



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112834995 B

(45) 授权公告日 2024.03.22

(21) 申请号 202011611632.3

(22) 申请日 2020.12.30

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112834995 A

(43) 申请公布日 2021.05.25

(73) 专利权人 纵目科技(上海)股份有限公司
地址 201201 上海市浦东新区中国(上海)
自由贸易试验区祥科路111号3号楼8
楼803室

(72) 发明人 陈高翔 刘文杰 田原

(74) 专利代理机构 上海光华专利事务所(普通
合伙) 31219
专利代理师 庞红芳

(51) Int. Cl.
G01S 7/40 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 109507652 A, 2019.03.22

CN 110488234 A, 2019.11.22

CN 111220954 A, 2020.06.02

CN 111366901 A, 2020.07.03

CN 111665479 A, 2020.09.15

JP 2005181237 A, 2005.07.07

JP 2010066092 A, 2010.03.25

US 2018088228 A1, 2018.03.29

吴奋陟等. 基于标定场的激光雷达两步标定方法.《空间控制技术与应用》.2017,第43卷(第4期),57-62.

朱子甲;汪进;刘奎;王崇阳. 汽车后视毫米波雷达安装角标定系统设计研究.汽车实用技术.2017,(18),

审查员 陈文爽

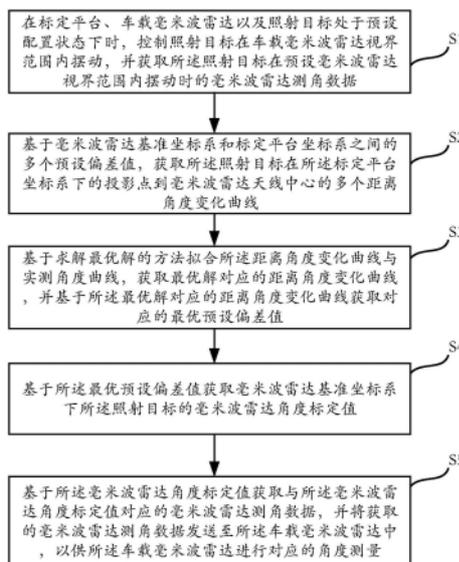
权利要求书3页 说明书11页 附图9页

(54) 发明名称

一种车载毫米波雷达角度标定方法、系统及电子设备

(57) 摘要

本发明提供一种车载毫米波雷达角度标定方法、系统及电子设备,所述方法包括:步骤S1,控制照射目标在车载毫米波雷达视界范围内摆动,并获取照射目标在预设毫米波雷达视界范围内摆动时的毫米波雷达测角数据;步骤S2,基于毫米波雷达基准坐标系和标定平台坐标系之间的多个预设偏差值,获取所述照射目标在所述标定平台坐标系下的投影点到毫米波雷达天线中心的多个距离角度变化曲线;步骤S3,拟合距离角度变化曲线与实测距离角度变化曲线,获取最优解对应的距离角度变化曲线,并获取对应的最优预设偏差值;步骤S4,基于最优预设偏差值获取毫米波雷达基准坐标系下照射目标的毫米波雷达角度标定值。本发明提高了车载毫米波雷达角度的标定效率和准确度。



1. 一种车载毫米波雷达角度标定方法,其特征在于:包括:

步骤S1,在标定平台、车载毫米波雷达以及照射目标处于预设配置状态下时,控制照射目标在车载毫米波雷达视界范围内摆动,并获取所述照射目标在预设毫米波雷达视界范围内摆动时的毫米波雷达测角数据;所述预设配置状态为:所述标定平台的旋转中心置于待标定的车载内装毫米波雷达正下方,所述标定平台的旋转杆臂末端固定所述照射目标,且所述照射目标的高度与所述车载毫米波雷达的高度相同;

步骤S2,基于毫米波雷达基准坐标系和标定平台坐标系之间的多个预设偏差值,获取所述照射目标在所述标定平台坐标系下的投影点到毫米波雷达天线中心的多个距离角度变化曲线;

步骤S3,基于求解最优解的方法拟合所述距离角度变化曲线与实测距离角度变化曲线,获取最优解对应的距离角度变化曲线,并基于所述最优解对应的距离角度变化曲线获取对应的最优预设偏差值;

步骤S4,基于所述最优预设偏差值获取毫米波雷达基准坐标系下所述照射目标的毫米波雷达角度标定值;

步骤S5,基于所述毫米波雷达角度标定值获取与所述毫米波雷达角度标定值对应的毫米波雷达测角数据,并将获取的毫米波雷达测角数据发送至所述车载毫米波雷达中,以供所述车载毫米波雷达进行对应的角度测量。

2. 根据权利要求1所述的车载毫米波雷达角度标定方法,其特征在于:于步骤S2中,所述基于毫米波雷达基准坐标系和标定平台坐标系之间的多个预设偏差值,获取所述照射目标在所述标定平台坐标系下的投影点到毫米波雷达天线中心的多个距离角度变化曲线的实现方式包括:

步骤S21,分别构建以毫米波雷达天线中心为基准形成的毫米波雷达基准坐标系和以标定平台的旋转中心为基准形成的标定平台坐标系;

步骤S22,基于所述照射目标到所述标定平台坐标系的原点的距离获取所述照射目标于所述标定平台坐标系下的投影点坐标,并基于所述照射目标于所述标定平台坐标系下的投影点坐标、所述毫米波雷达基准坐标系与所述标定平台坐标系之间的预设偏差值,获取所述照射目标于所述毫米波雷达基准坐标系下的投影点坐标;

步骤S23,基于所述照射目标于所述毫米波雷达基准坐标系下的投影点坐标获取所述照射目标到所述毫米波雷达基准坐标系原点的距离角度变化曲线;

步骤S24,调整步骤S22中所述毫米波雷达基准坐标系与所述标定平台坐标系之间的预设偏差值,并重复执行步骤S22至步骤S23,获取不同预设偏差值对应的多个距离角度变化曲线。

3. 根据权利要求1所述的车载毫米波雷达角度标定方法,其特征在于:于步骤S3中,所述求解最优解的方法包括最小二乘法、各类遍历搜索法、最大似然法。

4. 根据权利要求1所述的车载毫米波雷达角度标定方法,其特征在于:于步骤S4中,所述基于所述最优预设偏差值获取毫米波雷达基准坐标系下所述照射目标的毫米波雷达角度标定值的方式包括:

$$\tan \alpha = \frac{d \sin \theta - \Delta y}{d \sin \theta - \Delta x};$$

其中, $\tan\alpha$ 为毫米波雷达基准坐标系下所述照射目标的毫米波雷达角度标定值, d 为照射目标到标定平台坐标系的原点的距离, θ 为照射目标于标定平台坐标系下的角度值, Δx 和 Δy 分别对应为所述最优预设偏差值中的 x 方向和 y 方向的偏差值。

5. 根据权利要求1所述的车载毫米波雷达角度标定方法, 其特征在于: 所述车载毫米波雷达角度标定方法还包括:

步骤S6, 基于所述毫米波雷达角度标定值和标定平台坐标系于车身坐标系下的坐标位置, 获取所述毫米波雷达天线中心于所述车身坐标系下的坐标位置。

6. 一种车载毫米波雷达角度标定系统, 其特征在于: 包括:

数据获取模块, 用于在标定平台、车载毫米波雷达以及照射目标处于预设配置状态时, 控制照射目标在车载毫米波雷达视界范围内摆动, 并获取所述照射目标在预设毫米波雷达视界范围内摆动时的毫米波雷达测角数据; 所述预设配置状态为: 所述标定平台的旋转中心置于待标定的车载内装毫米波雷达正下方, 所述标定平台的旋转杆臂末端固定所述照射目标, 且所述照射目标的高度与所述车载毫米波雷达的高度相同;

变化曲线获取模块, 用于基于毫米波雷达基准坐标系和标定平台坐标系之间的多个预设偏差值, 获取所述照射目标在所述标定平台坐标系下的投影点到毫米波雷达天线中心的多个距离角度变化曲线;

最优偏差确定模块, 用于基于求解最优解的方法拟合所述距离角度变化曲线与实测距离角度变化曲线, 获取最优解对应的距离角度变化曲线, 并基于所述最优解对应的距离角度变化曲线获取对应的最优预设偏差值;

角度标定值获取模块, 用于基于所述最优预设偏差值获取毫米波雷达基准坐标系下所述照射目标的毫米波雷达角度标定值;

补偿模块, 用于基于所述毫米波雷达角度标定值获取与所述毫米波雷达角度标定值对应的毫米波雷达测角数据, 并将获取的毫米波雷达测角数据发送至所述车载毫米波雷达中, 以供所述车载毫米波雷达进行对应的角度测量。

7. 根据权利要求6所述的车载毫米波雷达角度标定系统, 其特征在于: 所述变化曲线获取模块包括:

坐标系构建单元, 用于分别构建以毫米波雷达天线中心为基准形成的毫米波雷达基准坐标系和以标定平台的旋转中心为基准形成的标定平台坐标系;

偏差值配置单元, 用于确定并调整不同的预设偏差值;

坐标获取单元, 用于基于所述照射目标到所述标定平台坐标系的原点的距离获取所述照射目标于所述标定平台坐标系下的投影点坐标, 并基于所述照射目标于所述标定平台坐标系下的投影点坐标、所述毫米波雷达基准坐标系与所述标定平台坐标系之间的预设偏差值, 获取所述照射目标于所述毫米波雷达基准坐标系下的投影点坐标;

变化曲线获取单元, 用于基于不同预设偏差值和所述照射目标于所述毫米波雷达基准坐标系下的投影点坐标获取所述照射目标到所述毫米波雷达基准坐标系原点的多个距离角度变化曲线。

8. 根据权利要求6所述的车载毫米波雷达角度标定系统, 其特征在于: 所述角度标定值获取模块基于所述最优预设偏差值获取毫米波雷达基准坐标系下所述照射目标的毫米波雷达角度标定值的方式包括:

$$\tan \alpha = \frac{d \sin \theta - \Delta y}{d \sin \theta - \Delta x};$$

其中, $\tan \alpha$ 为毫米波雷达基准坐标系下所述照射目标的毫米波雷达角度标定值, d 为照射目标到标定平台坐标系的原点的距离, θ 为照射目标于标定平台坐标系下的角度值, Δx 和 Δy 分别对应为所述最优预设偏差值中的 x 方向和 y 方向的偏差值。

9. 根据权利要求6或8所述的车载毫米波雷达角度标定系统, 其特征在于: 所述车载毫米波雷达角度标定系统还包括:

毫米波雷达位置获取模块, 用于于所述毫米波雷达角度标定值和标定平台坐标系于车身坐标系下的坐标位置, 获取所述毫米波雷达天线中心于所述车身坐标系下的坐标位置。

10. 一种电子设备, 其特征在于: 包括处理器和存储器, 所述存储器存储有程序指令; 所述处理器运行程序指令实现如权利要求1至权利要求5任一权利要求所述的车载毫米波雷达角度标定方法。

一种车载毫米波雷达角度标定方法、系统及电子设备

技术领域

[0001] 本发明属于自动驾驶技术领域,特别是涉及车载毫米波雷达技术领域,具体为一种车载毫米波雷达角度标定方法、系统及电子设备。

背景技术

[0002] 毫米波雷达传感器主要应用于汽车的自动驾驶解决方案中。车载毫米波雷达由于其体积小、精度高,穿透力强等特点广泛的得到使用。目前车载毫米波雷达主要安装于保险杠内侧,由于不同形态和材料的保险杠对测角精度有不同的影响,在量产阶段需要利用可旋转真值平台对毫米波雷达进行角度标定校正。现有的技术为了保证标定的准确度,需要确保真值平台旋转轴线位于毫米波雷达天线面内,并经过毫米波雷达天线中心。由于毫米波雷达装在汽车保险杠内侧,毫米波雷达的可视范围受到遮挡,为了达到上述目的,目前主要采取以下措施:一是通过部分破坏保险杠结构并结合几何光学进行旋转轴的对准;二是搭建特定的标定车间,利用高精度的定位装置来实现精确的旋转轴对准。以上做法一是会破坏车型的外观设计,二是场地建设的经济成本和装置定位的时间成本高,不适于快速化量产。

发明内容

[0003] 鉴于以上所述现有技术的缺点,本发明的目的在于提供一种车载毫米波雷达角度标定方法、系统及电子设备,用于解决现有技术中毫米波雷达角度标定耗时长、标定不便的技术问题。

[0004] 为实现上述目的及其他相关目的,本发明的实施例提供一种车载毫米波雷达角度标定方法,包括:步骤S1,在标定平台、车载毫米波雷达以及照射目标处于预设配置状态下时,控制照射目标在车载毫米波雷达视界范围内摆动,并获取所述照射目标在预设毫米波雷达视界范围内摆动时的毫米波雷达测角数据;步骤S2,基于毫米波雷达基准坐标系和标定平台坐标系之间的多个预设偏差值,获取所述照射目标在所述标定平台坐标系下的投影点到毫米波雷达天线中心的多个距离角度变化曲线;步骤S3,基于求解最优解的方法拟合所述距离角度变化曲线与实测距离角度变化曲线,获取最优解对应的距离角度变化曲线,并基于所述最优解对应的距离角度变化曲线获取对应的最优预设偏差值;步骤S4,基于所述最优预设偏差值获取毫米波雷达基准坐标系下所述照射目标的毫米波雷达角度标定值;步骤S5,基于所述毫米波雷达角度标定值获取与所述毫米波雷达角度标定值对应的毫米波雷达测角数据,并将获取的毫米波雷达测角数据发送至所述车载毫米波雷达中,以供所述车载毫米波雷达进行对应的角度测量。

[0005] 于本申请的一实施例中,于步骤S1中,所述预设配置状态为:所述标定平台的旋转中心置于所述待标定的车载内装毫米波雷达正下方,所述标定平台的旋转杆臂末端固定所述照射目标,且所述照射目标的高度与所述车载毫米波雷达的高度相同。

[0006] 于本申请的一实施例中,于步骤S2中,所述基于毫米波雷达基准坐标系和标定平

台坐标系之间的多个预设偏差值,获取所述照射目标在所述标定平台坐标系下的投影点到毫米波雷达天线中心的多个距离角度变化曲线的实现方式包括:步骤S21,分别构建以毫米波雷达天线中心为基准形成的毫米波雷达基准坐标系和以标定平台的旋转中心为基准形成的标定平台坐标系;步骤S22,基于所述照射目标到所述标定平台坐标系的原点的距离获取所述照射目标于所述标定平台坐标系下的投影点坐标,并基于所述照射目标于所述标定平台坐标系下的投影点坐标、所述毫米波雷达基准坐标系与所述标定平台坐标系之间的预设偏差值,获取所述照射目标于所述毫米波雷达基准坐标系下的投影点坐标;步骤S23,基于所述照射目标于所述毫米波雷达基准坐标系下的投影点坐标获取所述照射目标到所述毫米波雷达基准坐标系原点的距离角度变化曲线;步骤S24,调整步骤S22中所述毫米波雷达基准坐标系与所述标定平台坐标系之间的预设偏差值,并重复执行步骤S22至步骤S23,获取不同预设偏差值对应的多个距离角度变化曲线。

[0007] 于本申请的一实施例中,于步骤S3中,所述求解最优解的方法包括最小二乘法、各类遍历搜索法、最大似然法。

[0008] 于本申请的一实施例中,于步骤S4中,所述基于所述最优预设偏差值获取毫米波雷达基准坐标系下所述照射目标的毫米波雷达角度标定值的方式包括: $\tan \alpha = \frac{d \sin \theta - \Delta y}{d \sin \theta - \Delta x}$;

其中, $\tan \alpha$ 为毫米波雷达基准坐标系下所述照射目标的毫米波雷达角度标定值, d 为照射目标到标定平台坐标系的原点的距离, θ 为照射目标于标定平台坐标系下的角度值, Δx 和 Δy 分别对应为所述最优预设偏差值中的 x 方向和 y 方向的偏差值。

[0009] 于本申请的一实施例中,所述车载毫米波雷达角度标定方法还包括:步骤S6,基于所述毫米波雷达角度标定值和标定平台坐标系于车身坐标系下的坐标位置,获取所述毫米波雷达天线中心于所述车身坐标系下的坐标位置。

[0010] 本发明的实施例还提供一种车载毫米波雷达角度标定系统,包括:数据获取模块,用于在标定平台、车载毫米波雷达以及照射目标处于预设配置状态下时,控制照射目标在车载毫米波雷达视界范围内摆动,并获取所述照射目标在预设毫米波雷达视界范围内摆动时的毫米波雷达测角数据;变化曲线获取模块,用于基于毫米波雷达基准坐标系和标定平台坐标系之间的多个预设偏差值,获取所述照射目标在所述标定平台坐标系下的投影点到毫米波雷达天线中心的多个距离角度变化曲线;最优偏差确定模块,用于基于求解最优解的方法拟合所述距离角度变化曲线与实测距离角度变化曲线,获取最优解对应的距离角度变化曲线,并基于所述最优解对应的距离角度变化曲线获取对应的最优预设偏差值;角度标定值获取模块,用于基于所述最优预设偏差值获取毫米波雷达基准坐标系下所述照射目标的毫米波雷达角度标定值;补偿模块,用于基于所述毫米波雷达角度标定值获取与所述毫米波雷达角度标定值对应的毫米波雷达测角数据,并将获取的毫米波雷达测角数据发送至所述车载毫米波雷达中,以供所述车载毫米波雷达进行对应的角度测量。

[0011] 于本申请的一实施例中,所述变化曲线获取模块包括:坐标系构建单元,用于分别构建以毫米波雷达天线中心为基准形成的毫米波雷达基准坐标系和以标定平台的旋转中心为基准形成的标定平台坐标系;偏差值配置单元,用于确定并调整不同的预设偏差值;坐标获取单元,用于基于所述照射目标到所述标定平台坐标系的原点的距离获取所述照射目标于所述标定平台坐标系下的投影点坐标,并基于所述照射目标于所述标定平台坐标系下

的投影点坐标、所述毫米波雷达基准坐标系与所述标定平台坐标系之间的预设偏差值,获取所述照射目标于所述毫米波雷达基准坐标系下的投影点坐标;变化曲线获取单元,用于基于不同预设偏差值和所述照射目标于所述毫米波雷达基准坐标系下的投影点坐标获取所述照射目标到所述毫米波雷达基准坐标系原点的多个距离角度变化曲线。

[0012] 于本申请的一实施例中,所述角度标定值获取模块基于所述最优预设偏差值获取毫米波雷达基准坐标系下所述照射目标的毫米波雷达角度标定值的方式包括: $\tan \alpha = \frac{d \sin \theta - \Delta y}{d \sin \theta - \Delta x}$;

其中, $\tan \alpha$ 为毫米波雷达基准坐标系下所述照射目标的毫米波雷达角度标定值, d 为照射目标到标定平台坐标系的原点的距离, θ 为照射目标于标定平台坐标系下的角度值, Δx 和 Δy 分别对应为所述最优预设偏差值中的 x 方向和 y 方向的偏差值。

[0013] 于本申请的一实施例中,所述车载毫米波雷达角度标定系统还包括:毫米波雷达位置获取模块,用于于所述毫米波雷达角度标定值和标定平台坐标系于车身坐标系下的坐标位置,获取所述毫米波雷达天线中心于所述车身坐标系下的坐标位置。

[0014] 本发明的实施例还提供一种电子设备,包括处理器和存储器,所述存储器存储有程序指令;所述处理器运行程序指令实现如上所述的车载毫米波雷达角度标定方法。

[0015] 如上所述,本发明的车载毫米波雷达角度标定方法、系统及电子设备,具有以下有益效果:

[0016] 本发明在车载毫米波雷达的角度标定过程,无需破坏车型设计,也无需搭建具备高精度定位功能的标定车间,即可补偿标定平台旋转轴线与毫米波雷达天线中心偏置带来的标定误差,进而实现高精度的角度标定及安装位置标定,流程简单,有效提高了车载毫米波雷达角度的标定效率和准确度。

附图说明

[0017] 图1显示为本发明的车载毫米波雷达角度标定方法的整体流程示意图。

[0018] 图2显示为本发明的车载毫米波雷达角度标定方法中获取距离角度变化曲线的流程示意图。

[0019] 图3显示为本发明的车载毫米波雷达角度标定方法中毫米波雷达法线方向与标定平台零度方向发生偏移时的位置关系示意图。

[0020] 图4显示为本发明的车载毫米波雷达角度标定方法中最优预设偏差值对应的照射目标实际距离随角度变化拟合曲线与实测曲线。

[0021] 图5显示为本发明的车载毫米波雷达角度标定方法的一种优选流程示意图。

[0022] 图6显示为本发明的车载毫米波雷达角度标定方法中获取毫米波雷达天线中心于所述车身坐标系的原理示意图。

[0023] 图7显示为本发明的车载毫米波雷达角度标定系统的原理结构示意图。

[0024] 图8显示为本发明的车载毫米波雷达角度标定系统中变化曲线获取模块的原理结构示意图。

[0025] 图9显示为本发明的车载毫米波雷达角度标定系统的优选的原理结构示意图。

[0026] 图10显示为本申请一实施例中的电子设备的结构示意图。

[0027] 元件标号说明

[0028] 100 车载毫米波雷达角度标定系统

[0029]	110	数据获取模块
[0030]	120	变化曲线获取模块
[0031]	121	坐标系构建单元
[0032]	122	偏差值配置单元
[0033]	123	坐标获取单元
[0034]	124	变化曲线获取单元
[0035]	130	最优偏差确定模块
[0036]	140	角度标定值获取模块
[0037]	150	补偿模块
[0038]	160	毫米波雷达位置获取模块
[0039]	10	电子设备
[0040]	101	处理器
[0041]	102	存储器
[0042]	S1 ~ S6	步骤
[0043]	S21 ~ S24	步骤

具体实施方式

[0044] 以下通过特定的具体实例说明本发明的实施方式,本领域技术人员可由本说明书所揭露的内容轻易地了解本发明的其他优点与功效。本发明还可以通过另外不同的具体实施方式加以实施或应用,本说明书中的各项细节也可以基于不同观点与应用,在没有背离本发明的精神下进行各种修饰或改变。需说明的是,在不冲突的情况下,以下实施例及实施例中的特征可以相互组合。

[0045] 本实施例的目的在于提供一种车载毫米波雷达角度标定方法、系统及电子设备,用于解决现有技术中毫米波雷达角度标定耗时长、标定不便的技术问题。

[0046] 本实施例的车载毫米波雷达角度标定方法、系统及电子设备可以计算标定平台旋转轴线与毫米波雷达天线中心位置偏置并进行自动补偿,以解决现阶段需要搭建高精度定位设备进行标定成本较高耗时较长的技术问题,大大提高了毫米波雷达标定的准确度和效率。

[0047] 以下将详细阐述本实施例的车载毫米波雷达角度标定方法、系统及电子设备的原理及实施方式,使本领域技术人员不需要创造性劳动即可理解本发明的车载毫米波雷达角度标定方法、系统及电子设备。

[0048] 实施例1

[0049] 图1显示为本发明的车载毫米波雷达角度标定方法的整体流程示意图。

[0050] 如图1所示,本实施例提供一种车载毫米波雷达角度标定方法,所述车载毫米波雷达角度标定方法包括以下步骤:

[0051] 步骤S1,在标定平台、车载毫米波雷达以及照射目标处于预设配置状态下时,控制照射目标在车载毫米波雷达视界范围内摆动,并获取所述照射目标在预设毫米波雷达视界范围内摆动时的毫米波雷达测角数据;

[0052] 步骤S2,基于毫米波雷达基准坐标系和标定平台坐标系之间的多个预设偏差值,

获取所述照射目标在所述标定平台坐标系下的投影点到毫米波雷达天线中心的多个距离角度变化曲线；

[0053] 步骤S3,基于求解最优解的方法拟合所述距离角度变化曲线与实测距离角度变化曲线,获取最优解对应的距离角度变化曲线,基于所述最优解对应的距离角度变化曲线获取对应的最优预设偏差值；

[0054] 步骤S4,基于所述最优预设偏差值获取毫米波雷达基准坐标系下所述照射目标的毫米波雷达角度标定值；

[0055] 步骤S5,基于所述毫米波雷达角度标定值获取与所述毫米波雷达角度标定值对应的毫米波雷达测角数据,并将获取的毫米波雷达测角数据发送至所述车载毫米波雷达中,以供所述车载毫米波雷达进行对应的角度测量。

[0056] 以下对本实施例车载毫米波雷达角度标定方法的步骤S1至步骤S5进行详细说明。

[0057] 步骤S1,在标定平台、车载毫米波雷达以及照射目标处于预设配置状态下时,控制照射目标在车载毫米波雷达视界范围内摆动,并获取所述照射目标在预设毫米波雷达视界范围内摆动时的毫米波雷达测角数据。

[0058] 于本实施例中,所述照射目标为但不限于反射器,优选地,所述照射目标为角锥反射器。本实施例中以所述照射目标为角锥反射器为例进行说明。

[0059] 于本实施例中,于步骤S1中,所述预设配置状态为:所述标定平台的旋转中心置于所述待标定的车载内装毫米波雷达正下方(可以有稍许偏差),所述标定平台的旋转杆臂末端固定所述照射目标,且所述照射目标的高度与所述车载毫米波雷达的高度相同。

[0060] 即本实施例在进行内装毫米波雷达角度标定前需进行准备操作:将标定平台的旋转中心置于待标定的车载内装毫米波雷达下方,旋转杆臂末端固定角锥反射器,并将角锥反射器调整到与待标定毫米波雷达相同的高度。本实施例的车载毫米波雷达角度标定方法省去了平台搭建时旋转轴线与内装毫米波雷达天线中心精确对准的步骤。

[0061] 然后操作标定平台带动角锥反射器在毫米波雷达的视界(FoV)范围内摆动,并获取毫米波雷达采集到的角锥反射器的数据。

[0062] 步骤S2,基于毫米波雷达基准坐标系和标定平台坐标系之间的多个预设偏差值,获取所述照射目标在所述标定平台坐标系下的投影点到毫米波雷达天线中心的多个距离角度变化曲线。

[0063] 图2显示为本发明的车载毫米波雷达角度标定方法中获取距离角度变化曲线的流程示意图。如图2所示,于步骤S2中,所述基于毫米波雷达基准坐标系和标定平台坐标系之间的多个预设偏差值,获取所述照射目标在所述标定平台坐标系下的投影点到毫米波雷达天线中心的多个距离角度变化曲线的实现方式包括以下步骤S21至步骤S24。

[0064] 步骤S21,分别构建以毫米波雷达天线中心为基准形成的毫米波雷达基准坐标系和以标定平台的旋转中心为基准形成的标定平台坐标系。

[0065] 即分别以标定平台旋转中心和毫米波雷达天线中心建立平面直角坐标系。图3显示为本实施例的车载毫米波雷达角度标定方法中毫米波雷达法线方向与标定平台零度方向发生偏移时的位置关系示意图。如图3所示,本实施例中,构建以标定平台的旋转中心为基准形成的标定平台坐标系的方式如下:以标定平台旋转中心 O_p 为原点建立平行于地面的平面直角坐标系, X_p 轴平行于毫米波雷达法线方向, Y_p 轴平行于毫米波雷达天线面,符合右

手系规则。以上标定平台坐标系的构建方式并不唯一,不限于直角坐标系或极坐标系。结合不同的应用环境,标定平台旋转机构可以但不限于是刚性旋转杆臂、非刚性连接多自由度旋转平台等。

[0066] 如图3所示,本实施例中,构建以毫米波雷达天线中心为基准形成的毫米波雷达基准坐标系的方式如下:以毫米波雷达天线中心 O_R 为原点建立平行于地面的平面直角坐标系, X_R 轴为毫米波雷达法线方向, Y_R 位于毫米波雷达天线面内,符合右手系规则。以上毫米波雷达基准坐标系的构建方式并不唯一,不限于直角坐标系或极坐标系。

[0067] 步骤S22,基于所述照射目标到所述标定平台坐标系的原点的距离获取所述照射目标于所述标定平台坐标系下的投影点坐标,并基于所述照射目标于所述标定平台坐标系下的投影点坐标、所述毫米波雷达基准坐标系与所述标定平台坐标系之间的预设偏差值,获取所述照射目标于所述毫米波雷达基准坐标系下的投影点坐标。

[0068] 角锥反射器在标定平台坐标系下的位置 k 在 xy 平面的投影点到坐标原点 O_p 的距离等于已知的旋转杆臂长度 d ,坐标为 $(d \sin\theta, d \cos\theta)$ 。假设毫米波雷达基准坐标系与标定平台坐标系在 x, y 方向上分别存在长度为 Δ_x 和 Δ_y 的预设偏差值,则角锥反射器在毫米波雷达基准坐标系下的位置 k 在 xy 平面的投影点坐标为 $(d \cos\theta + \Delta_x, d \sin\theta + \Delta_y)$ 。

[0069] 步骤S23,基于所述照射目标于所述毫米波雷达基准坐标系下的投影点坐标获取所述照射目标到所述毫米波雷达基准坐标系原点的距离角度变化曲线。

[0070] 角锥反射器在毫米波雷达基准坐标系下的位置 k 在 xy 平面的投影点坐标为 $(d \cos\theta + \Delta_x, d \sin\theta + \Delta_y)$,该投影点到毫米波雷达坐标系原点 O_R 的距离为 $(\sqrt{(d \sin\theta - \Delta_y)^2 + (d \cos\theta - \Delta_x)^2})$,由此得到角锥反射器在地面的投影点到毫米波雷达天线中心的距离随角度变化的理论曲线,即为所述照射目标到所述毫米波雷达基准坐标系原点的距离角度变化曲线。

[0071] 步骤S24,调整步骤S22中所述毫米波雷达基准坐标系与所述标定平台坐标系之间的预设偏差值,并重复执行步骤S22至步骤S23,获取不同预设偏差值对应的多个距离角度变化曲线。

[0072] 步骤S3,基于求解最优解的方法拟合所述距离角度变化曲线与实测距离角度变化曲线,获取最优解对应的距离角度变化曲线,基于所述最优解对应的距离角度变化曲线获取对应的最优预设偏差值。

[0073] 实测距离角度变化曲线采用的处理技术包含但不限于二维FFT技术、多入多出(MIMO)通道相位计算等。(二维FFT技术是一种对时域信号进行快速傅里叶变化提取信号频率与相位的技术,MIMO技术是毫米波雷达领域常用的一种借助多个收发通道来实现增加天线孔径的技术)。实测距离角度变化曲线的获取过程本实施例不具体限定。

[0074] 于本实施例中,于步骤S3中,所述求解最优解的方法包括但不限于最小二乘法、各类遍历搜索法、最大似然法。最小二乘法是一种在误差估计、不确定度、系统辨识及预测、预报等数据处理诸多学科领域得到广泛应用的数学工具,遍历搜索法是一种通过尝试未知量所有可能值已搜索满足特定条件最优解的方法,最大似然法是一种使用概率模型求估计量的方法。上述求解最优解的方法已被本领域技术人员所熟知,本实施例不再详述。

[0075] 于本实施例中,已知角锥反射器在地面的投影点到毫米波雷达天线中心的距离随角度的变化曲线,以及其与上述两个坐标系原点偏置 Δ_x 和 Δ_y 的几何关系。再利用求解最优解的方法拟合理论曲线与实测曲线,进而得到最符合条件的 Δ_x 和 Δ_y 。图4显示为本发明的

车载毫米波雷达角度标定方法中最优预设偏差值对应的照射目标实际距离随角度变化拟合曲线与实测曲线,从图4中可以看到满足最优解的理论曲线与实测曲线的对比。

[0076] 步骤S4,基于所述最优预设偏差值获取毫米波雷达基准坐标系下所述照射目标的毫米波雷达角度标定值。

[0077] 具体地,于本实施例中,于步骤S4中,所述基于所述最优预设偏差值获取毫米波雷达基准坐标系下所述照射目标的毫米波雷达角度标定值的方式包括:

$$[0078] \quad \tan \alpha = \frac{d \sin \theta - \Delta y}{d \sin \theta - \Delta x};$$

[0079] 其中, $\tan \alpha$ 为毫米波雷达基准坐标系下所述照射目标的毫米波雷达角度标定值, d 为照射目标到标定平台坐标系的原点的距离, θ 为照射目标于标定平台坐标系下的角度值, Δx 和 Δy 分别对应为所述最优预设偏差值中的x方向和y方向的偏差值。

[0080] 基于步骤S3得到的最优预设偏差值:偏置值 Δ_x 和 Δ_y ,对上述两个坐标系原点之间偏置造成的角锥反射器在两个坐标系下的角度差异进行补偿修正。如图3所示,该修正可根据标定平台坐标系下角锥反射器的每个角度值 θ 计算毫米波雷达坐标系下的角锥反射器角度值 α ,此角度值 α 作为角度标定的角度真值,并与步骤S1中获取的毫米波雷达测角数据一一对应。

[0081] 步骤S5,基于所述毫米波雷达角度标定值获取与所述毫米波雷达角度标定值对应的毫米波雷达测角数据,并将获取的毫米波雷达测角数据发送至所述车载毫米波雷达中,以供所述车载毫米波雷达进行对应的角度测量。

[0082] 通过步骤S4获得了获取毫米波雷达基准坐标系下所述照射目标的毫米波雷达角度标定值,并与步骤S1中获取的毫米波雷达测角数据一一对应,获得毫米波雷达视界(FoV)范围内每个角度真值下的角锥反射器目标的毫米波雷达测角数据,将毫米波雷达测角数据记录在毫米波雷达传感器中,用于在数字信号处理时进行准确的角度测量。角度测量采用的方法包含但不限于毫米波雷达领域成熟的FFT(Fast Fourier Transform)、DBF(Digital BeamForming)、DML(Deterministic Maximum Likelihood)等。

[0083] 此外,于本实施例中,如图5所示,所述车载毫米波雷达角度标定方法还包括:步骤S6,基于所述毫米波雷达角度标定值和标定平台坐标系于车身坐标系下的坐标位置,获取所述毫米波雷达天线中心于所述车身坐标系下的坐标位置。

[0084] 图6显示为本发明的车载毫米波雷达角度标定方法中获取毫米波雷达天线中心于所述车身坐标系的原理示意图。如图6所示,以车身后轴中心 O_v 为原点建立平行于地面的平面直角坐标系, X_v 轴正方向指向车头, Y_v 轴为后轴方向,符合右手系规则。根据上述步骤求得的毫米波雷达天线中心与标定平台旋转轴线的偏置 Δ_x 和 Δ_y ,以及已知的标定平台在车身平面直角坐标系下的位置 (x_1, y_1) ,可以计算得到毫米波雷达天线中心在车身坐标系下的准确位置 $(x_1 + \Delta_x, y_1 + \Delta_y)$ 。

[0085] 也就是说,于本实施中,根据步骤S4中获取的毫米波雷达天线中心与标定平台旋转轴线的偏置,以及标定平台在车身平面直角坐标系下的位置,可以计算得到毫米波雷达天线中心在车身坐标系下的准确位置。所以本实施例的方法可以用较短的时间成本将车载毫米波雷达传感器的角度标定与安装位置标定进行结合,提高标定效率。

[0086] 为使本领域技术人员进一步理解本实施例的车载毫米波雷达角度标定方法的实

施过程,以下对本实施例的车载毫米波雷达角度标定方法的实施过程进一步说明。

[0087] 将标定平台的旋转中心置于待标定的车载内装毫米波雷达下方,旋转杆臂末端固定角锥反射器,并将角锥反射器调整到与待标定毫米波雷达相同的高度。

[0088] 然后操作标定平台带动角锥反射器在毫米波雷达的视界 (FoV) 范围内摆动,并获取毫米波雷达采集到的角锥反射器的数据。

[0089] 分别以标定平台旋转中心和毫米波雷达天线中心建立平面直角坐标系。基于毫米波雷达坐标系,获取所述照射目标在所述标定平台坐标系下的投影点到毫米波雷达天线中心的多个距离角度变化曲线,该距离角度变化曲线与前述两个坐标系原点之间的偏置在理论上可用几何关系表达,通过求取最优解的方法可将偏置值求解得到,最优预设偏差值。基于所述最优预设偏差值获取毫米波雷达基准坐标系下所述照射目标的毫米波雷达角度标定值,即根据几何关系,对上述两个坐标系原点之间偏置造成的角锥反射器在两个坐标系下的角度差异进行补偿修正。该修正可根据标定平台坐标系下角锥反射器的角度值计算毫米波雷达坐标系下的角锥反射器角度值,以此作为角度标定的角度真值。本实施例的修正方法避免了现有技术遇到旋转轴线存在偏置时需要在空间上修正旋转轴线位置的做法。

[0090] 所以本实施例的车载毫米波雷达角度标定方法可以优化车载毫米波雷达的角度标定过程,无需破坏车型设计,也无需搭建具备高精度定位功能的标定车间,即可补偿标定平台旋转轴线与毫米波雷达天线中心偏置带来的标定误差,进而实现高精度的角度标定及安装位置标定,流程简单,有效提高了毫米波雷达量产阶段的标定效率。

[0091] 实施例2

[0092] 图7显示为本实施例的车载毫米波雷达角度标定系统100的原理结构示意图。如图7所示,本实施例提供一种车载毫米波雷达角度标定系统100,所述车载毫米波雷达角度标定系统100包括:数据获取模块110,变化曲线获取模块120,最优偏差确定模块130,角度标定值获取模块140以及补偿模块150。

[0093] 于本实施例中,所述数据获取模块110用于在标定平台、车载毫米波雷达以及照射目标处于预设配置状态下时,控制照射目标在车载毫米波雷达视界范围内摆动,并获取所述照射目标在预设毫米波雷达视界范围内摆动时的毫米波雷达测角数据。

[0094] 于本实施例中,所述照射目标为但不限于反射器,优选地,所述照射目标为角锥反射器。本实施例中以所述照射目标为角锥反射器为例进行说明。

[0095] 于本实施例中,所述预设配置状态为:所述标定平台的旋转中心置于所述待标定的车载内装毫米波雷达正下方,所述标定平台的旋转杆臂末端固定所述照射目标,且所述照射目标的高度与所述车载毫米波雷达的高度相同。

[0096] 于本实施例中,所述变化曲线获取模块120用于基于毫米波雷达基准坐标系和标定平台坐标系之间的多个预设偏差值,获取所述照射目标在所述标定平台坐标系下的投影点到毫米波雷达天线中心的多个距离角度变化曲线。

[0097] 图8显示为本发明的车载毫米波雷达角度标定系统100中变化曲线获取模块120的原理结构示意图。如图8所示,所述变化曲线获取模块120包括坐标系构建单元121,偏差值配置单元122,坐标获取单元123以及变化曲线获取单元124。

[0098] 于本实施例中,所述坐标系构建单元121用于分别构建以毫米波雷达天线中心为基准形成的毫米波雷达基准坐标系和以标定平台的旋转中心为基准形成的标定平台坐标

系。

[0099] 即分别以标定平台旋转中心和毫米波雷达天线中心建立平面直角坐标系。图3显示为本实施例的车载毫米波雷达角度标定系统100中毫米波雷达法线方向与标定平台零度方向发生偏移时的位置关系示意图。如图3所示,本实施例中,构建以标定平台的旋转中心为基准形成的标定平台坐标系的方式如下:以标定平台旋转中心 O_p 为原点建立平行于地面的平面直角坐标系, X_p 轴平行于毫米波雷达法线方向, Y_p 轴平行于毫米波雷达天线面,符合右手系规则。以上标定平台坐标系的构建方式并不唯一,不限于直角坐标系或极坐标系。结合不同的应用环境,标定平台旋转机构可以但不限于是刚性旋转杆臂、非刚性连接多自由度旋转平台等。

[0100] 如图3所示,本实施例中,构建以毫米波雷达天线中心为基准形成的毫米波雷达基准坐标系的方式如下:以毫米波雷达天线中心 O_r 为原点建立平行于地面的平面直角坐标系, X_r 轴为毫米波雷达法线方向, Y_r 位于毫米波雷达天线面内,符合右手系规则。以上毫米波雷达基准坐标系的构建方式并不唯一,不限于直角坐标系或极坐标系。

[0101] 于本实施例中,所述偏差值配置单元122用于确定并调整不同的预设偏差值。

[0102] 于本实施例中,所述坐标获取单元123用于基于所述照射目标到所述标定平台坐标系的原点的距离获取所述照射目标于所述标定平台坐标系下的投影点坐标,并基于所述照射目标于所述标定平台坐标系下的投影点坐标、所述毫米波雷达基准坐标系与所述标定平台坐标系之间的预设偏差值,获取所述照射目标于所述毫米波雷达基准坐标系下的投影点坐标。

[0103] 角锥反射器在标定平台坐标系下的位置 k 在 xy 平面的投影点到坐标原点 O_p 的距离等于已知的旋转杆臂长度 d ,坐标为 $(d \sin\theta, d \cos\theta)$ 。假设毫米波雷达基准坐标系与标定平台坐标系在 x, y 方向上分别存在长度为 Δ_x 和 Δ_y 的预设偏差值,则角锥反射器在毫米波雷达基准坐标系下的位置 k 在 xy 平面的投影点坐标为 $(d \cos\theta + \Delta_x, d \sin\theta + \Delta_y)$ 。

[0104] 于本实施例中,所述变化曲线获取单元124用于基于不同预设偏差值和所述照射目标于所述毫米波雷达基准坐标系下的投影点坐标获取所述照射目标到所述毫米波雷达基准坐标系原点的多个距离角度变化曲线。

[0105] 角锥反射器在毫米波雷达基准坐标系下的位置 k 在 xy 平面的投影点坐标为 $(d \cos\theta + \Delta_x, d \sin\theta + \Delta_y)$,该投影点到毫米波雷达坐标系原点 O_r 的距离为 $(\sqrt{(d \sin\theta - \Delta_y)^2 + (d \cos\theta - \Delta_x)^2})$,由此得到角锥反射器在地面的投影点到毫米波雷达天线中心的距离随角度变化的理论曲线,即为所述照射目标到所述毫米波雷达基准坐标系原点的距离角度变化曲线。

[0106] 于本实施例中,所述最优偏差确定模块130用于基于求解最优解的方法拟合所述距离角度变化曲线与实测距离角度变化曲线,获取最优解对应的距离角度变化曲线,基于所述最优解对应的距离角度变化曲线获取对应的最优预设偏差值。

[0107] 于本实施例中,所述求解最优解的方法包括但不限于最小二乘法、各类遍历搜索法、最大似然法。

[0108] 于本实施例中,已知角锥反射器在地面的投影点到毫米波雷达天线中心的距离随角度的变化曲线,以及其与上述两个坐标系原点偏置 Δ_x 和 Δ_y 的几何关系。再利用求解最优解的方法拟合理论曲线与实测曲线,进而得到最符合条件的 Δ_x 和 Δ_y 。图4显示为本发明的车载毫米波雷达角度标定系统100中最优预设偏差值对应的照射目标实际距离随角

度变化拟合曲线与实测曲线,从图4中可以看到满足最优解的理论曲线与实测曲线的对比。

[0109] 于本实施例中,所述角度标定值获取模块140用于基于所述最优预设偏差值获取毫米波雷达基准坐标系下所述照射目标的毫米波雷达角度标定值。

[0110] 具体地,于本实施例中,所述角度标定值获取模块140基于所述最优预设偏差值获取毫米波雷达基准坐标系下所述照射目标的毫米波雷达角度标定值的方式包括:

$$[0111] \quad \tan \alpha = \frac{d \sin \theta - \Delta y}{d \sin \theta - \Delta x};$$

[0112] 其中, $\tan \alpha$ 为毫米波雷达基准坐标系下所述照射目标的毫米波雷达角度标定值, d 为照射目标到标定平台坐标系的原点的距离, θ 为照射目标于标定平台坐标系下的角度值, Δx 和 Δy 分别对应为所述最优预设偏差值中的x方向和y方向的偏差值。

[0113] 于本实施例中,所述补偿模块150用于基于所述毫米波雷达角度标定值获取与所述毫米波雷达角度标定值对应的毫米波雷达测角数据,并将获取的毫米波雷达测角数据发送至所述车载毫米波雷达中,以供所述车载毫米波雷达进行对应的角度测量。

[0114] 于本实施例中,如图9所示,所述车载毫米波雷达角度标定系统100还包括:毫米波雷达位置获取模块160。所述毫米波雷达位置获取模块160用于于所述毫米波雷达角度标定值和标定平台坐标系于车身坐标系下的坐标位置,获取所述毫米波雷达天线中心于所述车身坐标系下的坐标位置。

[0115] 如图6所示,以车身后轴中心 O_v 为原点建立平行于地面的平面直角坐标系, X_v 轴正方向指向车头, Y_v 轴为后轴方向,符合右手系规则。根据上述步骤求得的毫米波雷达天线中心与标定平台旋转轴线的偏置 Δ_x 和 Δ_y ,以及已知的标定平台在车身平面直角坐标系下的位置 (x_1, y_1) ,可以计算得到毫米波雷达天线中心在车身坐标系下的准确位置 $(x_1 + \Delta_x, y_1 + \Delta_y)$ 。

[0116] 也就是说,于本实施中,根据获取的毫米波雷达天线中心与标定平台旋转轴线的偏置,以及标定平台在车身平面直角坐标系下的位置,可以计算得到毫米波雷达天线中心在车身坐标系下的准确位置。所以本实施例的系统可以用较短的时间成本将车载毫米波雷达传感器的角度标定与安装位置标定进行结合,提高标定效率。

[0117] 本实施例的车载毫米波雷达角度标定系统100具体实现的技术特征与前述实施例1中的车载毫米波雷达角度标定方法基本相同,实施例间可以通用的技术内容不作重复赘述。

[0118] 需要说明的是,应理解以上设备的各个模块的划分仅仅是一种逻辑功能的划分,实际实现时可以全部或部分集成到一个物理实体上,也可以物理上分开。且这些模块可以全部以软件通过处理元件调用的形式实现;也可以全部以硬件的形式实现;还可以部分模块通过处理元件调用软件的形式实现,部分模块通过硬件的形式实现。例如,某一模块可以为单独设立的处理元件,也可以集成在电子终端的某一个芯片中实现,此外,也可以以程序代码的形式存储于上述终端的存储器中,由上述终端的某一个处理元件调用并执行以上追踪计算模块的功能。其它模块的实现与之类似。此外这些模块全部或部分可以集成在一起,也可以独立实现。这里所述的处理元件可以是一种集成电路,具有信号的处理能力。在实现过程中,上述方法的各步骤或以上各个模块可以通过处理器元件中的硬件的集成逻辑电路或者软件形式的指令完成。

[0119] 例如,以上这些模块可以是配置成实施以上方法的一个或多个集成电路,例如:一个或多个特定集成电路(Application Specific Integrated Circuit,简称ASIC),或,一个或多个微处理器(digital signal processor,简称DSP),或,一个或者多个现场可编程门阵列(Field Programmable Gate Array,简称FPGA)等。再如,当以上某个模块通过处理元件调度程序代码的形式实现时,该处理元件可以是通用处理器,例如中央处理器(Central Processing Unit,简称CPU)或其它可以调用程序代码的处理器。再如,这些模块可以集成在一起,以片上系统(system-on-a-chip,简称SOC)的形式实现。

[0120] 实施例3

[0121] 如图10所示,本实施例提供一种电子设备10,所述电子设备10包括处理器101、存储器102。

[0122] 存储器102通过系统总线与处理器101连接并完成相互间的通信,存储器102用于存储计算机程序,处理器101耦接于存储器1002,处理器101用于运行计算机程序,以使所述电子设备10执行实施例1所述的车载毫米波雷达角度标定方法。实施例1已经对所述车载毫米波雷达角度标定方法进行了详细说明,在此不再赘述。

[0123] 在示例性实施例中,所述电子设备10可以被一个或多个应用专用集成电路(ASIC)、数字信号处理器(DSP)、数字信号处理设备(DSPD)、可编程逻辑器件(PLD)、现场可编程门阵列(FPGA)、控制器、微控制器、微处理器、摄像头或其他电子元件实现,用于执行上述车载毫米波雷达角度标定方法。

[0124] 存储器102可能包含随机存取存储器(Random Access Memory,简称RAM),也可能还包括非易失性存储器(non-volatile memory),例如至少一个磁盘存储器。

[0125] 上述的处理器101可以是通用处理器,包括中央处理器(Central Processing Unit,简称CPU)、网络处理器(Network Processor,简称NP)等;还可以是数字信号处理器(Digital Signal Processing,简称DSP)、专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit,简称ASIC)、现场可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array,简称FPGA)或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件。

[0126] 本领域普通技术人员可以理解:实现上述各方法实施例的全部或部分步骤可以通过计算机程序相关的硬件来完成。前述的计算机程序可以存储于一计算机可读存储介质中。该程序在执行时,执行包括上述各方法实施例的步骤;而前述的存储介质包括:ROM、RAM、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

[0127] 综上所述,本发明在车载毫米波雷达的角度标定过程,无需破坏车型设计,也无需搭建具备高精度定位功能的标定车间,即可补偿标定平台旋转轴线与毫米波雷达天线中心偏置带来的标定误差,进而实现高精度的角度标定及安装位置标定,流程简单,有效提高了车载毫米波雷达角度的标定效率和准确度。所以,本发明有效克服了现有技术中的种种缺点而具高度产业利用价值。

[0128] 上述实施例仅例示性说明本发明的原理及其功效,而非用于限制本发明。任何熟悉此技术的人士皆可在不违背本发明的精神及范畴下,对上述实施例进行修饰或改变。因此,举凡所属技术领域中具有通常知识者在未脱离本发明所揭示的精神与技术思想下所完成的一切等效修饰或改变,仍应由本发明的权利要求所涵盖。

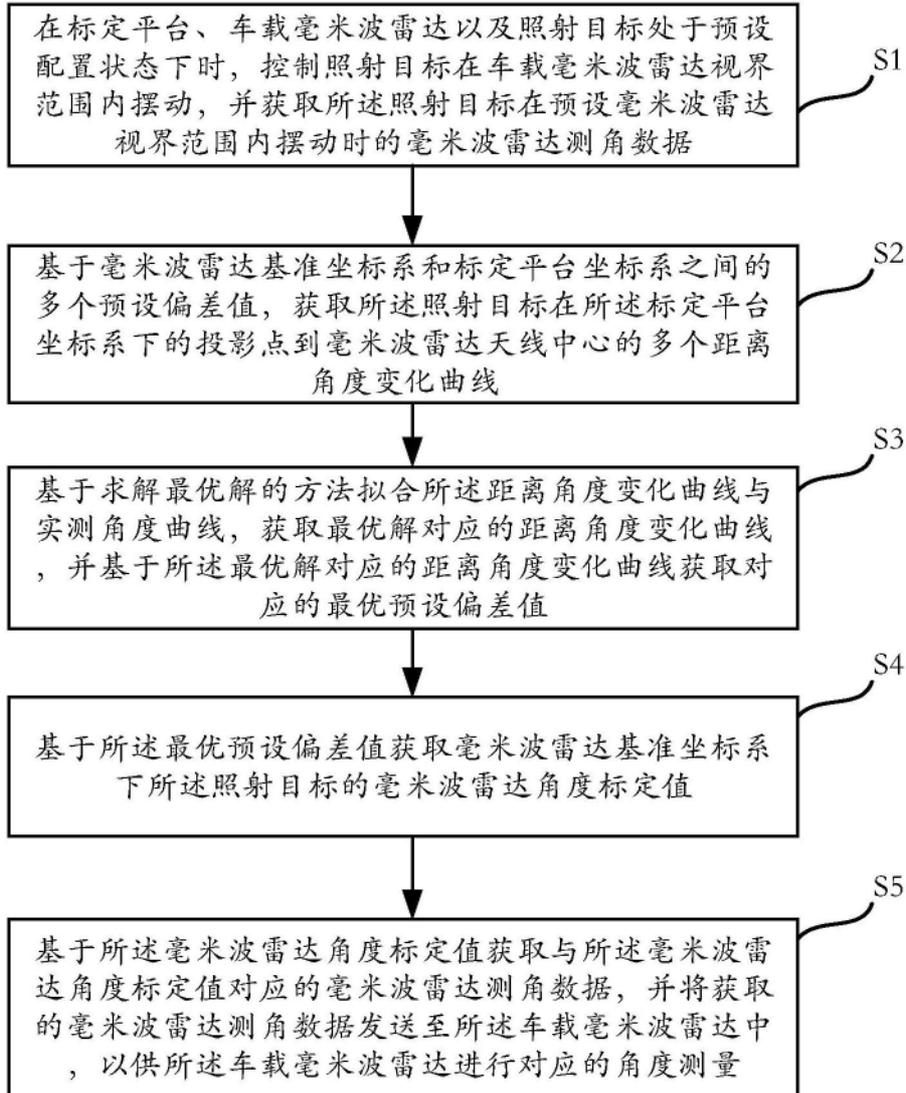


图1

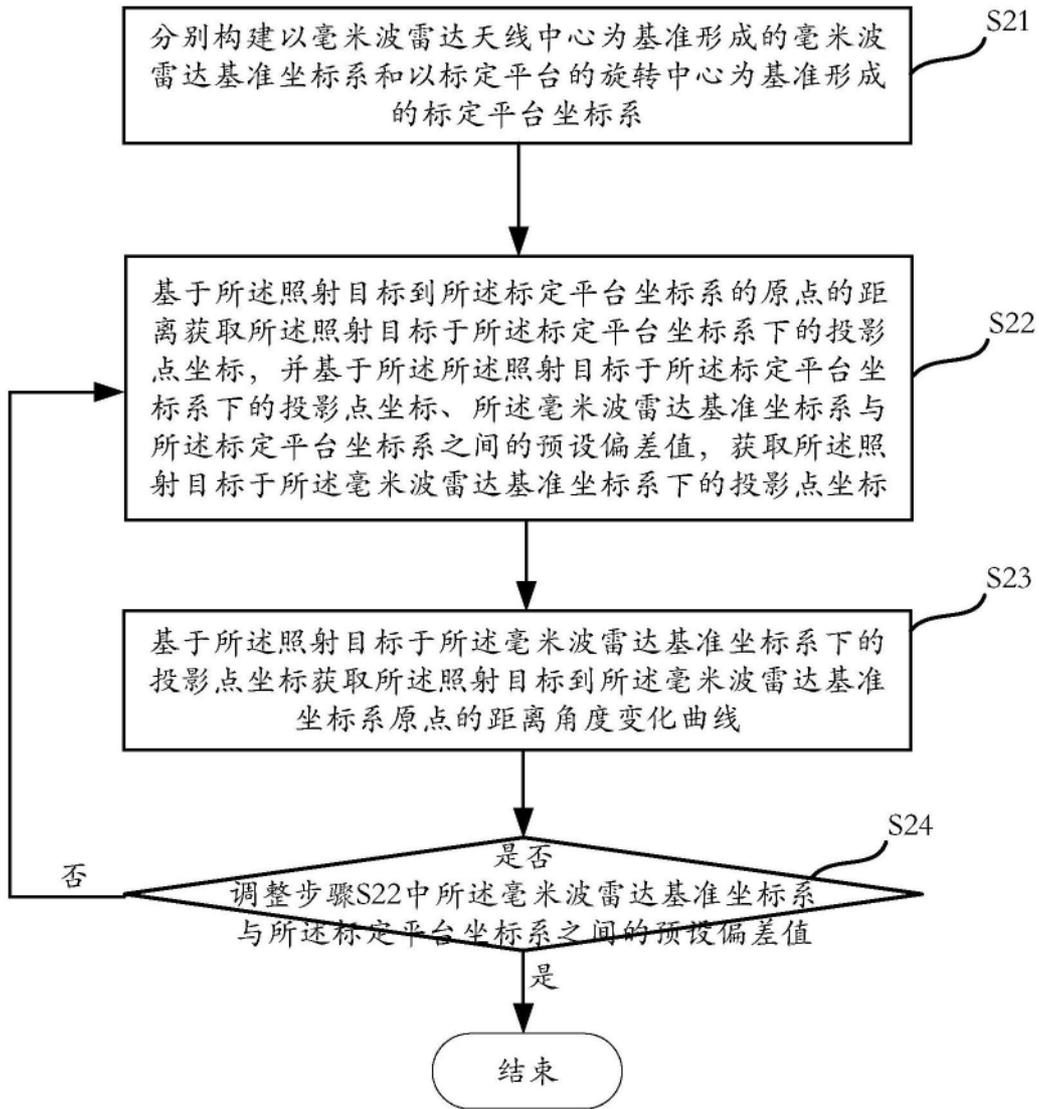


图2

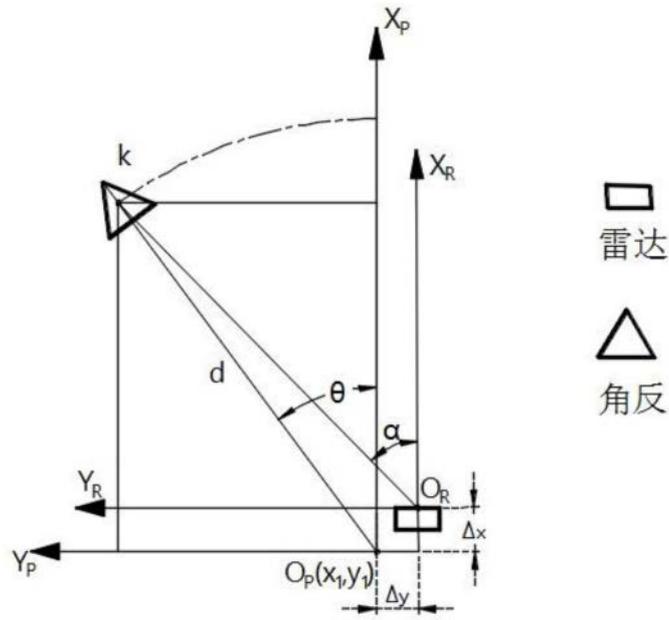


图3

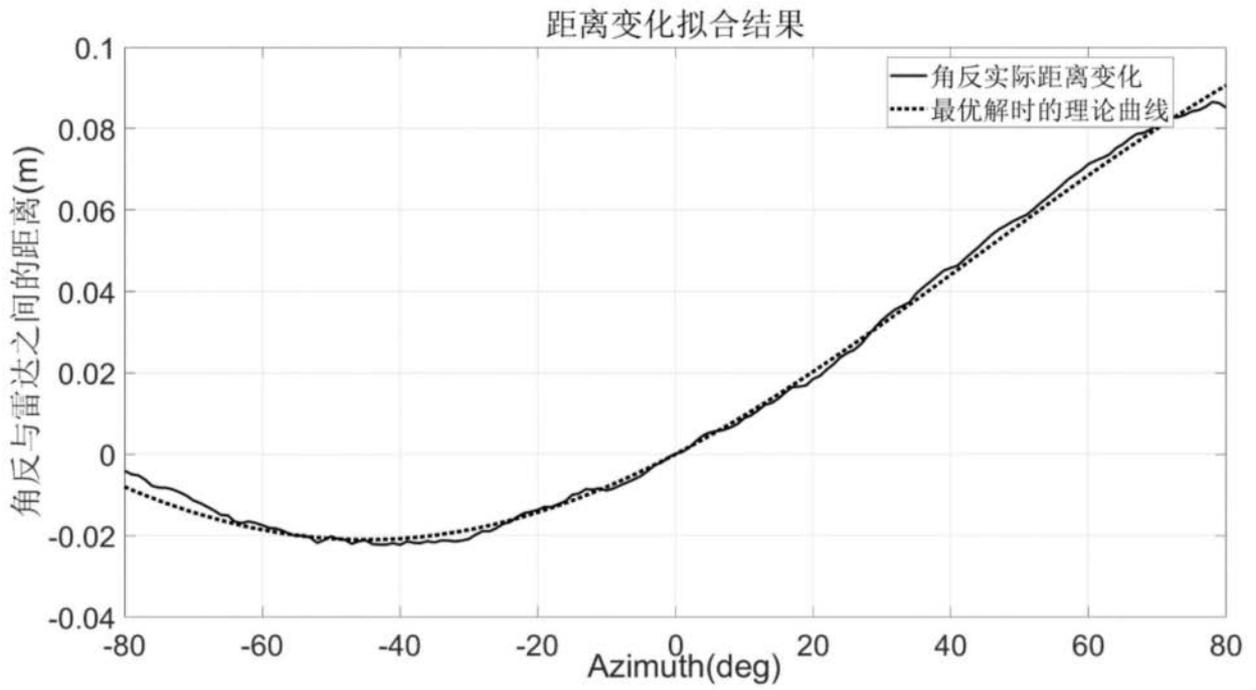


图4

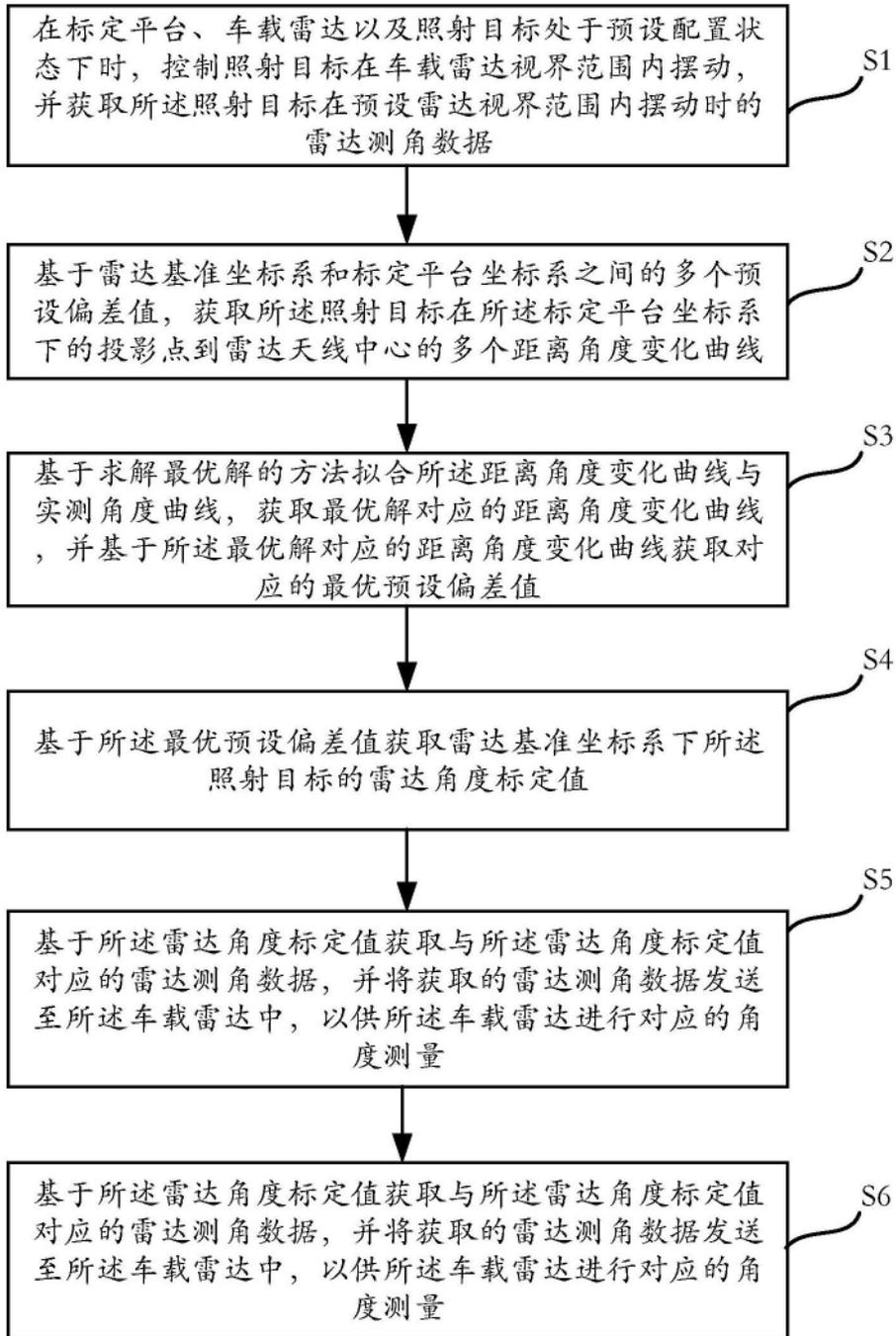


图5

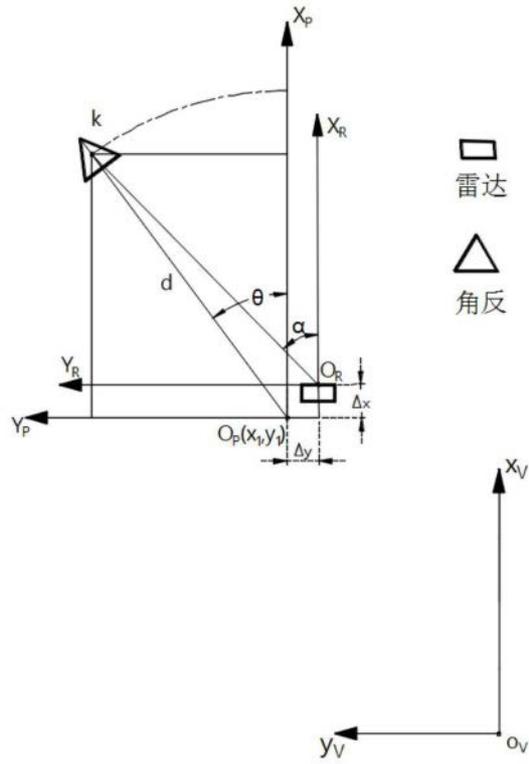


图6

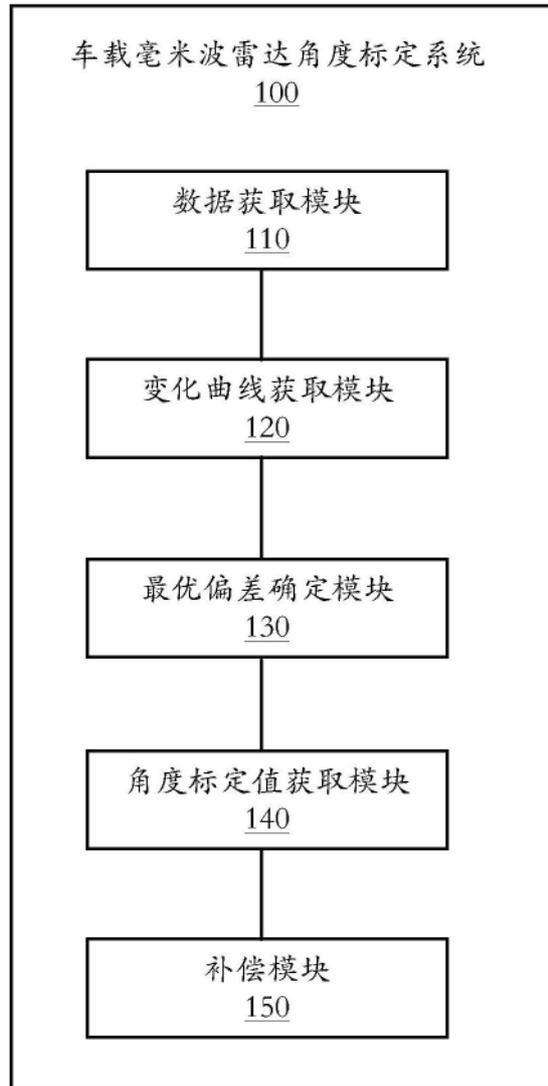


图7

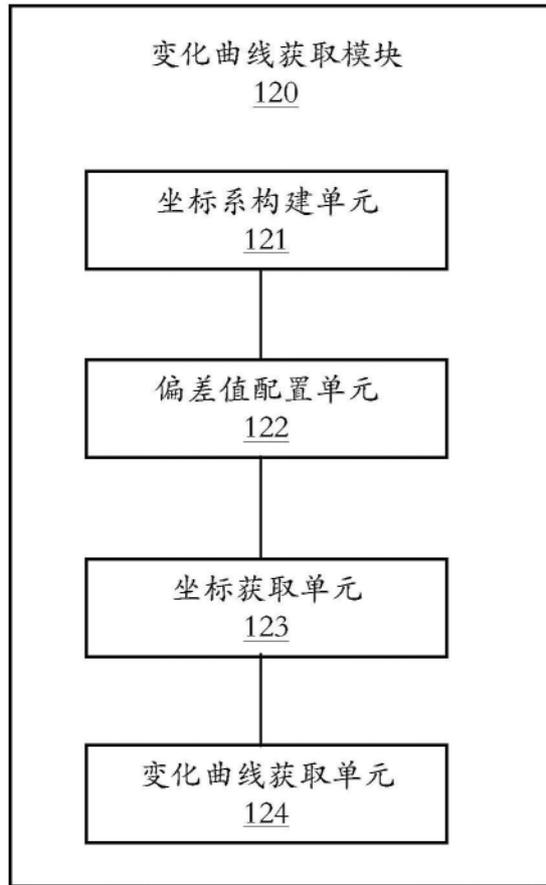


图8

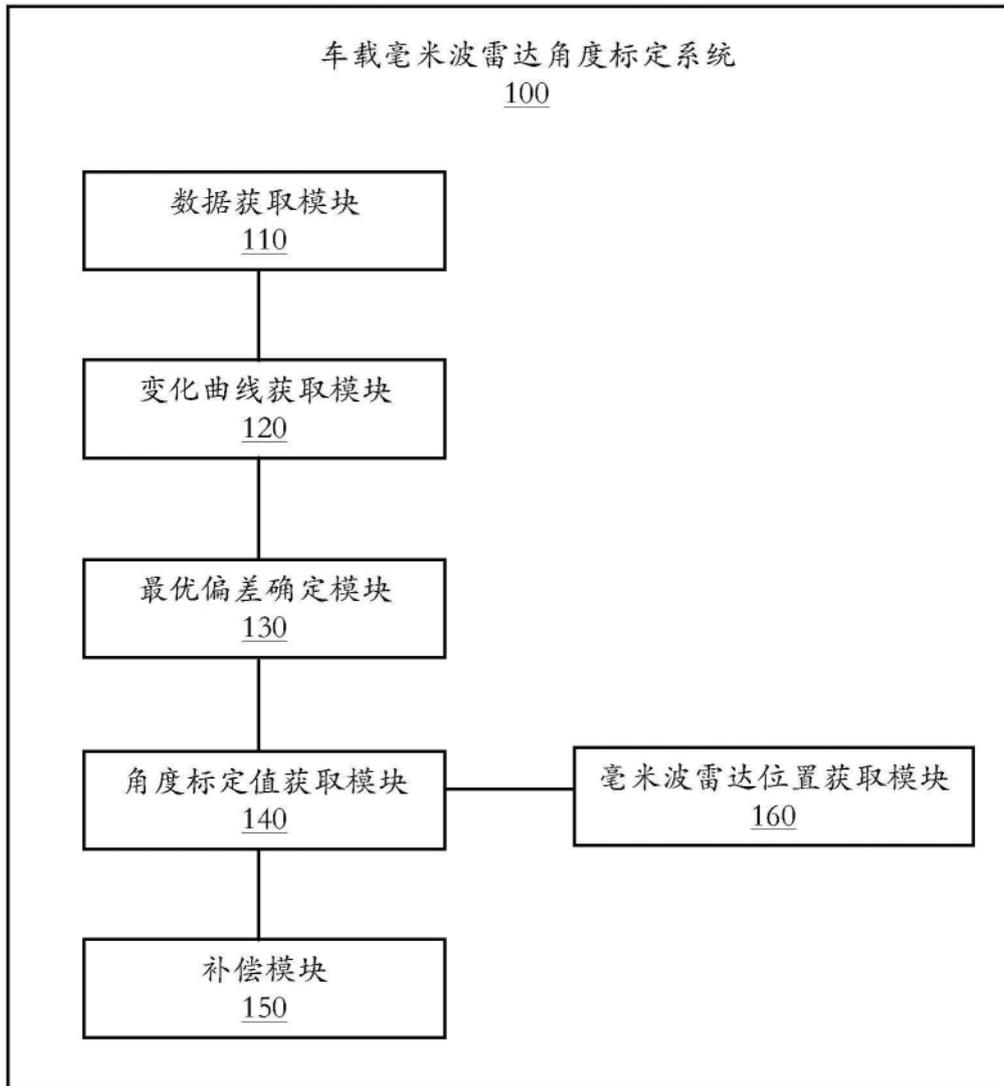


图9

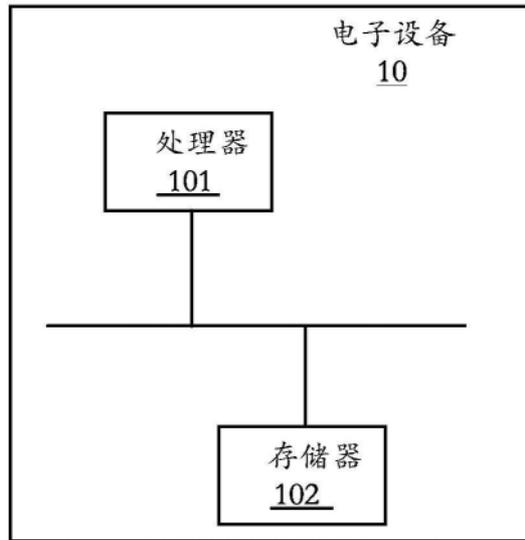


图10