



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109031272 B

(45) 授权公告日 2022. 08. 23

(21) 申请号 201810587397.7

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2018.06.08

G01S 13/42 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 109031272 A

审查员 杨娜

(43) 申请公布日 2018.12.18

(30) 优先权数据  
17175554.9 2017.06.12 EP

(73) 专利权人 德尔福技术有限责任公司  
地址 美国密歇根州

(72) 发明人 M·斯塔希尼克 D·凯斯拉尔  
K·科格特

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127  
专利代理师 黄纶伟

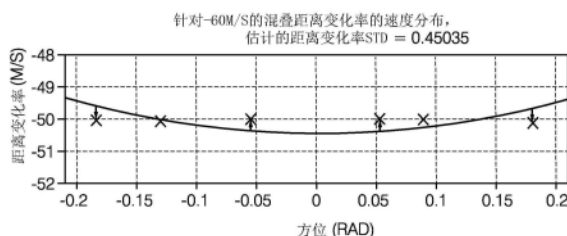
权利要求书2页 说明书11页 附图16页

(54) 发明名称

确定目标的去混叠距离变化率的方法

(57) 摘要

确定目标的去混叠距离变化率的方法。一种由配有雷达系统的主车辆确定目标在水平面中的去混叠距离变化率的方法包括：在单个时间点实例发射雷达信号并根据雷达传感器单元捕获的点雷达检测测量值确定每个点检测的方位和距离变化率；针对每个点检测确定补偿的距离变化率；确定速度分布假设；基于补偿的距离变化率确定修改的补偿假设距离变化率；确定距离变化率方程式的纵向和横向分量；确定速度分布估计量距离变化率；确定速度分布估计量距离变化率和修改的距离变化率的离散度或之间的变化的量度，或速度分布分量的一个或二者的离散度或之间的变化的量度，选择离散度或变化的量度最低的速度分布；将去混叠距离变化率设置为所选速度假设的速度。



1. 一种由配备有雷达系统的主车辆确定目标在水平面中的去混叠距离变化率的方法, 所述雷达系统包括适于接收从所述主车辆发射并被所述目标反射的信号的雷达传感器单元, 所述方法包括:

a) 在单个时间点发射雷达信号, 并且根据从所述雷达传感器单元捕获的多个点雷达检测测量值确定针对每个点检测的方位和距离变化率的值 $[\theta_i, \dot{r}_i]$ ;

b) 针对每个点检测, 通过以下方程式根据步骤a) 的输出以及车辆速度或传感器单元速度确定补偿的距离变化率值

$$\dot{r}_{i,cmp} = \dot{r}_i + u_s \cos \theta_i + v_s \sin \theta_i$$

其中,  $\dot{r}_{i,cmp}$  是补偿的距离变化率值,  $u_s$  是主车辆纵向速度或传感器纵向速度, 并且  $v_s$  是主车辆横向速度或传感器横向速度;

c) 确定多个预设的速度分布;

d) 针对每个预设的速度分布, 通过以下方程式基于由步骤b) 确定的所述补偿的距离变化率值确定关于所述目标上的每个点检测的修改的补偿的距离变化率:

$$\dot{r}_{i,j,cmp} = \dot{r}_{i,cmp} + j\dot{r}_{ua}$$

其中,  $\dot{r}_{i,j,cmp}$  是修改的补偿的距离变化率,  $\dot{r}_{ua}$  是测量的距离变化率的间隔;

e) 针对每个第j个预设的速度分布, 根据步骤d) 和步骤a) 的结果确定所述目标的距离变化率方程式的纵向分量和横向分量的值 $\tilde{c}_{t,j}$  和 $\tilde{s}_{t,j}$ , 其中, 波浪符~表示最小二乘解, 所述距离变化率方程式是:

$$\dot{r}_{i,j,cmp} = [\cos \theta_i \quad \sin \theta_i] \begin{bmatrix} \tilde{c}_{t,j} \\ \tilde{s}_{t,j} \end{bmatrix}$$

f) 针对每个第j个预设的速度分布并针对每个点检测, 确定通过以下方程式计算的速度分布估计量距离变化率

$$\hat{\dot{r}}_{i,j,cmp} = \tilde{c}_{t,j} \cos \theta_i + \tilde{s}_{t,j} \sin \theta_i$$

其中,  $\hat{\dot{r}}_{i,j,cmp}$  是速度分布估计量距离变化率, 通过步骤a) 确定 $\theta_i$  的值, 并且通过步骤

e) 确定速度分布分量的值 $\tilde{c}_{t,j}$  和 $\tilde{s}_{t,j}$ ;

g) 针对每个预设的速度分布, 针对一个或更多个点检测, 确定来自步骤f) 的针对每个预设的速度分布的所述速度分布估计量距离变化率和来自步骤d) 的它们各自的修改的补偿的距离变化率的离散度的量度或它们之间的变化的量度, 或者针对每个预设的速度分布的所述速度分布分量 $\tilde{c}_{t,j}$  和 $\tilde{s}_{t,j}$  中的一个或二者的离散度的量度或它们之间的变化的量度, 并且选择其中所述离散度的量度或所述变化的量度最低的速度分布;

h) 将所述去混叠距离变化率设置为通过步骤g) 选择的预设的速度分布的速度。

2. 根据权利要求1所述的方法, 其中, 所述雷达系统包括四个雷达传感器单元, 所述雷达传感器单元中的每一个都适于执行根据权利要求1所述的方法。

3. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,根据最小二乘法确定速度分布分量 $\tilde{c}_{t,j}$ 和 $\tilde{s}_{t,j}$ 。

4. 根据权利要求1所述的方法,该方法包括针对每个预设的速度分布确定来自步骤f)的所述速度分布估计量距离变化率的值与来自步骤d)的所述各自的修改的补偿的距离变化率的值之间的差的关于每个点检测的所述离散度的量度或平均值的量度。

5. 根据权利要求1所述的方法,所述离散度的量度或变化的量度通过以下方程式来确定,其中,n是在计算中使用的点检测的数量:

$$\frac{\sum_1^n (\hat{r}_{i,j,cmp} - \hat{r}_{i,j,cmp})^2}{n-2}。$$

## 确定目标的去混叠距离变化率的方法

### 技术领域

[0001] 本公开涉及一种确定目标(诸如另一车辆)的去混叠距离变化率的车载方法。

### 背景技术

[0002] 通常,(主)车辆可以配备有用于对车辆附近的环境进行分类的雷达系统,例如,检测车辆周围的移动或静止的对象。这样的系统被用于例如估计用于汽车感知系统的其它车辆的运动状态,并且可以用于主动安全、驾驶员辅助和自动驾驶应用。

[0003] 通常,这样的系统可以包括多普勒雷达方法,其中通常通过应用快速傅里叶变换方法来在频域检测和分析反射的雷达信号。因此通常通过将快速傅里叶变换应用于从环境捕获的基带信号来提取多普勒雷达测量值。通常,结果被分成许多频率范围-通常称为区间(bins)。频率跨度受设计限制。这导致明确的距离变化率测量的有限间隔。超出该频率跨度的测量值落入与目标速度不直接对应的FFT区间中。这是距离变化率混叠的现象。需要确定适当的混叠周期或距离变化率来校正相对速度的测量值;即,在主车辆与目标(诸如,另一车辆或对象)之间。这种校正的过程被称为去混叠。解决距离变化率测量值混叠的标准方法是及时跟踪目标并且基于目标位置的变化确定合适的混叠周期。

[0004] 本发明的目的是提供一种用于在单个时间实例(instance)对距离变化率瞬间去混叠的改进方法。应用所提出的解决方案的基本条件是存在由多普勒雷达从单个目标(这种目标通常被称为分布式/刚性目标)捕获的多个点检测。

[0005] 因此,本发明的方面提供了一种用于瞬时去混叠针对分布式目标的(多普勒雷达的)距离变化率测量值的方法。

[0006] 本发明应用(例如)速度分布分布估计的合理性检查来确定适当的混叠周期。描述了包括必要的假设的用于瞬时去混叠的完整过程。

[0007] 本发明的目的是提供一种确定混叠距离变化率的方法,其不基于跟踪或过滤并因此不需要任何运动模型和初始化阶段。解决方案基于多普勒雷达的单个时间实例测量值提供去混叠距离变化率的计算。

### 发明内容

[0008] 在一方面,提供了一种由配备有雷达系统的主车辆确定目标在水平面中的去混叠距离变化率的方法,所述雷达系统包括适于接收从所述主车辆发射并被所述目标反射的信号

[0009] a) 在单个时间点实例发射雷达信号,并且根据从所述雷达传感器单元捕获的多个(m个)点雷达检测测量值,确定针对每个点检测的方位和距离变化的值 $[\theta_i, \dot{r}_i]$ ;

[0010] b) 针对每个点检测,通过以下方程式根据步骤a)的输出和车辆或传感器单元速度确定补偿的距离变化率值( $\dot{r}_{i,cmp}$ )

[0011] 
$$\dot{r}_{i,cmp} = \dot{r}_i + u_s \cos \theta_i + v_s \sin \theta_i$$

[0012] 其中,  $u_s$  是主车辆或传感器纵向速度, 并且  $v_s$  是主车辆或传感器横向速度;

[0013] c) 确定多个 ( $j$  个) 速度分布假设;

[0014] d) 针对每个 (第  $j$  个) 假设, 通过以下方程式, 基于由步骤 b) 确定的补偿的距离变化率值 ( $\dot{r}_{i,cmp}$ ), 确定关于目标上的每个点检测的修改的补偿的假设距离变化率 ( $\dot{r}_{i,j,cmp}$ ):

$$[0015] \quad \dot{r}_{i,j,cmp} = \dot{r}_{i,cmp} + j\dot{r}_{ua}$$

[0016] 其中,  $\dot{r}_{ua}$  是测得的距离变化率的间隔;

[0017] e) 针对每个第  $j$  个假设, 根据步骤 d) 和步骤 a) 的结果确定目标的距离变化率方程式的纵向分量和横向分量的值  $\tilde{c}_{t,j}$  和  $\tilde{s}_{t,j}$ , 其中, 距离变化率方程式是:

$$[0018] \quad \dot{r}_{i,j,cmp} = [\cos \theta_i \quad \sin \theta_i] \begin{bmatrix} \tilde{c}_{t,j} \\ \tilde{s}_{t,j} \end{bmatrix};$$

[0019] f) 针对每个第  $j$  个假设并针对每个点检测, 确定由以下方程式计算出的速度分布估计量距离变化率 ( $\hat{r}_{i,j,cmp}$ ):

$$[0020] \quad \hat{r}_{i,j,cmp} = \tilde{c}_{t,j} \cos \theta_i + \tilde{s}_{t,j} \sin \theta_i$$

[0021] 其中, 从步骤 a) 确定  $\theta_i$  的值并且从步骤 e) 确定速度分布分量的值  $\tilde{c}_{t,j}$  和  $\tilde{s}_{t,j}$ ;

[0022] g) 针对每个假设, 针对一个或更多个点检测, 确定来自步骤 f) 的针对每个速度分布假设的速度分布估计量距离变化率 ( $\hat{r}_{i,j,cmp}$ ) 和来自步骤 d) 的它们各自的修改的距离变化率 ( $\dot{r}_{i,j,cmp}$ ) 的离散度的量度或它们之间的变化的量度, 或者确定针对每个速度分布假设的速度分布分量  $\tilde{c}_{t,j}$  和  $\tilde{s}_{t,j}$  中的一个或二者的离散度 (或之间的变化) 的量度, 并且选择其中所述离散度或变化的量度最低的速度分布;

[0023] h) 将去混叠距离变化率设置为从步骤 f) 选择的速度假设的速度。

[0024] 速度分布分量  $\tilde{c}_{t,j}$  和  $\tilde{s}_{t,j}$  可以根据最小二乘法来确定;

[0025] 该方法可以包括针对每个速度假设确定来自步骤 f) 的速度分布估计量距离变化率的值与来自步骤 d) 的各自修改的假设距离变化率的值之间的差的 (关于每个点检测的) 离散度的量度或平均值。

[0026] 变化或离散度的所述量度可以通过以下方程式来确定, 其中  $n$  是在计算中使用的点检测的数量:

$$[0027] \quad \frac{\sum_1^n (\hat{r}_{i,j,cmp} - \dot{r}_{i,j,cmp})^2}{n-2}。$$

## 附图说明

[0028] 现在参照附图以举例的方式描述本发明, 其中:

[0029] -图1示出了目标坐标系;

[0030] -图2示出了车辆坐标系;

[0031] -图3示出了传感器坐标系;

[0032] -图4示出了目标车辆相对于主车辆的点检测;

[0033] -图5例示了如何在三个原始检测位置处计算速度矢量;

[0034] -图6示出了距离变化率测量值的混叠并且示出了测量的距离变化率相对于实际距离变化率的图；

[0035] -图7和图8示出了基本方法步骤的流程图；

[0036] -图9a示出了目标车辆情况，并且图9b和图9c示出了关于图9a的速度分布假设的图解表示；

[0037] -图10a示出了目标车辆情况，并且图10b和图10c示出了关于图10a的速度分布假设的图解表示；

[0038] -图11a示出了目标车辆情况，并且图11b和图11c示出了关于图11a的速度分布假设的图解表示；

[0039] -图12a、图12b和图12c示出了第一测试的结果，其总体示出相对于方位的距离变化率；

[0040] -图13a、图13b和图13c示出了第二测试的结果，其总体示出相对于方位的距离变化率。

## 具体实施方式

### [0041] 现有技术背景

[0042] 通常，主车辆配备有雷达系统，其中处理来自视场中的另一车辆的反射雷达信号(检测)以提供数据，以便确定方法中所使用的参数。为此需要各种条件和要求。目标(刚体/车辆)需要是分布式目标，即从同一目标提供多个检测；即基于原始雷达检测(即，距离变化率和方位)实时扩展目标(主要用于车辆跟踪)。如本文所使用的，术语“扩展目标”用于指呈现多个、间隔开的分散点的目标，因此术语“扩展目标”被理解为意指目标具有一定物理尺寸。不必从一次雷达扫描到下一次雷达扫描对各个分散点进行单独跟踪，因此在连续的雷达扫描中，分散点的数量可以是不同的数量和/或每个分散点在扩展目标上可以具有不同的位置。

[0043] 还假定由例如适于车辆(客车、卡车、摩托车、火车、电车等)的刚体模型来近似分布式目标，尽管其通常不适于易受伤害的道路使用者。

[0044] 由主车辆从目标(反射的)接收到的雷达检测提供关于主车辆上的雷达发送/接收元件/单元的位置的原始数据，并且可以给出检测的笛卡尔位置或极坐标(方位角、距离)。通过使用例如多普勒技术，还可以确定距离变化率。需要注意的是，来自该单次雷达观察的“原始数据”提供了在刚体上进行 $m$ 个点检测的每个第“ $i$ ”点的 $\theta_i$ -方位角、 $\dot{r}_i$ -原始距离变化率(或径向速度)的参数。这些是用于确定去混叠偏航率(yaw-rate)的参数，其中 $i=1, \dots, m$ 。要注意的是，术语瞬时或单次观察雷达数据将包括来自多普勒技术中的“线性调频(chirp)”的反射数据，其可以扫描例如长达2ms。通过该已知方法可以确定距离变化率。在随后的概念描述中，使用以下惯例和定义：

### [0045] 世界坐标系

[0046] 按照惯例，使用具有固定到空间中的一点的原点的惯性坐标系-假定坐标系不移动并且也不旋转。照惯例，坐标系是右手坐标系；Y轴与X轴正交，指向右侧；Z轴指向页面内并且正向旋转是向X轴的右侧；参见图1，其示出了具有原点1和非自身车辆2的这种坐标系。

### [0047] 车辆坐标系

[0048] 如图2所示,原点可以位于主车辆4的前保险杠3的中心处。X轴平行于车辆的纵向轴。坐标系是右手坐标系,Y轴与X轴正交,指向右侧,Z轴指向页面内并且正向旋转向X轴的右侧。

[0049] 传感器坐标系

[0050] 原点位于传感器单元/天线罩的中心处。X轴垂直于传感器天线罩,指向远离天线罩方向。坐标系是右手坐标系:Y轴与X轴正交,指向右侧;Z轴指向页面内;正向旋转向X轴的右侧。图3示出了传感器原点5。

[0051] 在本发明的各个方面以及现有技术中,主车辆的速度和偏航率被假定为已知。主车辆的对地(OTG)速度矢量被定义为:

$$[0052] \quad V_h = [u_h \quad v_h]^T$$

[0053] 其中, $u_h$ -主纵向速度,并且 $v_h$ -主横向速度

[0054] 车辆坐标系中的传感器安装位置和瞄准线角度也被认为是已知的;使用以下符号:

[0055]  $x_{s,VCS}$  -传感器安装位置、纵向坐标

[0056]  $y_{s,VCS}$  -传感器安装位置、横向坐标

[0057]  $\gamma_{s,VCS}$  -传感器瞄准线角度

[0058] 传感器对地(OTG)速度假定为已知(根据主车辆运动和传感器安装位置确定)。

[0059] 传感器速度矢量被定义为 $V_s = [u_s \quad v_s]^T$ ,其中 $u_s$ -传感器纵向速度,并且 $v_s$ -传感器横向速度。

[0060] 在每个雷达测量实例,雷达单元/传感器从目标捕获m个原始检测。每个原始检测由在传感器坐标系中表示的以下参数来描述:

[0061]  $r_i$ -距离(或径向距离)、 $\theta_i$ -方位角、 $\dot{r}_i$ -原始距离变化率(或径向速度)  $i=1, \dots, m$

[0062] 目标平面运动由每个原始检测位置处的目标对地速度矢量描述:

$$[0063] \quad V_{t,i} = [u_{t,i} \quad v_{t,i}]^T$$

[0064] 其中:

[0065]  $u_{t,i}$ -第i个原始检测的位置处的纵向速度

[0066]  $v_{t,i}$ -第i个原始检测的位置处的横向速度

[0067] 目标平面运动也可以由以下描述:

$$[0068] \quad V_{t,COR} = [\omega_t \quad x_{t,COR} \quad y_{t,COR}]^T$$

[0069] 其中:

[0070]  $\omega_t$ -目标偏航率

[0071]  $x_{t,COR}$ -目标的旋转中心的纵向坐标

[0072]  $y_{t,COR}$ -目标的旋转中心的横向坐标。

[0073] 图4例示了如何通过从同一刚体目标2捕获的主车辆4计算在原始检测位置(由附图标号6表示)处的速度向量。

[0074] 针对单个原始检测的距离变化率方程式如下给出:

$$[0075] \quad \dot{r}_i + u_s \cos \theta_i + v_s \sin \theta_i = u_{t,i} \cos \theta_i + v_{t,i} \sin \theta_i$$

[0076] 为了简化符号,补偿/修改距离变化率的概念被引入并定义为:

[0077]  $\dot{r}_{i,cmp} = \dot{r}_i + u_s \cos \theta_i + v_s \sin \theta_i$

[0078] 其中:

[0079]  $\dot{r}_{i,cmp}$  - 第*i*个原始检测的补偿的距离变化率

[0080] 那么该方程式被简化为:

[0081]  $\dot{r}_{i,cmp} = u_{t,i} \cos \theta_i + v_{t,i} \sin \theta_i$

[0082] 矢量形式的距离变化率方程式:

[0083]  $\dot{r}_{i,cmp} = [\cos \theta_i \quad \sin \theta_i] \begin{bmatrix} u_{t,i} \\ v_{t,i} \end{bmatrix}$

[0084] 具有两个系数的矢量形式的距离变化率方程式:

[0085] 其中:

[0086]  $c_t$  - 纵向距离变化率方程式系数

[0087]  $s_t$  - 横向距离变化率方程式系数

[0088] 速度分布用作距离变化率方程式系数同义词。

[0089] 估计值用帽符 (^) 表示并且最小二乘解用波浪符 (~) 表示。

[0090] 要解决的问题可以表述如下:基于多普勒雷达的单个时间实例测量值来计算去混叠距离变化率。多普勒雷达测量值通常通过将快速傅里叶变换应用于从环境捕获的基带信号来提取。频率跨度受设计限制。这导致明确的距离变化率测量值的有限间隔。

[0091] 现有技术

[0092] 本部分简要回顾公共领域中可获得的文献和公司内部报告。本ROI中提出的方法的构建块得到了承认,并确定了其来源。

[0093] 云算法

[0094] 已经考虑了直线移动分布式目标的情况。这种限制简化了估计问题,因为每个原始检测位置处的速度矢量是相同的,即:

[0095]  $V_{t,i} = [u_{t,i} \quad v_{t,i}]^T = [u_t \quad v_t]^T = V_t$  其中,  $i=2, \dots, m$

[0096] 云算法(CA)被提出用以估计来自同一目标的检测的“云”的对地横向 $v_t$ 速度和纵向 $u_t$ 速度。

[0097] 这是通过对如下定义的问题的最小二乘解来实现的:

[0098]  $\dot{r}_{i,cmp} = [\cos \theta_i \quad \sin \theta_i] \begin{bmatrix} u_t \\ v_t \end{bmatrix}$

[0099] 该算法被证明是针对瞬时估计目标速度的非常有效的技术。

[0100] 在2013年土耳其伊斯坦布尔的第16届国际信息融合会议论文集中的D.Kellner、M.Barjenbruch、K.Dietmayer、J.Klappstein、以及J.Dickmann的“Instantaneous lateral velocity estimation of a vehicle using Doppler radar”中,考虑了用于估计直线移动对象的横向速度的相同问题和相同的理论基础。作者借助执行RANSAC算法识别异常值来提出对云算法的增强:执行正交距离回归(ODR)以解决原始问题修改后的公式中的变量带误差问题。

[0101] 与原始云算法解相比,这些作者证明了其解的稳健性的提高。计算复杂性和解决优化问题的要求是所提出的方法的主要缺点,尤其是当要考虑生产嵌入式系统中的应用



时。

[0102] 针对偏航目标的云算法解

[0103] 研究了在没有对直线路径进行限制的情况下对目标的运动应用云算法。这种情况如图5所示。如下确定每个检测位置6处的对地速度矢量：

$$[0104] \quad \begin{bmatrix} u_{t,i,scs} \\ v_{t,i,scs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (y_{t,COR,scs} - y_{t,i,scs})\omega_t \\ (x_{t,i,scs} - x_{t,COR,scs})\omega_t \end{bmatrix}$$

[0105] 针对每个原始检测的距离变化率方程式被推导为：

$$[0106] \quad \dot{r}_{i,cmp} = (y_{t,COR,scs} - y_{t,i,scs})\omega_t \cos \theta_i + (x_{t,i,scs} - x_{t,COR,scs})\omega_t \sin \theta_i$$

[0107] 可以对该方程式进行简化,因为：

$$[0108] \quad y_{t,i,scs} \cos \theta_i = r_{t,i} \sin \theta_i \cos \theta_i = x_{t,i,scs} \sin \theta_i$$

$$[0109] \quad \dot{r}_{i,cmp} = (y_{t,COR,scs})\omega_t \cos \theta_i + (-x_{t,COR,scs})\omega_t \sin \theta_i$$

[0110] 应注意,在上述方程式中,距离测量被取消,并且不支持速度估计。

[0111] 然后,结果表明对该问题的最小二乘解是：

$$[0112] \quad \tilde{c}_{t,scs} = (y_{t,COR,scs})\omega_t$$

$$[0113] \quad \tilde{s}_{t,scs} = (-x_{t,COR,scs})\omega_t$$

$$[0114] \quad \dot{r}_{i,cmp} = [\cos \theta_i \quad \sin \theta_i] \begin{bmatrix} c_t \\ s_t \end{bmatrix}$$

[0115] 速度的估计量是：

$$[0116] \quad \tilde{u}_{t,i,scs} = \tilde{c}_{t,scs} + (-y_{t,i,scs})\omega_t$$

$$[0117] \quad \tilde{v}_{t,i,scs} = \tilde{s}_{t,scs} + (x_{t,i,scs})\omega_t$$

[0118] 虽然最小二乘法解不估计速度矢量本身,但在偏航目标情况下,其可以被视为有偏速度矢量估计量。因此,在如下两种情况下速度分布估计都可以用作速度矢量估计的有用信息:直线移动目标和偏航目标。应注意,目标的旋转中心由附图标号7表示。

[0119] 图6示出了距离变化率测量值的混叠并且示出了测量的距离变化率相对于实际距离变化率的图。从Y轴可以看出,测量的距离变化率从+25的额定值延伸至-45,如大括号所示。因此,测量距离变化率的间隔为70。该间隔由雷达规格确定并且在下文的计算中是重要的。

[0120] 本发明提供了一种用于瞬时去混叠分布式目标的(多普勒雷达)距离变化率测量值的方法。

[0121] 示例1

[0122] 步骤1

[0123] 在初始步骤中,该方法包括在单个时间点实例发射雷达信号,并且根据在所述单个雷达测量实例中从所述雷达传感器单元捕获的多个(m个)点雷达检测测量值确定针对每个点测量的方位和距离变化率的值 $[\theta_i, \dot{r}_i]$ ;因此,存在由多普勒雷达从单个目标(这样的目标通常被称为分布式目标)捕获的多个点检测,如图4所示。

[0124] 步骤2

[0125] 在下一步骤中,计算由传感器速度补偿的距离变化率：

[0126]  $\dot{r}_{i,cmp} = \dot{r}_i + u_s \cos \theta_i + v_s \sin \theta_i$

[0127] 其中：

[0128]  $\dot{r}_i$  - 原始距离变化率 (或径向速度)

[0129]  $\theta_i$  - 原始方位角

[0130]  $\dot{r}_{i,cmp}$  - 补偿的距离变化率

[0131]  $u_s$  - 主车辆或传感器纵向速度

[0132]  $v_s$  - 主车辆或传感器横向速度。

[0133] 步骤3

[0134] 在下一步骤中, 计算/确定多个合理的速度分布假设。速度分布假设的数量可以根据目标的期望对地速度幅度的范围来计算。对于汽车应用, -250km/h至250km/h的间隔是足够的。针对预期速度的给定最大界限, 可以计算最大和最小可能距离变化率。

[0135] 步骤3

[0136] 针对每个第j个假设, 关于(刚性)目标上的每个点检测, 计算(主车辆与目标之间的)修改的距离变化率: 应当注意的是, 如果测量的径向速度(距离变化率)等于 $r_i$ , 则实值接近针对径向速度的假设中的一个

[0137]  $\dot{r}_{i,j,cmp} = \dot{r}_{i,cmp} + j\dot{r}_{ua}$

[0138]  $\dot{r}_{i,cmp}$  - 补偿的距离变化率

[0139]  $\dot{r}_{i,j,cmp}$  - 修改的补偿的距离变化率(假设的距离变化率)

[0140]  $\dot{r}_{ua}$  - 距离变化率测量的明确间隔(来自雷达指标)见图6。

[0141] j是假设整数并且必须是正数或负数。

[0142]  $\dot{r}_{ua}$ 是测量的距离变化率的间隔, 是图6的上限和下限之间的差值, 并且取决于雷达规格。

[0143] 步骤4

[0144] 针对每个第j个假设, 使用例如上面提到的最小二乘法/云算法计算假设的速度分布分量 $c_{t,j}$ 和 $s_{t,j}$ 。根据距离变化率和方位角 $\theta$ 确定这些速度分量的各种方法是已知的

[0145]  $\dot{r}_{i,j,cmp} = [\cos \theta_i \quad \sin \theta_i] \begin{bmatrix} c_{t,j} \\ s_{t,j} \end{bmatrix}$  (云/速度分布/)。

[0146] 步骤4

[0147] 在下一步骤中, (根据所确定的速度分布估计量) 计算速度分布估计的距离变化率 $\hat{r}_{i,j}$ ,

[0148] 这可以使用下面的方程式完成:

[0149]  $\hat{r}_{i,j,cmp} = \tilde{c}_{t,j} \cos \theta_i + \tilde{s}_{t,j} \sin \theta_i$ 。

[0150] 步骤5

[0151] 下一步骤涉及确定步骤f) 中每个速度分布假设的速度分布估计量距离变化率( $\hat{r}_{i,j,cmp}$ )与它们各自修改的距离变化率( $\dot{r}_{i,j,cmp}$ )之间的差值的离散度的量度。因此, 针对每个第j个假设, 确定(针对点检测“i”)的速度分布估计量距离变化率与修改的计算距离变化

率之间的(例如,无偏)离散度。这可以被视为确定距离变化率估计的方差的估计量。

[0152] 基本上,这可以通过针对每个假设普遍查看点检测的 $\hat{r}_{i,j,cmp}$ 和 $\hat{r}_{i,j,cmp}$ 之间的差(残差)并选择给出最低的整体偏差的速度假设来执行。因此,可以有效地分析残差以确定具有最低假设残差变化的残差。

[0153] 换言之,在该步骤中,选择“最佳”假设,并且可以以各种方式统计地完成,例如,通过统计地分析残差,诸如,残差的平均值、众数、中位数等。术语“确定方差的量度”在下文中应解释为包括所有这些选项。

[0154] 在一方面,由以下方程式确定(针对点检测“i”)速度分布估计量距离变化率与修改的计算距离变化率之间的方差:

$$[0155] \quad \hat{\sigma}_{r,j}^2 = \frac{\sum_1^n (\hat{r}_{i,j,cmp} - \hat{r}_{i,j,cmp})^2}{n-2}。$$

[0156] 步骤6

[0157] 找到具有距离变化率估计的最低标准偏差或方差的速度分布假设。假设的速度分布是去混叠距离变化率。

[0158] 进一步细化

[0159] 为了改进和稳健性,例如,在步骤6之后,可以执行一个或多个合理性检查。可以使用合理性检查来最大化去混叠选择的速度分布的概率。如果所限定的合理性检查不符合,那么说距离变化率不能去混叠是更安全的。可以有多个合理性检查:

[0160] a) 确定检测的方位扩展,并且与阈值进行比较。方位扩展应该高于阈值。

[0161] b) 计算最小二乘估计量的决定因子并且与阈值进行比较;这应该高于阈值。

[0162] c) 计算残差的标准差并且与阈值进行比较;其应该低于指定的阈值。

[0163] d) 确定残差的标准差低于阈值的速度分布假设的数量。只有一个标准差应低于该阈值。

[0164] e) 通过统计测试确定残差的最低标准差,以确定该最低标准差与第二低标准差之间是否存在显著差异。

[0165] 实现示例

[0166] 已经实现根据示例的方法并且用于验证速度分布的去混叠状态。当这种验证无法从跟踪算法得到时应用了这种方法(及时去混叠)。在对象假设实现中,利用两个合理性检查(7b、7c)只考虑一个(j=0)速度分布假设。

[0167] 图7示出了基本方法步骤的流程图。该方法开始并且在步骤S1中假设速度分布。在步骤S2中分析检测。在步骤S3中,针对速度分布和检测数据分析去混叠参数。在步骤S4中计算方差并且在步骤S5中确定最终结果。

[0168] 图8示出了通过速度分布分量的OH去混叠的执行路径。该过程从步骤S10开始。在步骤S11中,确定检测组的去混叠状态。如果确定没有被去混叠,则该过程移至步骤S12,在步骤S12中确定决定因子是否大于阈值以及是否存在足够数量的可靠检测。如果是,则过程移至步骤S13,在步骤S13中确定距离变化率方差是否大于方差去混叠阈值或者决定因子是否小于决定因子去混叠阈值。如果是,则该方法移至步骤S14,在步骤S14中速度分布计算被重置(使无效),并且然后进一步到S15,在步骤S15中,通过OH速度分析将所有检测的速度状态设置为拒绝状态。如果在步骤S13答案为否,那么该方法移至步骤S16,在步骤S16中将去

混叠值设置为“去混叠”状态(通过0H)。该过程在步骤S15和步骤S16之后移至S17最后一步。在步骤S12中,如果答案为否,则过程移至步骤S18,在步骤S18中速度分布估计被重置。在该步骤之后,该过程移至步骤S19,在步骤S19中经验证的检测的速度状态被设置为被0H速度分析拒绝。

[0169] 用实验数据验证

[0170] 使用实验数据验证所提出的去混叠算法的有效性。考虑三种不同情况。主车辆配备有安装在汽车的每个角的四个传感器。主车辆和目标车辆都配备有差分GPS系统。考虑三个相关的示例:

[0171] i) 没有偏航率的目标。

[0172] ii) 具有高偏航率的目标。

[0173] iii) 来自受混叠影响的分布式目标的距离变化率测量值。

[0174] 在前两个示例i)和ii)中,检查了根据本发明的一方面的方法是否可以验证,由于距离变化率混叠,速度分布不需要任何校正。第三个示例iii)检查具有混叠距离变化率测量值的目标的速度分布是否可以通过所要求保护的方法去混叠。

[0175] 示例i):在这种情况下,目标车辆超越主车辆31,如图9a所示。

[0176] 图9b和图9c示出了关于图9a的五个速度分布假设的图解表示。框31是具有针对前保险杠的中心(虚线32)指定的速度矢量的参考对象(用差分GPS测量)。线34表示速度矢量估计量的不同假设。十字35表示来自分布式目标的原始检测。

[0177] 下面的表1示出了示例1的实验结果

[0178] 表1

[0179]	假设索引(j)	-2	-1	0	1	2
	$\tilde{c}_{t,j}$ [m/s]	-131.4	-69.1	-6.6	55.8	118.3
[0180]	$\tilde{s}_{t,j}$ [m/s]	44.6	28.3	11.9	-4.42	-20.7
	$\hat{\sigma}_{r,j}$ [m/s]	3.86	1.95	0.13	1.9	3.81

[0181] 示例ii):

[0182] 这里,该情况是如图10a所示的十字路口演示;相同的部件具有相同的附图标号,并因此目标具有高偏航率。图10b和图10c(类似于具有相同的附图标号的图9b和图9c)和下面的表示出了五个速度分布假设估计的结果。

[0183] 表2:示例2的实验结果

[0184]	假设索引	-2	-1	0	1	2
	$\tilde{c}_{t,j}$ [m/s]	-131.5	-66.2	-0.9	64.3	129.7
	$\tilde{s}_{t,j}$ [m/s]	15.5	6.78	-1.99	-10.7	-19.5
	$\hat{\sigma}_{r,j}$ [m/s]	7.23	3.63	0.07	3.57	7.16

[0185] 示例3

[0186] 如图11a所示,该情况是具有混叠距离变化率测量值的车辆迎面而来的情况,并且

图11b和图11c示出了五个速度分布假设估计(类似于具有相同附图标号的图9b和图9c)。并且下面的表3示出了该示例的实验结果。

[0187] 表3

假设索引	-2	-1	0	1	2
[0188] $\tilde{c}_{t,j}$ [m/s]	-197.4	-129.3	-61.31	6.75	74.8
$\tilde{s}_{t,j}$ [m/s]	-50.72	-29.76	-8.81	12.13	33
$\hat{\sigma}_{\dot{r},j}$ [m/s]	2.78	1.82	0.88	0.2	1.06

[0189] 这三个示例都证实了算法可以有效地用于速度分布的验证。

[0190] 由于速度分布方程式的最小二乘解的统计特性,该方法效果良好。

[0191] 正弦函数的通用方程式可写为:

$$[0192] \quad y = A \sin(\omega x + \varphi) + B$$

[0193] 其中:A-幅度,  $\omega$ -频率,  $\varphi$ -相移, B-偏移。

[0194] 速度分布方程式可写为:

$$[0195] \quad y = A \sin(x + \varphi)$$

[0196] 该方程式中有两个未知参数,所以必须至少有三次观察来计算残差的方差。而且,正弦函数的频率是恒定的并且等于1(即,  $\omega = 1$ ),并且偏移也是恒定的并且等于0(即,  $B = 0$ )。这两个特征非常重要。对于每个速度分布假设,距离变化率('y')增加明确距离变化率间隔的倍数。如果正弦方程式的偏移不是恒定的,那么针对不同假设检测的最小二乘解仅仅在相差偏移估计(不同的假设会导致相同的拟合质量,但是不同的B)。在提出的利用固定正弦函数偏移的方法中,针对不同假设的最小二乘解导致明显不同的速度矢量。由于这个事实,残差的方差是变化的。而且,如果明确的距离变化率测量值的间隔足够大,则估计的方差之间的差在统计上是明显的。

#### [0197] 结果1

[0198] 考虑 $V_x = 10\text{m/s}$ 和 $V_y = 0\text{m/s}$ 的目标的六个检测方法的示例。在第一实验中,无噪声测量值被用作输入。针对恰当速度分布假设的距离变化率估计的方差等于零。针对所有其它假设,方差大于零。图12a、图12b和图12c示出了该测试的结果,总体示出了速度假设分布分别为0、+60m/s和-60m/s时,相对于方位的距离变化率。参考标号40表示速度分布距离变化率并用十字交叉表示检测的距离变化率,并且二者之间的偏差用粗箭头表示。

[0199] 在第二实验中,使用以下雷达参数来模拟测量噪声和混叠:  $\sigma_r = 0.03 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$   $\sigma_\theta = 0.5 [^\circ]$   $\dot{r}_{res} = 60 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$ 。

[0200] 图13a、图13b和图13c分别示出了类似于图12a、图12b和图12c的该测试的等效图形。

[0201] 正如预期的那样,针对恰当的速度分布假设的距离变化率估计的方差大于0,但针对不恰当的混叠校正的方差仍然明显更高。图11a至图11c示出了没有距离变化率和方位测量噪声的情况下的方位-距离变化率坐标中的速度分布。考虑速度分布的三个假设。

[0202] 作为所提出的方法的另选方案,可以分析速度分布的方差( $\tilde{c}_{t,scs}$ 和 $\tilde{s}_{t,scs}$ ),而不是

距离变化率残差的方差。

[0203] 根据各方面的方法提供了针对迎面驶来车辆情况的速度的瞬时估计,并且减少被追踪对象的模糊速度估计的时间。这些方法改善了速度估计的合理性检查,并且在对象进入近距离传感器的视场时改善被追踪对象的初始化。该方法具有合理的统计背景并且不需要时间过滤/跟踪。该方法不需要检测目标的偏航并且也不需要依赖任何目标运动模型。由于其低计算复杂度,该方法适用于生产嵌入式系统的应用。该方法可以立即用于最先进的短程雷达中,用于对低距离处对象的估计。只有移动对象的更多的检测可用,或者雷达测量的准确度和分辨率得到改善,结果的准确性才能得到改善。

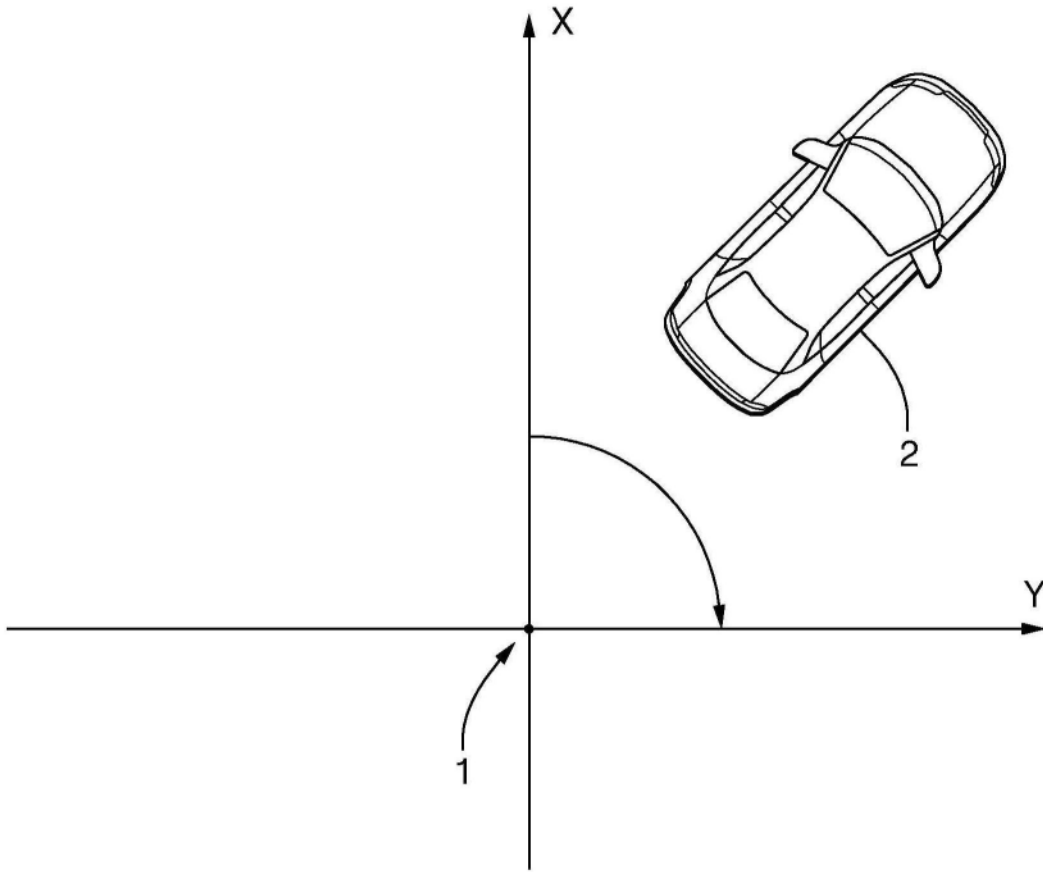


图1

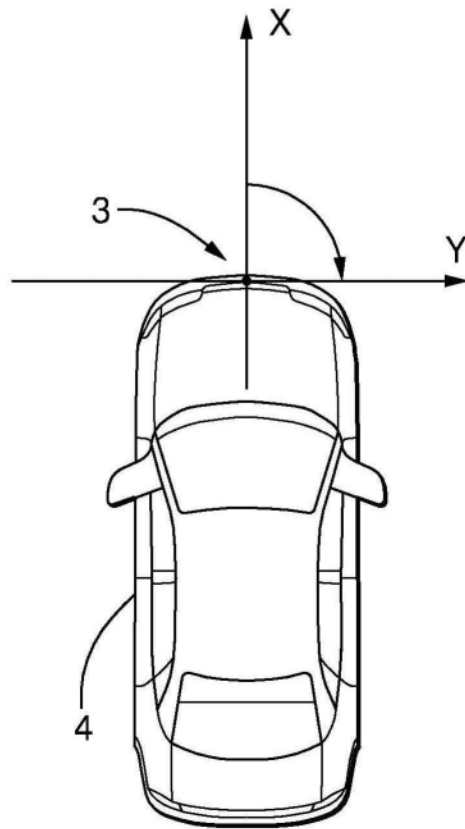


图2

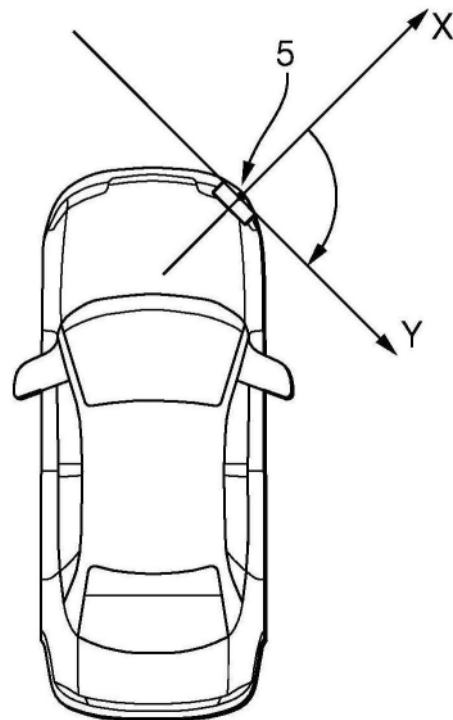


图3



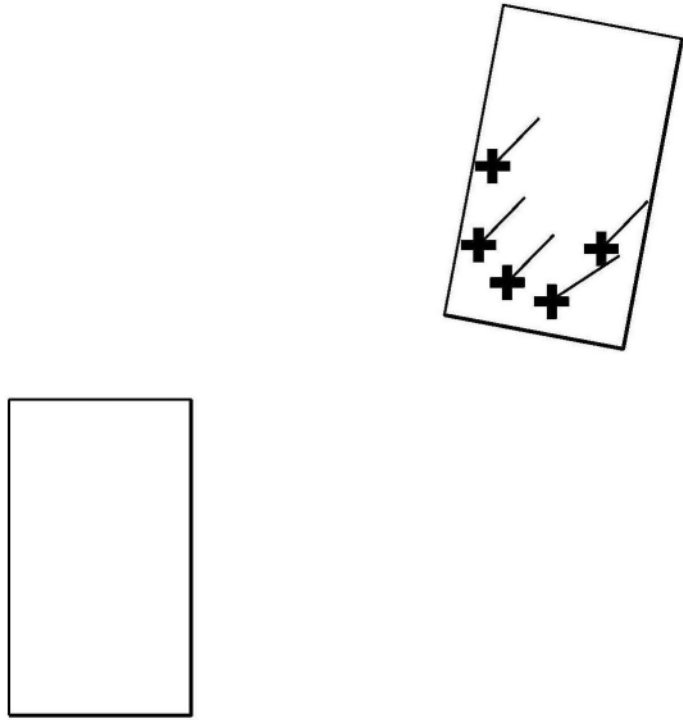


图4

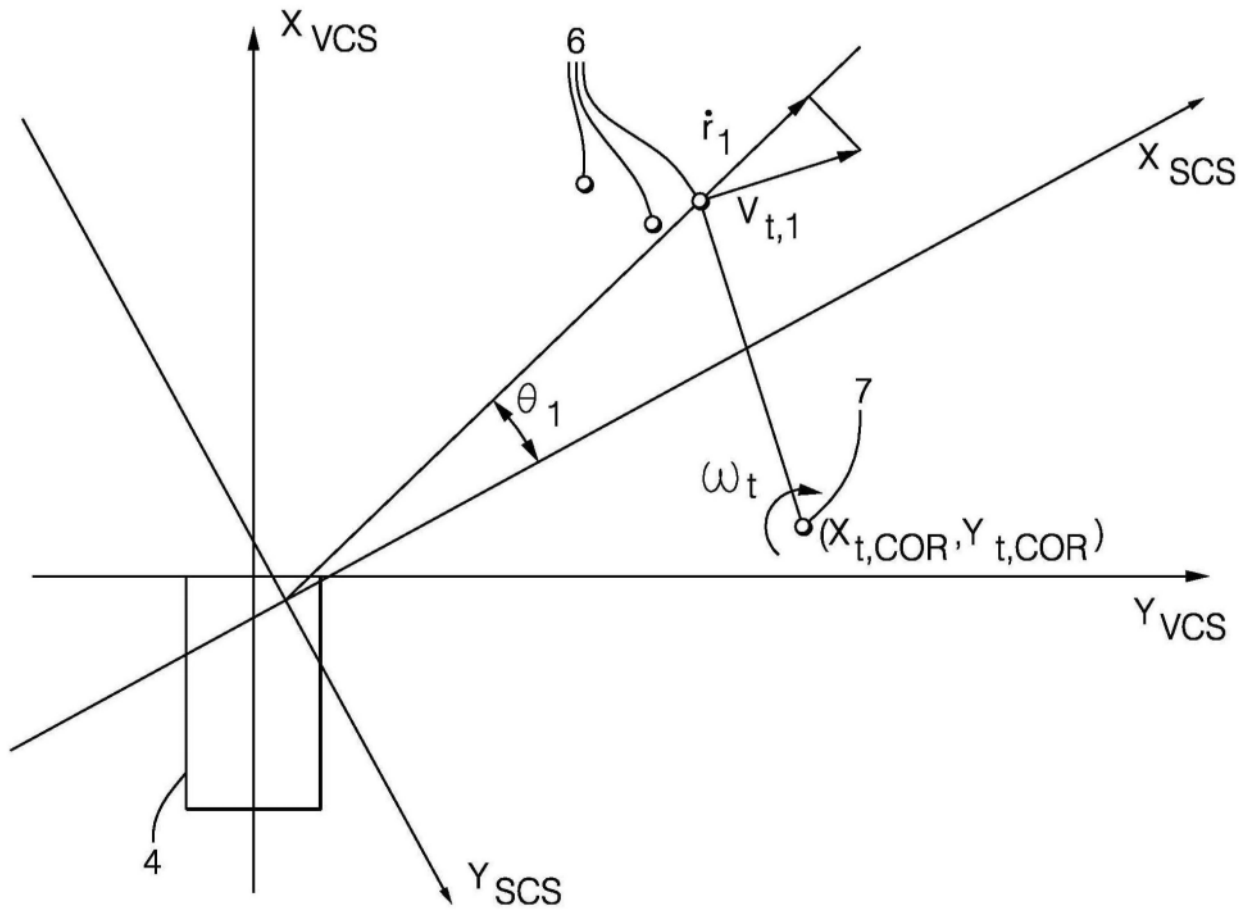


图5

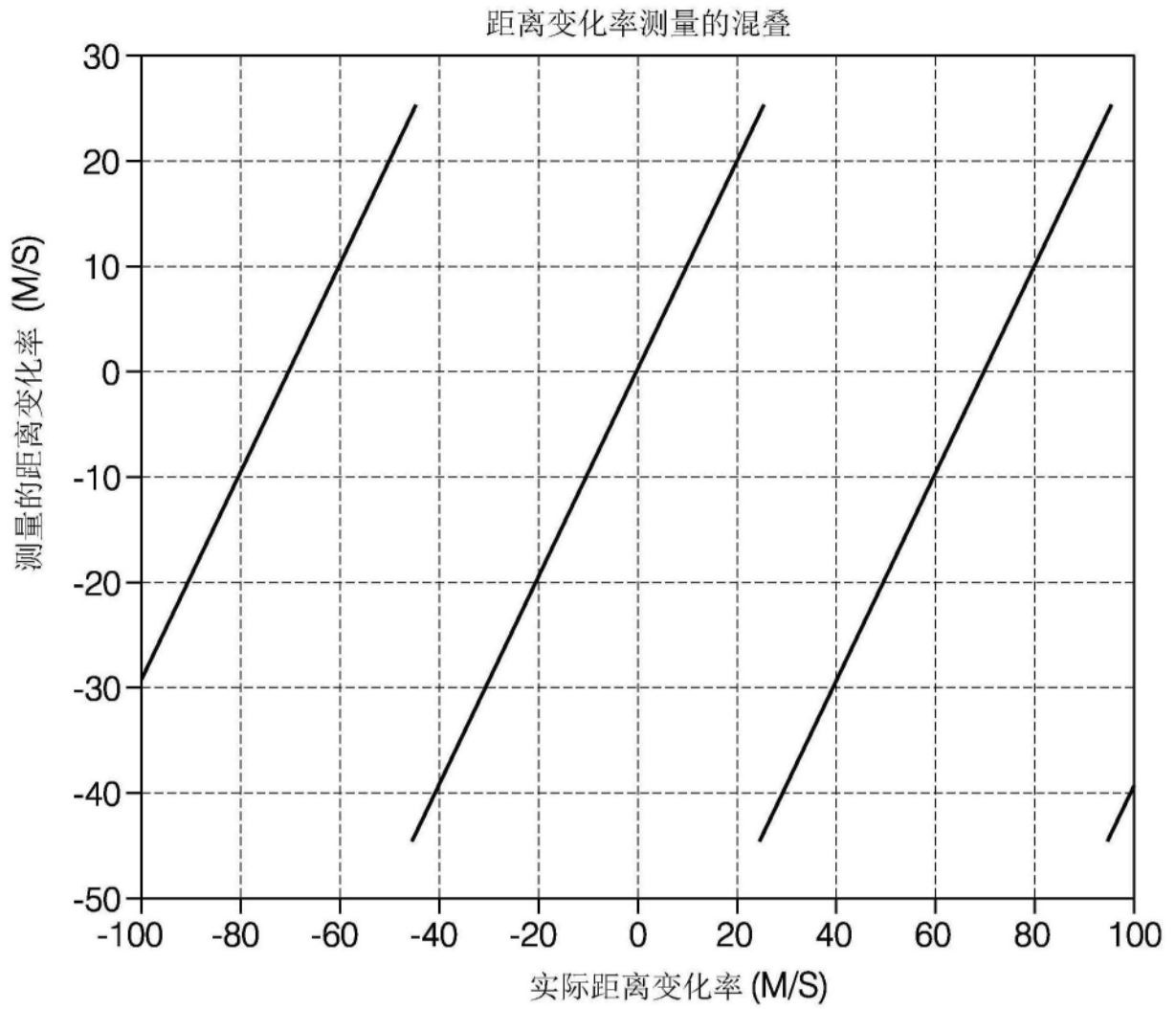


图6

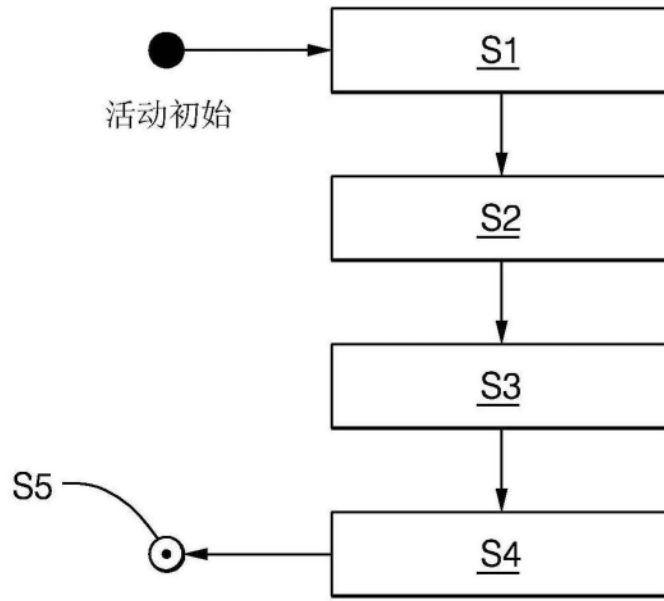


图7

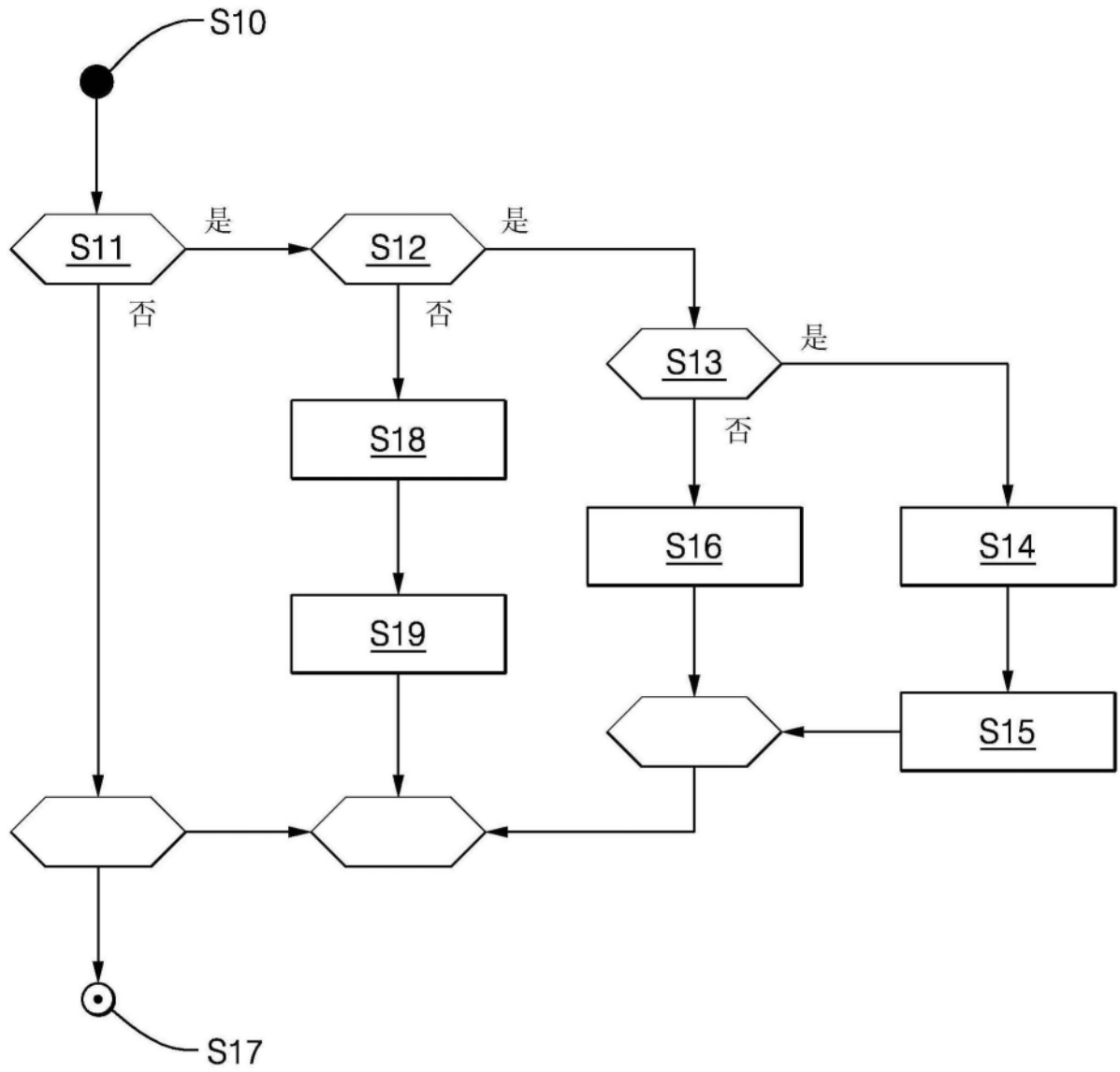


图8

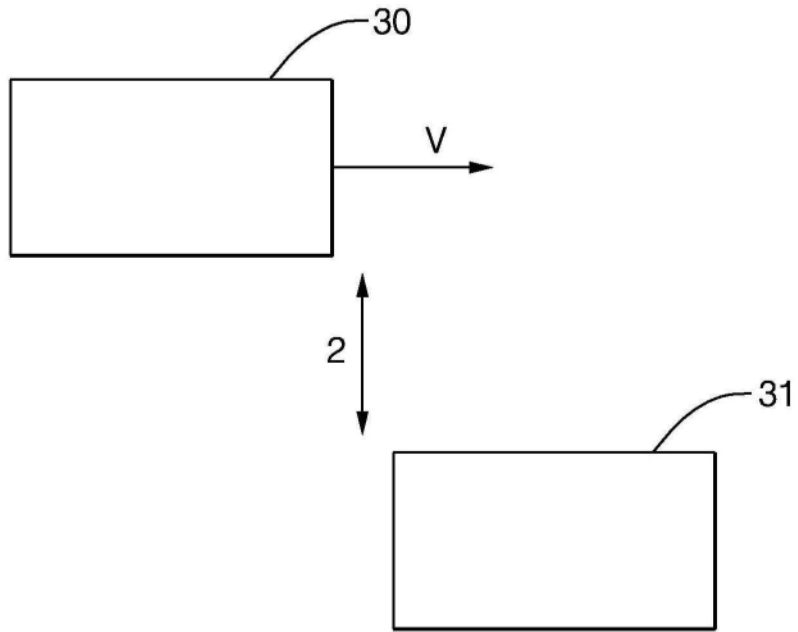


图9a

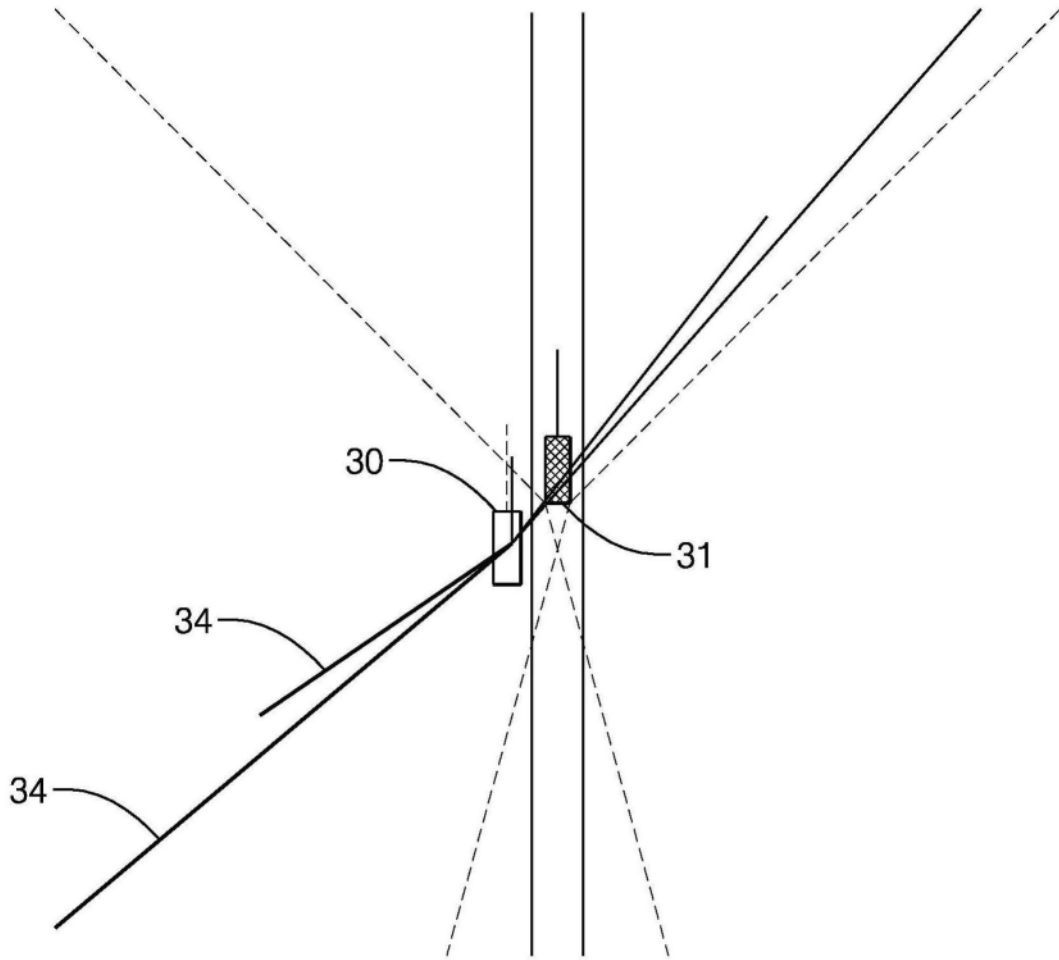


图9b

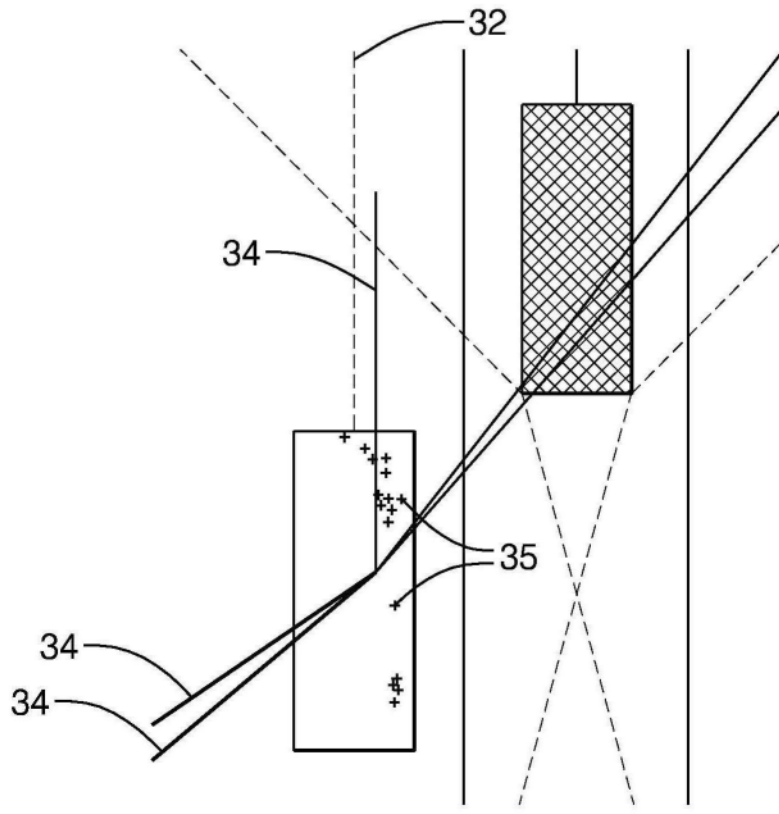


图9c

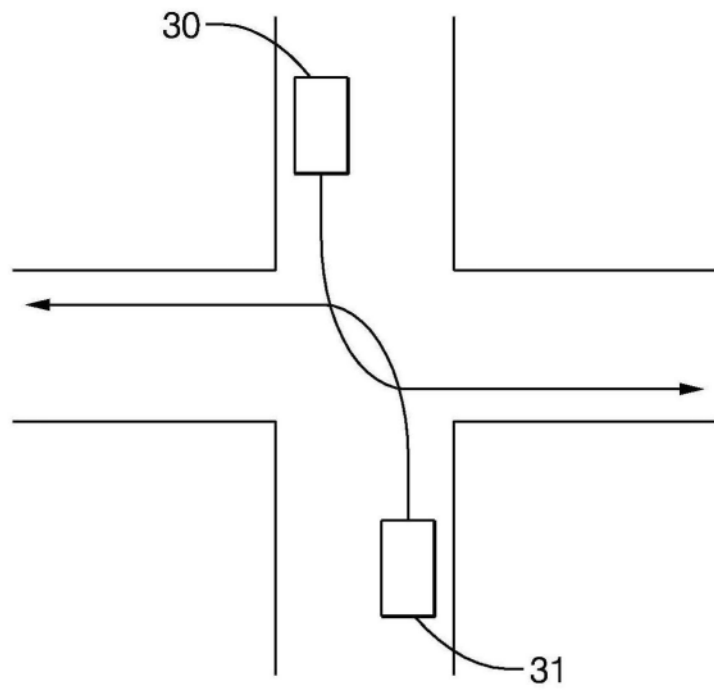


图10a



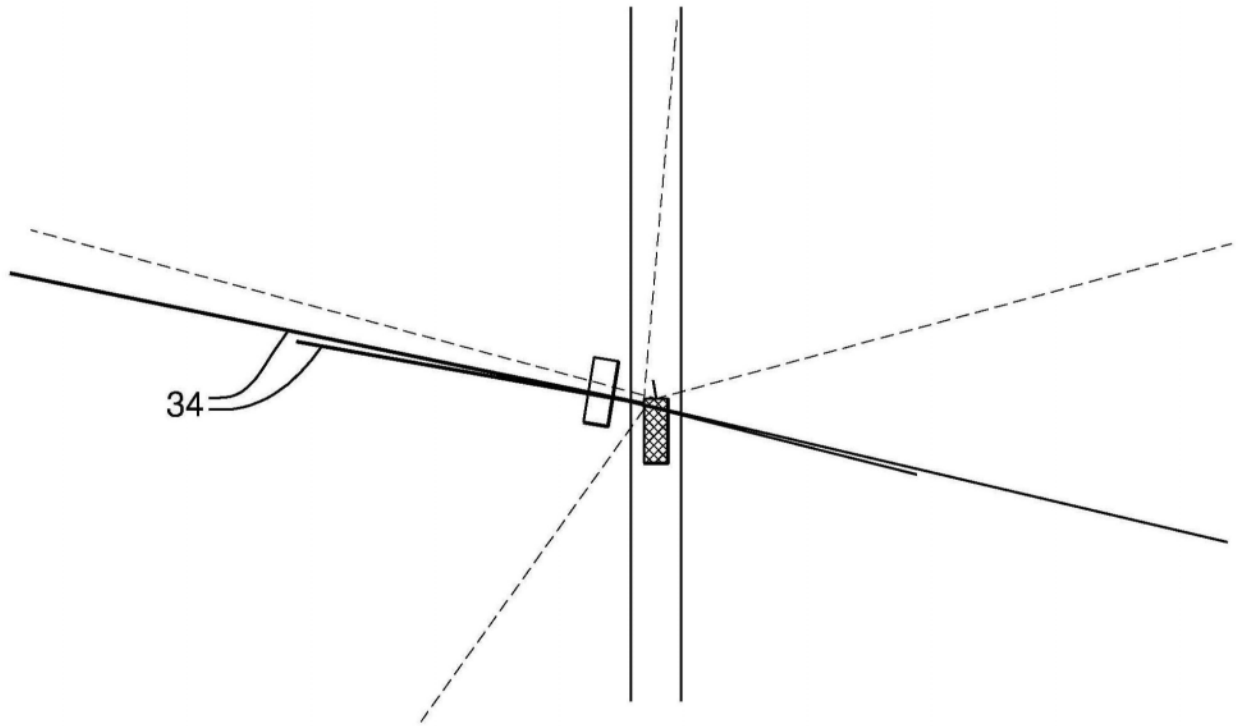


图10b

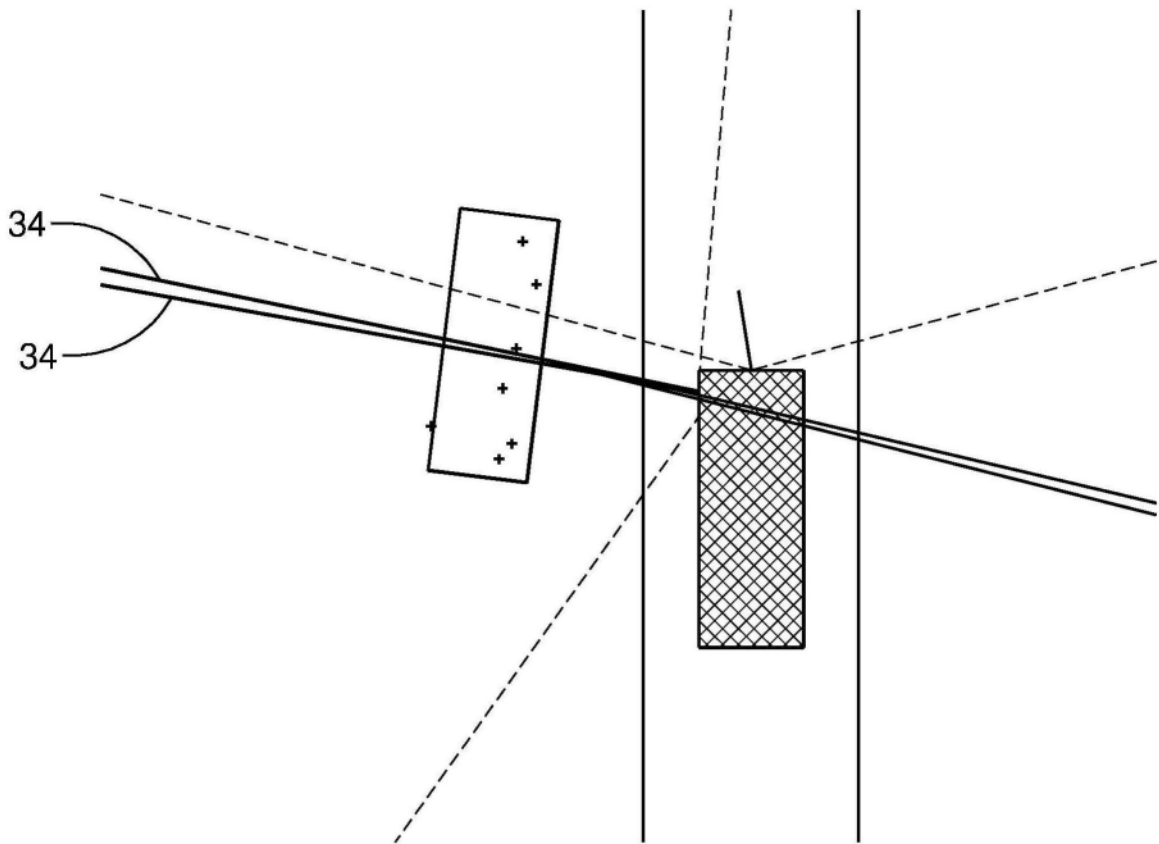


图10c

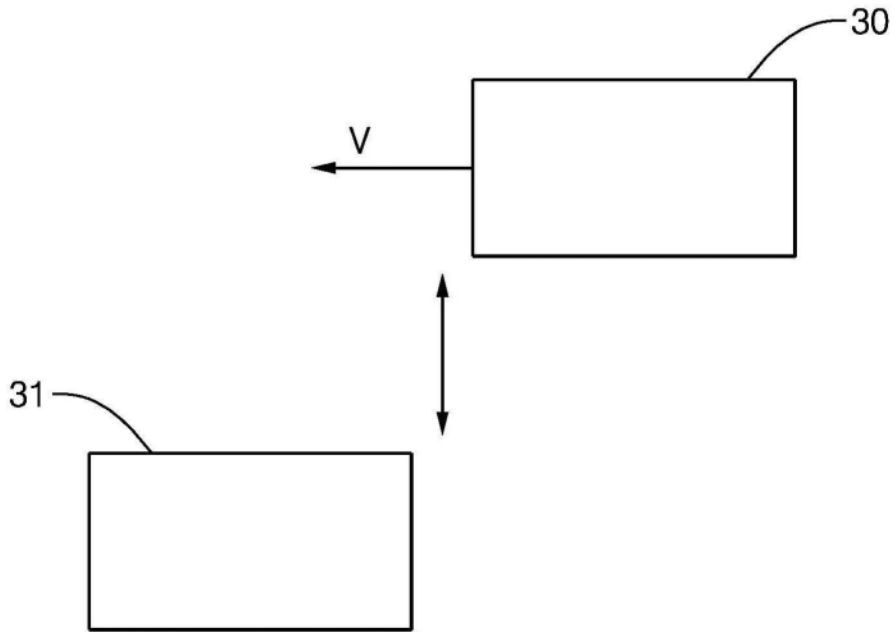


图11a

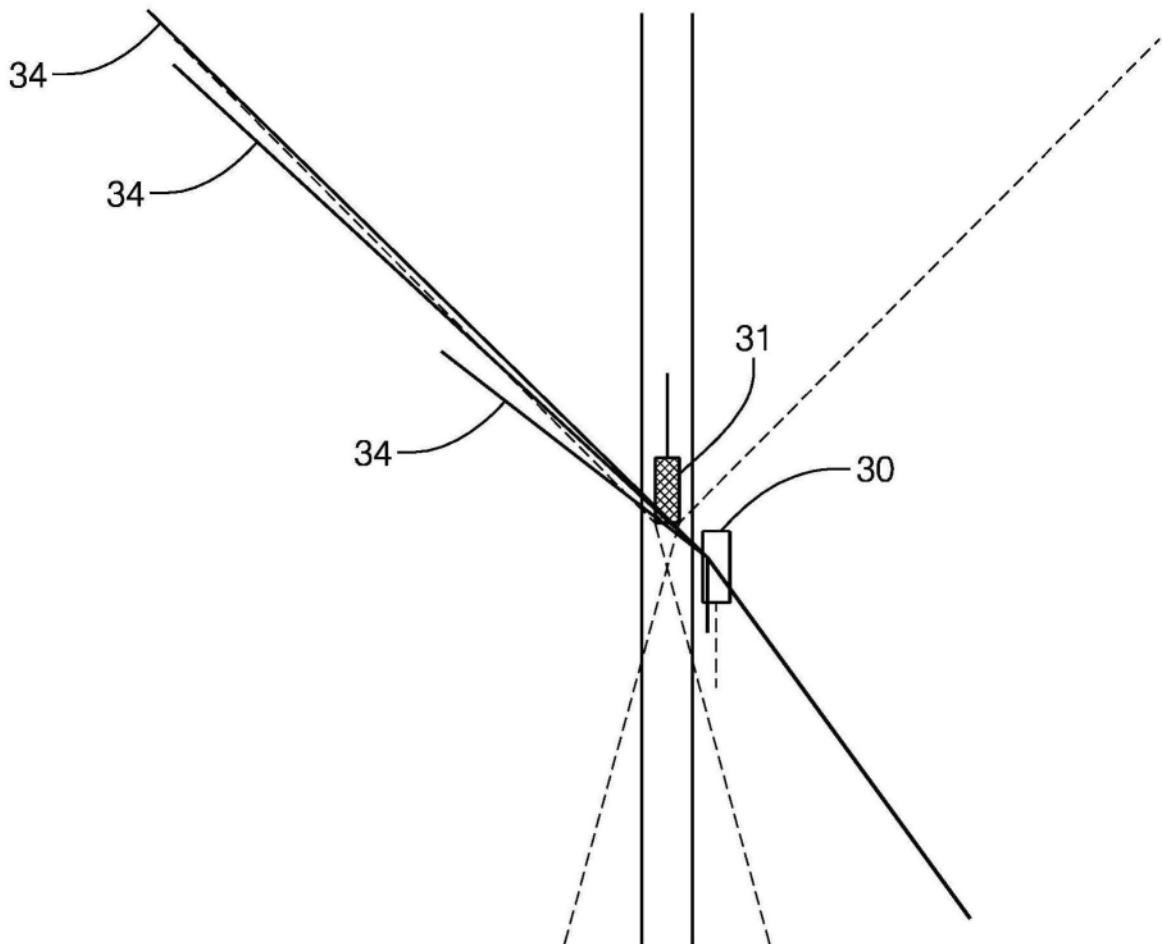


图11b

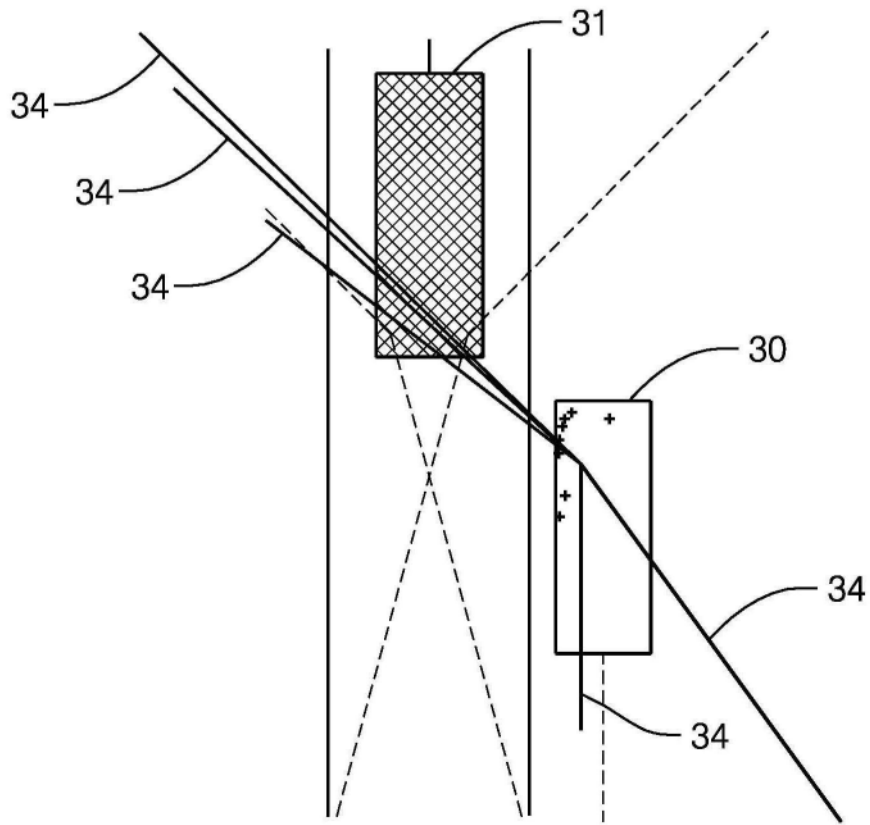


图11c

针对去混叠距离变化率的速度分布，  
估计的距离变化率STD = 0

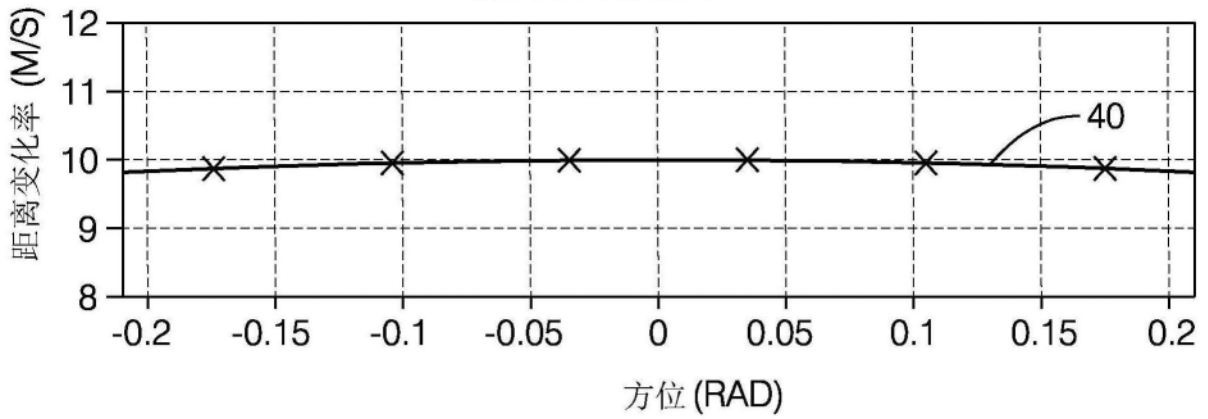


图12a

针对+60M/S的混叠距离变化率的速度分布，  
估计的距离变化率STD = 0.49864

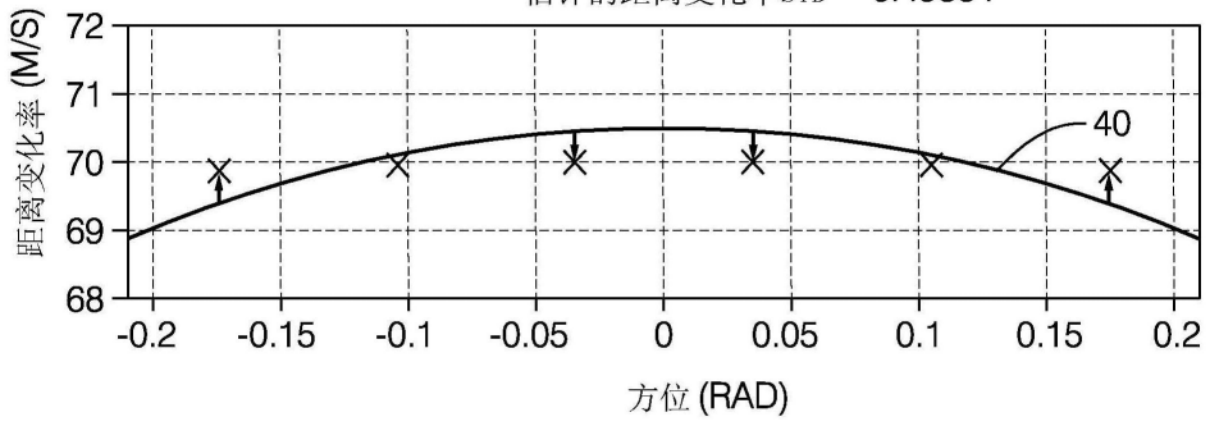


图12b

针对-60M/S的混叠距离变化率的速度分布，  
估计的距离变化率STD = 0.44864

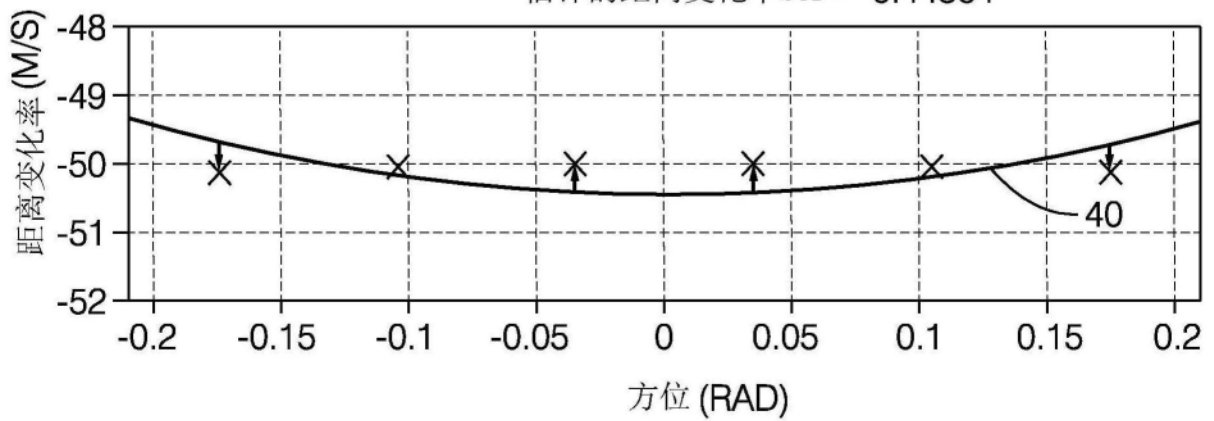


图12c

针对去混叠距离变化率的速度分布，  
估计的距离变化率STD = 0.037698

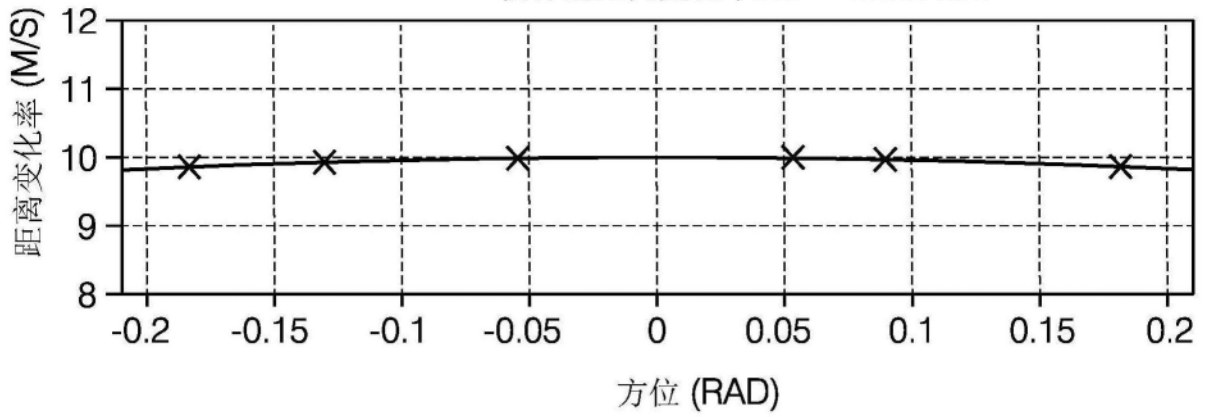


图13a

针对+60M/S的混叠距离变化率的速度分布，  
估计的距离变化率STD = 0.49857

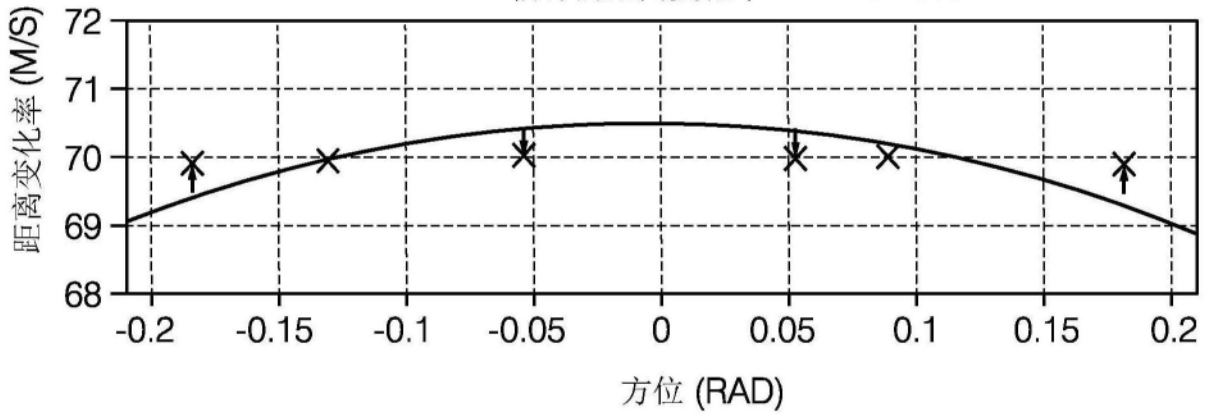


图13b

针对-60M/S的混叠距离变化率的速度分布，  
估计的距离变化率STD = 0.45035

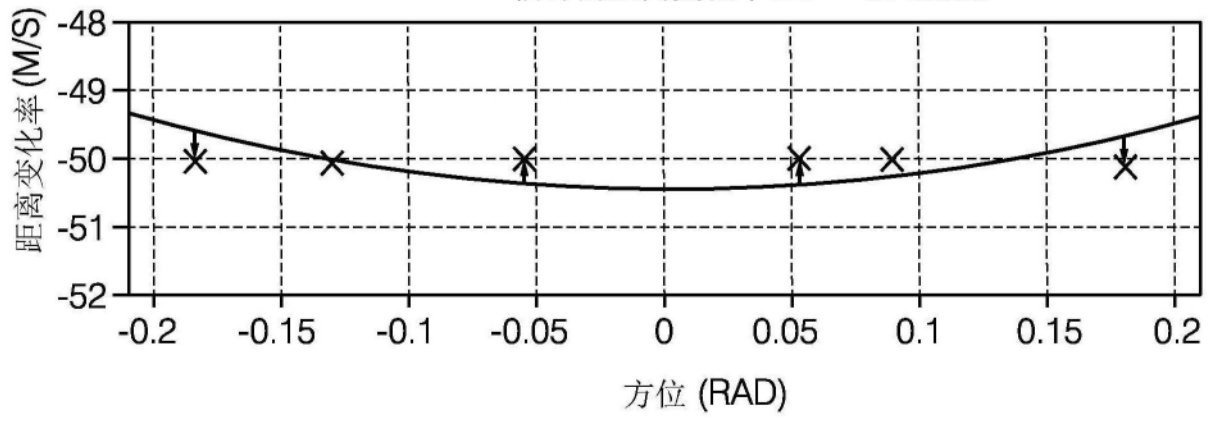


图13c