32、36。在序列22、26之间,具有相同斜坡索引 j 的斜坡24、28具有时间错位 $T_{12,1,1}$ 。在序列32、36之间,具有相同斜坡索引 j 的斜坡34、38具有时间错位 $T_{12,2,1}$ 。在序列22内,具有相同斜坡索引 j 的斜坡24、28具有时间错位 $T_{12,1,1}$ 。

[0075] 在对于发射天线15的视距的测量中,借助发射天线15发射时间上相互交错的斜坡41、43或45的三个序列40、42、44。在序列40、42、44之间,相对于具有相同斜坡索引 j 的斜坡41,斜坡43分别具有时间错位 $T_{12,1,2}$,并且相对于具有相同斜坡索引的斜坡41,斜坡45分别具有时间错位 $T_{13,1,2}$ 。

[0076] 一般性地,对于视距 p 和发射开关状态 m ,相应于发射天线的选择,在此以及接下来将另一序列 i 相对于第一序列的时间错位标记为 $T_{1i,m,p}$ 。对于发射天线15($p=2$)总是 $m=1$ 。

[0077] 在每个序列内,彼此相继的斜坡以时间间距 Tr_{2r} 位移。时间间距 Tr_{2r} 对于所有视距的所有序列相同。在一个序列的两个彼此相继的斜坡之间分别存在一个间歇 P 。

[0078] 在图2中示出的示例中,一个序列内的彼此相继的斜坡的斜坡中心频率的差等于零。因此,所有斜坡具有同样的频率变化过程(Frequenzverlauf)。在此,斜坡中心频率相应于平均发射频率 f_0 。

[0079] 图4示意性地示出由控制与分析处理单元16执行地用于确定相对速度 v 、距离 d 和目标角度 θ 的操作的详细框图。为了简化图示,示出仅对于一个接收通道 n 的处理,相应于相应的天线14。

[0080] 对于视距 p 的发射天线 m 的每个序列 i ,对接收的、采样的基带信号 $b_{i,m,p}$ 分别进行二维傅里叶变换(2D-FFT)。第一维相应于对于各个斜坡获得的基带信号的变换。第二维相应于通过斜坡的序列、即通过斜坡索引 j 的变换。对每个序列 i ,在接收通道 n 中获得二维谱 $X_i(n,m,p)$ 。对于相应的视距,相应的变换的量——即频点(bin)(采样点或节点(Stützstelle))的相应的数量——优选对于第一维来说对于所有谱都一致,并且对于第二维来说对于所有谱都一致。

[0081] 基于雷达目标18的相对速度 v 和相应于各个序列的部分测量之间的时间错位 $T_{1i,m,p}$,获得在二维谱中在相同位置 $(k,1)$ 处出现的峰值 $X_i(n,m,p)(k,1)$ 、 $X_i(n,m,p)(k,1)$ 的复振幅(谱值)之间的相位差。相位差 $\Delta\varphi_{1i,m,p}$ 例如在等式(2)中说明。然而,由于相对较大的时间错位 $T_{1i,m,p}$,在借助同一个发射天线的两个部分测量之间的相位差的确定无法直接推断出相对速度 v 。因为,由于相位的周期性,由相位差(或 $p=2$ 情况下的两个相位差)得出相对速度 v 的所属值的模糊性。

[0082] 对于每个视距 p ,在第一功能块54中,由所获得的谱 $X_i(n,m,p)$ 通过求相应谱值的绝对值的平方分别计算功率谱。通过求和或求平均值,将功率谱逐点整合为整合的二维功率谱56、57。

[0083] 功率谱56、57中相应于雷达目标18的峰值的位置——所述位置在此以频点 k, l 说明——相应于各个谱 $X_i(n, m, p)$ 中的峰值的位置。根据FMCW等式 $k = 2/c(dF + f_0vT)$, 从第一维中——相应于峰值的位置的频点 k ——获得雷达目标的相对速度 v 与距离 d 之间的线性关系。在此, c 是光速, F 是斜坡偏移(Rampenhub), T 是单个斜坡的斜坡持续时间, 并且 f_0 是平均发射频率。当序列的彼此相继的斜坡的频率差等于零时, 第二维中的峰值的位置 l 仅包含关于雷达目标的相对速度 v 的信息。

[0084] 图3示意性地示出一个曲线图, 其中绘制相对速度 v 随距离 d 的变化。 v 与 d 之间的线性关系标记为直线。在所述示例中, 由多普勒频率的采样获得的关于雷达目标的相对速度的信息具有根据等式(1)的预确定的间隔的模糊性。除根据频点 k 得出的 v - d 直线以外, 通过虚线示出相对速度 v 的由频点 l 确定的周期值。标记与 v - d 直线的交点。交点相应于雷达目标18的相对速度和距离的可能的值对 (v, d) 。通过十字 X 标记应该确定其速度 v 的实际目标。

[0085] 如以下阐述的那样, 现在——分开对于视距 p ——解决求取的速度 v 的模糊性。将关于相对速度 v 的在考虑之列的、周期的值的信息 v^* 传递给第二功能块58, 同样还有部分测量的复二维谱 $X_i(n, m, p)$ 。

[0086] 根据等式(3), 取决于 v 计算理想测量的控制向量 $a(v)$ 用于分析处理测量的相位差, 在此对于 $I=2$ 个序列:

$$[0087] \quad a(v, m, p) = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(e^{2\pi j \frac{2}{c} f_0 T_{12, m, p} v} \right)$$

[0088] 测量向量 $a_{k, l}(n, m, p)$ 相应地定义, 其中, 替代期望的、取决于速度的复数值, 采用部分测量的二维谱的峰值的位置 k, l 处的复振幅(谱值)作为向量的分量, 如等式(4)中说明的那样; 在似然函数的定义中实现归一化。

[0089] 借助测量向量和控制向量, 将相对速度谱 $S(v, p)$ 形式的归一化的似然函数定义为:

$$[0090] \quad S(v, p) = \frac{1}{\sum_{m=1}^{M_p} \sum_{n=1}^{N_p} |a_{k, l}^H(n, m, p)|^2} \sum_{m=1}^{M_p} \sum_{n=1}^{N_p} |a_{k, l}^H(n, m, p) a(v, m, p)|^2$$

[0091] 在此, $a_{k, l}^H(n, m)$ 表示用于测量向量 $a_{k, l}(n, m, p)$ 的埃尔米特伴随向量——即行向量, 其中, 各个分量与向量 $a_{k, l}(n, m, p)$ 的分量复共轭。因此, 对于相应的视距 p , 似然函数相应于传输通道的测量向量与控制向量之间(复)内积的归一化的平方和, 其中, 关于不同的传输通道实施求和, 其中, 传输通道分别表示接收通道 n 与发射开关状态 m 的组合。

[0092] 相对速度谱 $S(v, p)$ 一般相应于相对速度 v 的周期函数的叠加。似然函数的最大值相应于参数 v 的最可能的值。相对速度谱 $S(v, p)$ 本身是模糊性的。最大值分别相应于对于 v 的涉及的值得出的理想相移与根据测量向量的所测量的相移的平均最佳一致性。然而, 仅仅在以下位置处需要函数 $S(v, p)$ 的分析处理: 所述位置相应于相对速度 v 的周期值, 所述周期值已由根据频点 (k, l) 中的峰值的位置的分析处理获得。在所述示例中假设: 在实际的相对速度为 $v=0m/s$ 时产生最大的一致性, 在此函数 $S(v, p)$ 具有期望的最大值 1 。

[0093] 因此, 能够通过相位关系中的附加信息解决从峰值的位置中得出的模糊性。借助线性关系, 确定距离 d 的属于相对速度 v 的所选择的估计值的估计值。

[0094] 第二功能块58将相对速度 v 和距离 d 的所求取的估计值以及对于两个视距 p 的峰值的复振幅 X 输出给角度估计器60。例如能够使用所估计的相对速度 v 用于补偿通过相对速度 v 引起的各个序列的谱值相对于参考序列的相移。

[0095] 因此,首先分开处理相应于斜坡的不同序列的时间信号(基带信号)。然后,在通过非相干积分获得的功率谱56中进行雷达目标18的探测。然后,基于探测和峰值的位置处的复振幅解决速度 v 的模糊性。

[0096] 如所描述的那样,优选对于所有接收通道和所有发射天线共同执行谱至功率谱56的非相干合并。这改善峰值探测。

[0097] 在个别情况中可能出现:具有不同距离和不同速度的两个雷达目标在谱56、57中具有同样的峰值位置 (k, l) 。则不能够将所测量的相位关系分配给雷达目标的唯一的相对速度。对此,分析处理装置16能够设置用于借助最大一致性——即相对速度谱 $S(v, p)$ 的在考虑之列的值中的最大值——与期望的最大值 1 的超过阈值的偏差识别测量的这种干扰。然后,分析处理装置16能够输出干扰信号。但是,也能够通过以下识别在谱56、57中暂时出现的峰值的多重占用(Mehrfachbelegung):分析处理装置16在借助雷达目标18的 v 和 d 的估计值执行所探测的对象的跟踪时在多个测量周期上识别到错误探测。

[0098] 优选对于多个依次执行的雷达测量使用斜坡的不同调制参数,例如不同的中心频率、斜坡斜率、时间间距 T_{r2r} 和/或时间错位 $T_{li, m, p}$ 。由此能够将峰值位置的偶然的三重占用限制到个别情况。

[0099] 替代各个谱至功率谱56或57的非相干合并,也能够设想,借助数字的波束整形(beam forming)将接收通道 n 合并为一个接收通道。在此,例如对于相应的视距 p 和如有必要对于发射开关状态 m ,借助相应的权重因子将 N 个接收通道的谱或测量向量相干地(即在考虑相位的情况下)相加。然后,在 $S(v, p)$ 的关系式中,相应地取消关于 n 的求和。

[0100] 附加或替代基带信号的谱 X ,也能够将基带信号 b 直接输出到角度估计器60,或也能够分开地将由基带信号 b 计算的谱输出到角度估计器。

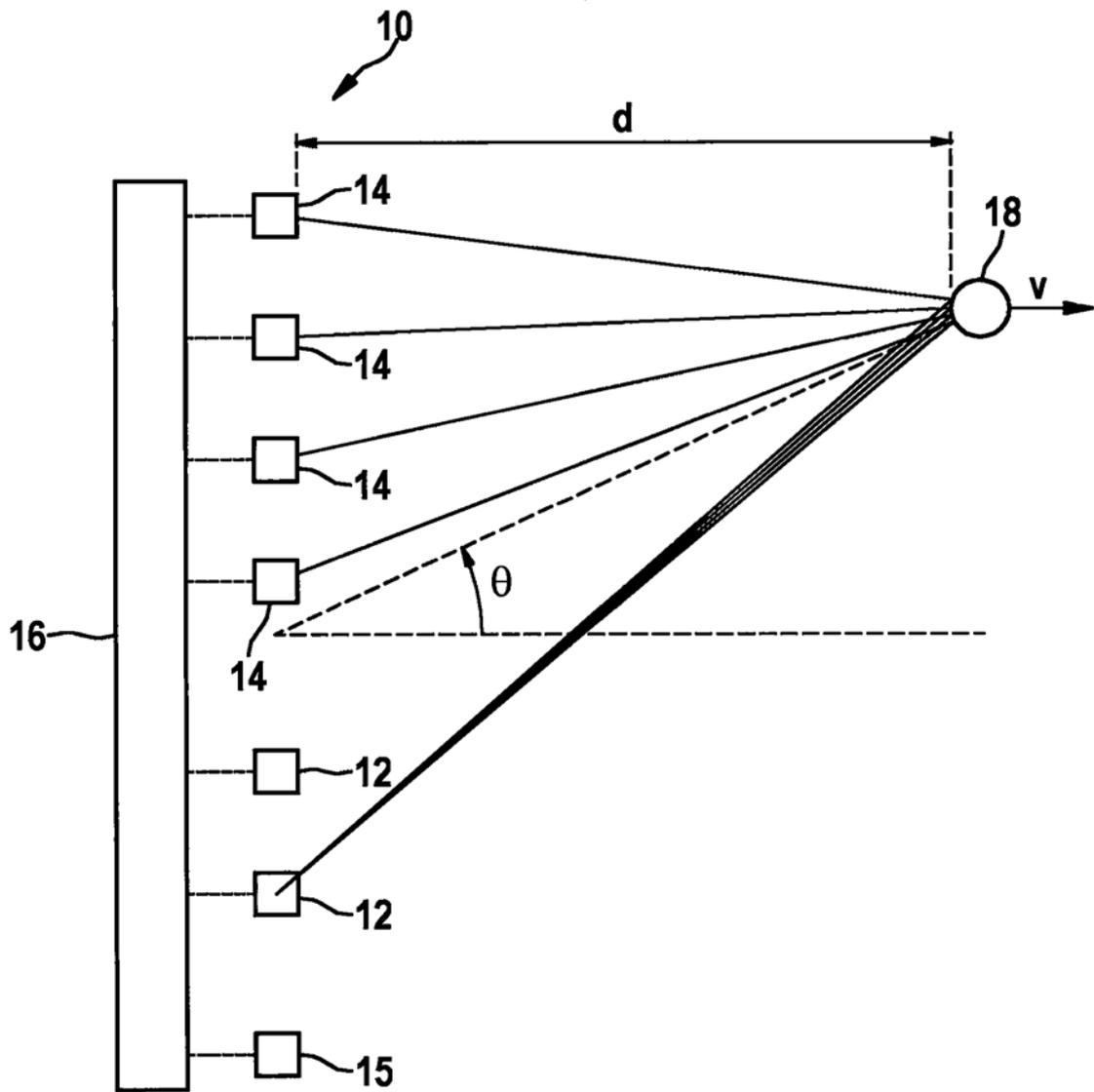


图1

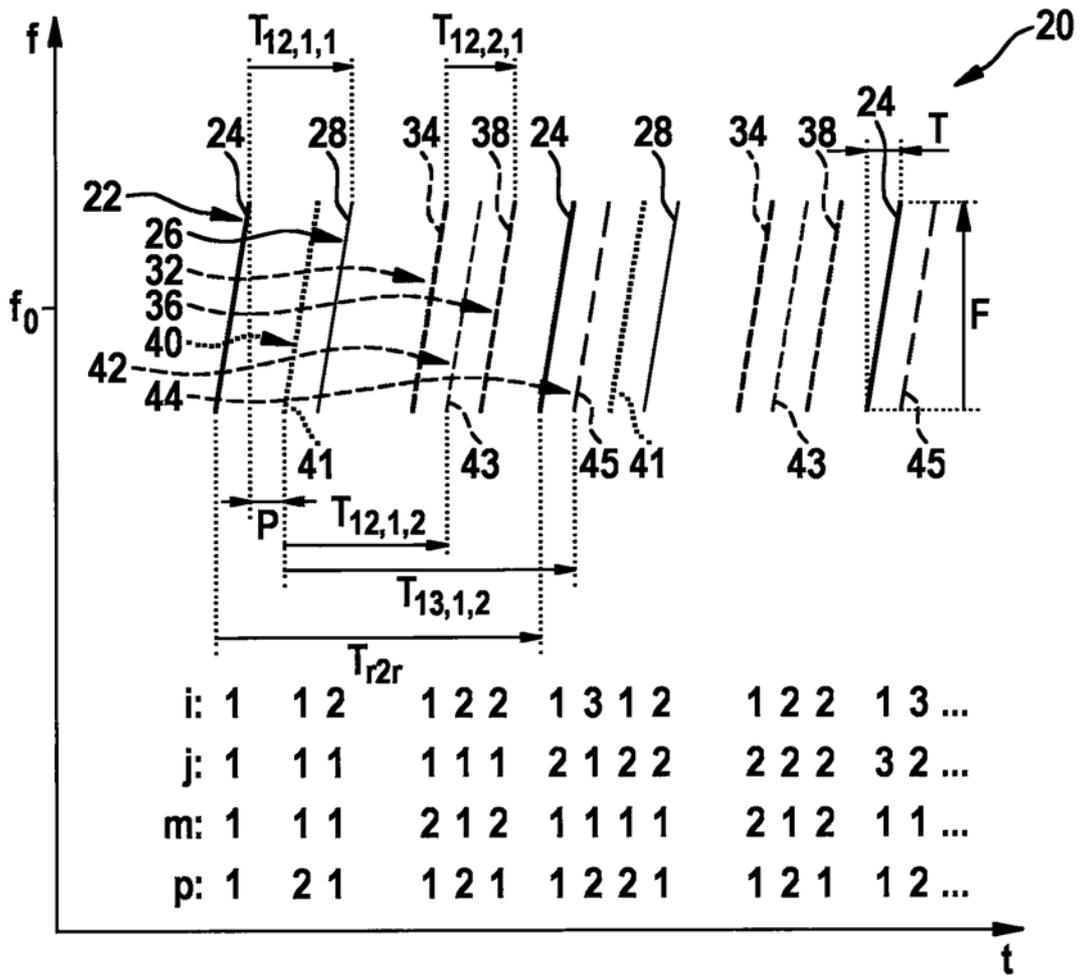


图2

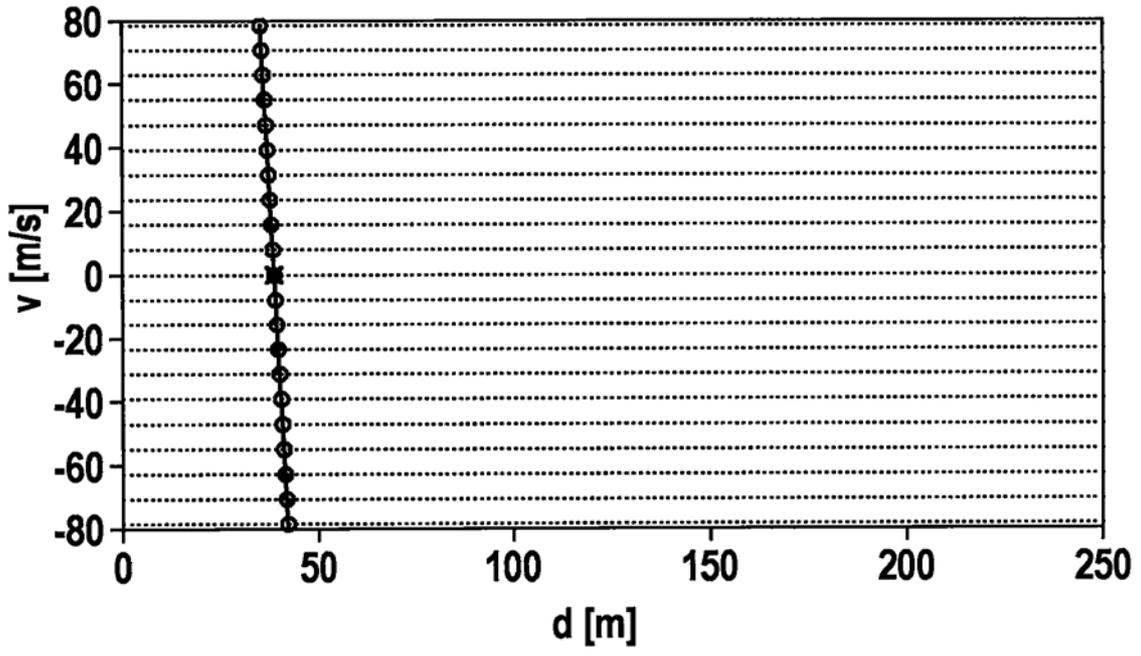


图3

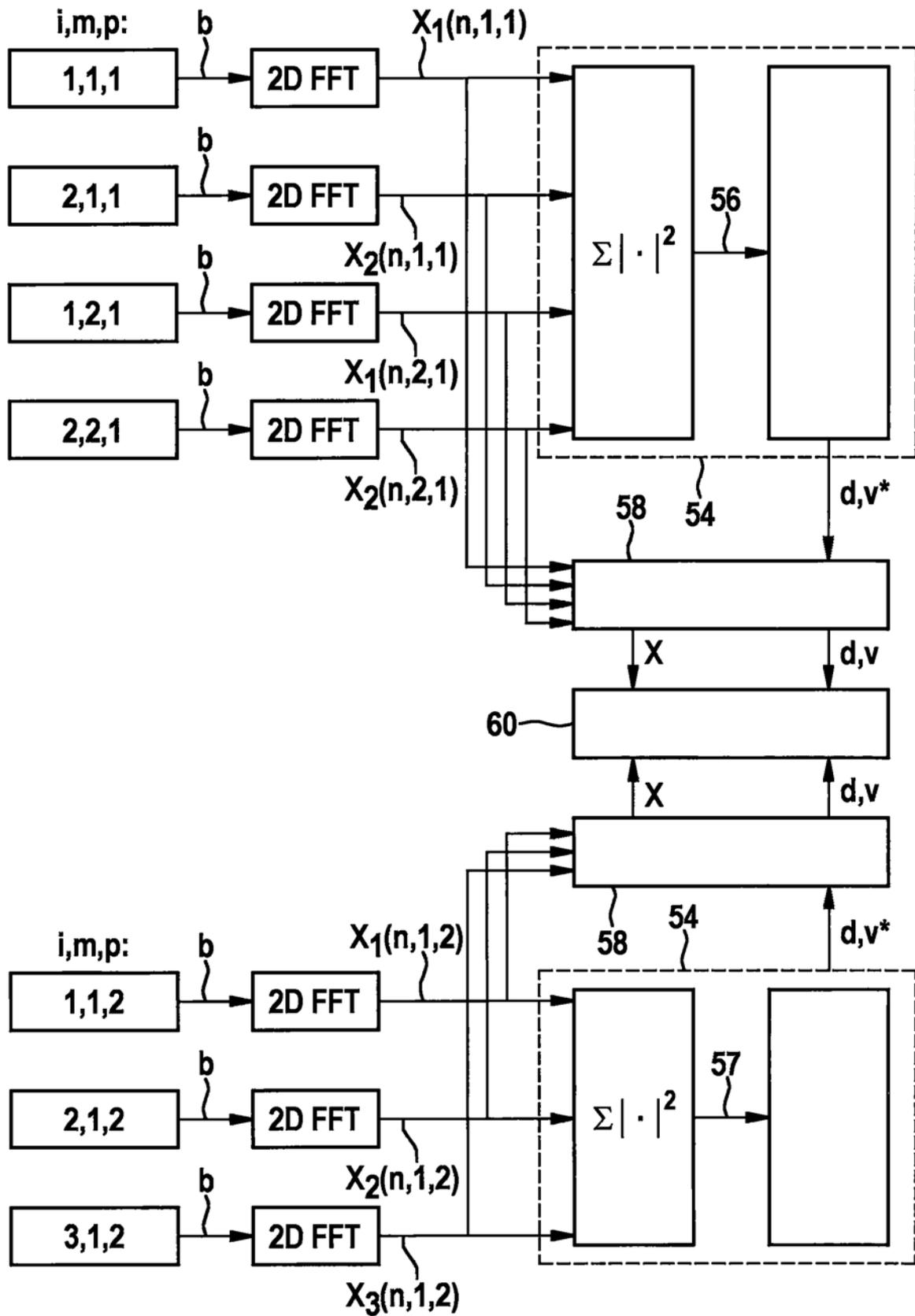


图4