

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织  
国际局

(43) 国际公布日  
2024年8月8日 (08.08.2024)



(10) 国际公布号  
**WO 2024/159351 A1**

- (51) 国际专利分类号:  
*G01S 7/40* (2006.01) *G06V 20/56* (2022.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2023/073812
- (22) 国际申请日: 2023年1月30日 (30.01.2023)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (71) 申请人: 华为技术有限公司 (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.) [CN/CN]; 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。
- (72) 发明人: 吴佳玉 (WU, Jiayu); 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。
- (74) 代理人: 广州三环专利商标代理有限公司 (SCIHEAD IP LAW FIRM); 中国广东省广州市越秀区先烈中路80号汇华商贸大厦1508室, Guangdong 510070 (CN)。
- (81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(54) Title: POINT CLOUD TEST METHOD AND APPARATUS

(54) 发明名称: 一种点云测试方法及装置

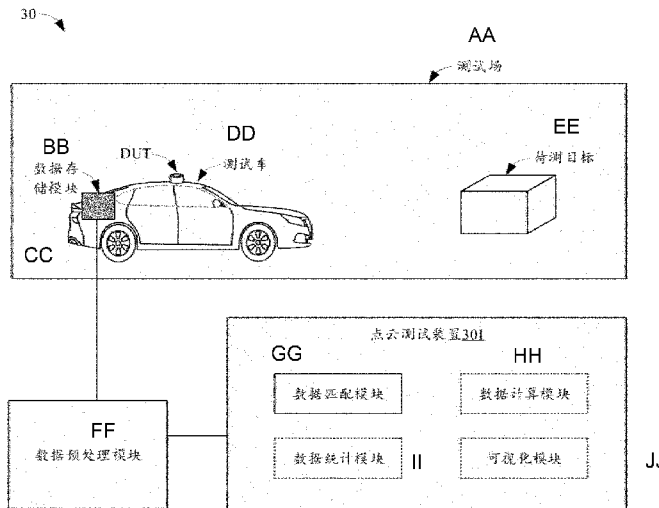


图 3

- |     |                            |    |                            |
|-----|----------------------------|----|----------------------------|
| 301 | Point cloud test apparatus | EE | Target to be tested        |
| AA  | Test field                 | FF | Data pre-processing module |
| BB  | Data storage module        | GG | Data matching module       |
| CC  | Visualization module       | HH | Data computing module      |
| DD  | Test vehicle               | II | Data statistics module     |

(57) Abstract: A point cloud test method and apparatus, which are applied to the technical field of detection and can test a point cloud of a body target that is output by a detection apparatus to be tested, wherein the detection apparatus may specifically be a millimeter-wave radar. During a test, the point cloud test apparatus matches a true value of a body target with a point cloud of the body target, so as to obtain a matching situation between the point cloud of the body target and the true value of the body target. Since the body target is closer to a detection target in the actual installation environment of a detection apparatus to be tested, the quality of a point cloud which

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

is output by the detection apparatus can be tested more accurately, thereby facilitating the evaluation of the detection capability of the detection apparatus. In addition, by means of automated matching between a true value of a body target and a point cloud of the body target, an evaluation error can be significantly reduced, and the test precision and the test efficiency are improved.

(57) 摘要: 一种点云测试方法及装置, 应用于探测技术领域, 能够对待测探测装置输出的体目标的点云进行测试, 具体的, 该探测装置可以为毫米波雷达。测试时, 点云测试装置将体目标的真值和体目标的点云进行匹配, 得到体目标的点云与体目标真值之间的匹配情况。由于体目标更接近待测探测装置实装环境下的探测目标, 故可以更准确地测试探测装置输出的点云质量, 有利于对探测装置的探测能力进行评估。另外, 通过自动化地根据体目标的真值和体目标的点云进行匹配, 能够显著缩小评估误差, 提升测试精度和测试效率。

## 一种点云测试方法及装置

### 技术领域

本申请涉及探测技术领域，尤其涉及一种点云测试方法及装置。

### 背景技术

随着信息技术的发展，探测技术取得了飞速发展，各式各样的探测装置给人们的生活、出行带来了极大的便利。例如，高级驾驶辅助系统(advanced driving assistance system, ADAS)在智能汽车中发挥着十分重要的作用，它是利用安装在车上的探测装置，在车辆行驶过程中探测周围的环境，收集数据，进行静止、移动物体的辨识等，并结合地图，进行系统的运算与分析，从而预先让驾驶者察觉到可能发生的危险，有效增加汽车驾驶的舒适性和安全性。探测装置可以看作是设备感知环境的“眼睛”，能够对周围环境进行探测，输出点云。而点云的质量则代表了探测装置的探测能力。因此，行业内对探测装置输出的点云的测试（以下简称点云测试）一直以来都是探测装置的重点测试项。

使用点目标对探测装置进行点云测试的技术已经非常成熟。其中，点目标即以“点”的形式存在的目标。示例性的，一种针对点目标的点云测试方法如下，将待测装置(device under test, DUT)置于暗室(暗室四周装有吸波材料)内，暗室内设置点目标以测试DUT对暗室内的点目标进行探测时输出的点云。

但是，点目标与实装环境下的探测目标(以下称为实际目标)具有较大差别。例如，点目标通常只具有位置、距离、方位等特征，但实际目标还具有位姿、或尺寸等特征，散射特征也具有多种类型。目前，一些供应商仅用人眼来估计探测装置对实际目标进行探测时输出的点云的质量。总之，当前的点云测试方法难以准确地评估探测装置输出的点云质量。

### 发明内容

本申请实施例提供一种点云测试方法及装置，能够对体目标的点云进行测试，可以更准确地测试探测装置输出的点云质量。

第一方面，本申请实施例提供一种点云测试方法，包括：

获取真值数据和点云，真值数据为体目标的真值，点云为DUT对体目标进行探测得到的探测结果；

将点云和真值数据进行匹配，得到匹配结果集合，匹配结果集合包含以下三类匹配结果中的至少一类：匹配采样点、未匹配采样点和未匹配真值等。

其中，体目标可以看作是具有长度、高度和宽度中至少两项的物体，用于作为测试DUT的目标。体目标包含但不限于是球体、长方体、平板、二面角、三面角、圆柱、或圆形顶帽中的一项或者多项。探测装置对体目标进行探测时，一个体目标的探测结果中包含多个采样点。可选的，探测装置在探测体目标时，在不同的视角下能够探测到体目标的不同表面。一些场景中，在探测装置对体目标进行探测的过程中，体目标具有位姿、尺寸等特征。

本申请实施例基于体目标的真值和体目标的点云进行匹配，得到体目标的点云与体目标真值之间的匹配情况。由于体目标更接近实际目标，因此通过本申请实施例可以更准确地测试探测装置输出的点云质量，有利于对探测装置的探测能力进行评估。

另外，本申请实施例通过自动化地根据体目标的真值和体目标的点云来得到匹配结果，能够显著缩小评估误差，提升测试精度和测试效率。

可选的，体目标的数量可以是一个或者多个。为了便于描述本申请的方案，以下将体目标的数量描述为至少一个。

可选的，上述方法可以由点云测试装置实现。以下以方法的执行主体为点云测试装置为例进行描述，对于其他形式的执行主体本申请同样适用。

在第一方面的又一种可能的实施方式中，将点云和真值数据进行匹配，得到匹配结果集合，包括：

根据真值数据建立三维匹配框；

将点云与三维匹配框进行匹配，得到匹配结果集合，匹配结果集合包含以下三类匹配结果中的至少一类：匹配采样点、未匹配采样点和未匹配真值等。

在上述实施方式中，点云测试装置将点云与三维匹配框进行匹配，可以准确地计算出点云与体目标之间的位置关系，得到匹配结果，提升测试精度。

在第一方面的一种可能的实施方式中，将点云和真值数据进行匹配，得到匹配结果集合，包括：

将真值数据投影得到二维真值数据；

将点云投影得到二维点云；

将二维点云与二维真值数据进行匹配，得到匹配结果集合，匹配结果集合包含以下三类匹配结果中的至少一类：匹配采样点、未匹配采样点和未匹配真值等。

在上述实施方式中，真值数据和点云都分别被处理为二维的数据，以进行匹配。首先，在二维上进行匹配，可以节省匹配时的计算量，进一步提升测试效率。其次，一些场景中，对探测装置的评估主要关注其测距能力、测速能力和角度分辨能力，这几种能力与探测结果中对纵向和横向的数据更相关，因此对数据进行二维投影可以在不显著丧失准确性的情况下测试探测装置输出的点云质量。

在第一方面的一种可能的实施方式中，将真值数据投影得到二维真值数据，包括：

将真值数据投影到水平平面，得到二维真值数据；

将点云投影得到二维点云，包括：

将点云投影到水平平面，得到二维点云。

在上述实施方式中，投影时可以将点云和真值数据投影到水平平面。水平平面的投影可以较大程度地保留体目标的横向的数据和纵向的数据，有利于提升测试效率，节省计算量。

其中，水平平面是指相对水平的水平平面。例如为 XY 平面。

以点云的投影为例，例如，点云中包含多个采样点，每个采样点对应了三维的坐标（以笛卡尔坐标系为例），对于其中任一个采样点，在投影时可以舍弃竖向的数据（或者将 Z 轴地值置 0、或者忽视竖向的数据），从而得到一个二维采样点。

在第一方面的又一种可能的实施方式中，真值数据和点云的时间对齐。进一步的，在真值数据和点云被投影为二维数据时，二维真值数据和二维点云的时间对齐。

例如，真值数据包含从第一时刻至第二时刻的 A 个帧，A 为整数且  $A > 0$ ；点云包含从第三时刻到第四时刻的 B 个帧，B 为整数且  $B > 0$ 。在二者时间对齐的情况下，对于 B 帧中的任一帧，可以找到在时间戳上与其最接近的一帧真值。

上述实施方式中，真值数据和点云在时间上对齐，使得某个时刻的点云可以找到时间上最接近的一帧真值，可以提高匹配时的准确度，进而提升点云测试的准确性。

在第一方面的又一种可能的实施方式中，真值数据和点云的坐标对齐。示例性地，真值数据和点云分别通过安装在车辆上的真值系统和 DUT 探测得到，真值数据和点云的原点可以被转换为车辆的后轴中心。上述实施方式可以提高匹配时的准确度，进而提升点云测试的准确性。

在第一方面的又一种可能的实施方式中，二维真值数据包含多个真值帧，二维点云包含多个点云帧；

将二维点云与二维真值数据进行匹配，得到匹配结果集合，包括：

确定第一真值帧中的至少一个真值框，其中，一个真值框对应一个体目标，第一真值帧属于多个真值帧；

根据至少一个真值框的范围和第一点云帧中的多个采样点的位置，得到匹配结果子集。

其中，第一点云帧属于多个点云帧，第一点云帧和第一真值帧的时间戳相同。匹配结果子集属于匹配结果集合。

在上述实施方式以第一点云帧的匹配为例介绍了一种匹配方式。在匹配时，将真值数据投影得到二维真值数据，并建立真值框（或称二维真值框）。二维真值数据包含多个时刻的数据，对于某一时刻的一帧二维真值数据，根据真值框的位置以及同一时刻的二维点云中的采样点的位置进行匹配，如此可以匹配同一时刻的真值与点云，提升测试准确性。

可理解的，匹配时可能会出现如下情况：对于某一个采样点，其可能落入一个或者多个真值框，也可能未落入任何一个真值框；而对于某一个真值框，其范围内可能包含一个或者多个采样点，也可能未包含采样点。

在第一方面的又一种可能的实施方式中，至少一个真值框包含第一体目标对应的第一真值框，第一体目标属于至少一个体目标。

示例性的，在第一点云帧包含第一采样点且第一采样点落入第一真值框的情况下，第一采样点属于匹配采样点。进一步的，第一采样点与第一体目标的真值匹配

示例性的，在第一点云帧包含第二采样点且第二采样点未落入至少一个真值框中的任意一个真值框的情况下，第二采样点属于未匹配采样点；

示例性的，在第一点云帧中任意一个采样点均未落入第一真值框的情况下，则第一真值框对应的真值属于未匹配真值。

上述实施方式中，以第一真值框、第一采样点、第二采样点为例对匹配结果的分类进行了说明。其中，匹配采样点为与体目标的真值成功匹配的采样点。未匹配采样点为未与体目标的真值成功匹配的采样点。未匹配真值为未与任一采样点成功匹配的真值。不难看出，匹配点云的数量通常与点云质量正相关，未匹配点云的数量和未匹配真值的数量与点云质量负相关。因此，匹配结果的分类初步反映了点云的准确度，有利于后续对于不同类别的匹配结果进行分类测试，提高点云测试的丰富度和准确度。

在第一方面的又一种可能的实施方式中，真值框的数量大于或大于等于 2。将二维点云与二维真值数据进行匹配，得到匹配结果集合，还包括：

在第一点云帧包含第三采样点且第三采样点落入至少两个真值框的情况下，根据第三采样点与至少两个真值框对应的体目标的真值之间的位置，确定与第三采样点匹配的体目标的真值。

上述实施方式说明了当采样点落入多个真值框的情况下，如何确定该采样点所匹配的体目标的真值。如此可以明确点云与真值之间的匹配关系，提升点云测试的准确性。

在第一方面的又一种可能的实施方式中，第三采样点与至少两个真值框之间的位置，确

定与第三采样点匹配的体目标的真值，包括：

将至少两个真值框对应的体目标的真值与第三采样点建立点对，根据点对构造距离矩阵，得到真值与第三采样点之间的距离，将距离最近的真值作为与第三采样点匹配的真值。

通过构建距离矩阵，能够更加准确地确定采样点与真值之间的距离关系，确定与采样点匹配的体目标的真值，提升点云测试的准确性。

在第一方面的又一种可能的实施方式中，获取真值数据和点云，包括：

对初始真值和初始点云进行预处理，得到真值数据和点云。其中，预处理可以包含以下处理中的一项或者多项：时间对齐（或时间戳对齐）、坐标转换和格式转换等。预处理能够提升真值数据和点云之间的对应性，降低匹配时的复杂度，提升点云测试效率。

在第一方面的又一种可能的实施方式中，通过匹配结果集合，对点云的精度、虚警、漏检等测试项进行评估。

在第一方面的又一种可能的实施方式中，方法还包括：

根据匹配结果集合中的匹配采样点，得到关于 DUT 的精度评估数据。其中，精度评估数据包含匹配采样点数量、测距精度、速度精度和高度精度中的一项或者多项。

在第一方面的又一种可能的实施方式中，根据匹配结果集合中的匹配采样点，得到关于 DUT 的精度评估数据，包括：

根据匹配采样点中与第四体目标的真值匹配的采样点的数量，得到关于第四体目标的匹配采样点数量。

在第一方面的又一种可能的实施方式中，匹配采样点中包含与第二体目标的真值匹配的 N 个采样点，第二体目标的真值包含 M 个角点，M 为整数且  $M > 0$ ，N 为整数且  $N > 0$ 。

通过 N 个采样点和 M 个角点可以评估 DUT 在探测第二体目标时的测距精度。

在第一方面的又一种可能的实施方式中，N 个采样点中包含最近采样点，M 个角点中包含横向最近角点。其中，“最近”是指该点与参考点或参考设备之间的距离。例如，参考点可以为 DUT 所在的点，此时，最近采样点为 N 个采样点中与 DUT 相距最近的采样点，横向最近角点为 M 个角点中与 DUT 之间的横向距离最近的角点。

进一步的，测距精度包含关于第二体目标的横向测距精度，关于第二体目标的横向测距精度与，最近采样点和 DUT 之间的横向距离，以及横向最近角点与 DUT 之间的横向距离相关。

可理解的，前述以 DUT 为参考点为例进行说明。具体实施过程中，DUT 也可以替换为车辆、车辆后轴中心、或真值系统等。

在第一方面的又一种可能的实施方式中，关于第二体目标的横向测距精度  $\sigma_x$  满足如下公式：

$$\sigma_x = |X_{pi} - X_{cj}|$$

其中， $X_{pi}$  是最近采样点和 DUT 之间的横向距离， $X_{cj}$  为横向最近角点和 DUT 之间的横向距离。

在第一方面的又一种可能的实施方式中，N 个采样点中包含最近采样点，M 个角点中包含径向最近角点。其中，“最近”是指该点与预设定点之间的距离。预设顶点例如可以为 DUT，此时，最近采样点为 N 个采样点中与 DUT 相距最近的采样点，径向最近角点为 M 个角点中与 DUT 之间的径向距离最近的角点。

进一步的，测距精度包含关于第二体目标的纵向测距精度，关于第二体目标的纵向测距精度与最近采样点与 DUT 之间的径向距离以及径向最近角点与 DUT 之间的径向距离相关。

在第一方面的又一种可能的实施方式中，关于第二体目标的纵向测距精度 $\sigma_d$ 满足如下式子：

$$\sigma_d = |D_{pi} - D_{ck}|$$

其中， $D_{pi}$ 是最近采样点与 DUT 之间的径向距离， $D_{ck}$ 为径向最近角点与 DUT 之间的径向距离。

在第一方面的又一种可能的实施方式中，测速精度包含关于第三体目标的测速精度：

匹配采样点中包含与第三体目标的真值匹配的 K 个采样点，K 为整数且  $K > 0$ ；

K 个采样点中包含最强采样点，关于第三体目标的测速精度与最强采样点的径向速度和第三体目标的真值的径向速度相关。

上述实施方式中说明了一种确定测速精度的方式。速度精度 $\sigma_v$ 可以通过匹配点中的最强点径向速度与参考真值的径向速度误差绝对值大小来指示。例如，速度精度 $\sigma_v$ 满足如下式子：

$$\sigma_v = |V_{pi} - V_t|$$

其中， $V_{pi}$ 为最强采样点的径向速度， $V_t$ 为第三体目标的真值的径向速度。

作为一种可能的实施方式，最强采样点为 K 个采样点中雷达散射截面(radar cross section, RCS)最强的采样点，与真值匹配的采样点为 K 个，K 个采样点的 RCS 分别表示为  $R_{p1}, R_{p2}, R_{p3}, \dots, R_{pK}$ 。最强采样点的 RCS 可以表示  $R_{pi}$ ，其可以满足如下式子：

$$R_{pi} = \max(R_{p1}, R_{p2}, R_{p3}, \dots, R_{pK})$$

可选的，第三体目标的真值的径向速度可以替换为第三体目标的径向速度。

在第一方面的又一种可能的实施方式，未匹配采样点可以用于虚警判断。虚警即某些情况下，目标不存在而探测装置判断为有目标并输出点云的时间。虚警可以对应未与真值匹配的点云。在虚警判断时，可以对点云帧中的未匹配采样点进行跟踪，采用多帧关联的方式确定点云中是否存在虚警。如此，可以在之后的点云帧中对未匹配采样点实现追踪，可以减少由于点云闪烁而带来的虚警判断误差，提高虚警判断的准确性，提升点云测试的准确性。

在第一方面的又一种可能的实施方式中，二维点云包含多个连续的点云帧，匹配集合包含未匹配采样点，方法还包括：

根据未匹配采样点中位于多个连续的点云帧中的采样点，确定多个连续的点云帧中的虚警目标。

在第一方面的又一种可能的实施方式中，多个连续的点云帧包含第二点云帧和第二点云帧之后的 Q 个点云帧，Q 为整数且  $Q > 0$ ；

根据未匹配采样点中位于多个连续的点云帧中的采样点，确定点云中的虚警目标，包括：

将未匹配采样点中位于第二点云帧中的采样点聚类，得到至少一个点云簇；

为至少一个点云簇中的第一点云簇分配初始生命值；

根据未匹配采样点中位于 Q 个点云帧中的采样点，确定 Q 个点云帧中的点云簇；

根据第一点云簇的位置和 Q 个点云帧中的点云簇的位置，确定多个连续的点云帧中的虚警目标。

其中，Q 可以是固定的数字，也可以是非固定的数字。

在上述实施方式中，测试装置将未匹配点云聚类得到多个点云簇，每个点云簇被赋予初始生命值。对于在某一点云帧中存在的一个点云簇，将该点云簇与后续的点云簇进行匹配。若之后的点云帧中存在与其匹配的点云簇，则将该点云簇的生命值增加，反之则降低该点云簇的生命值；如此重复匹配多个点云簇。若点云簇的生命值到达第一阈值时，该点云簇形成虚警目标。若点云簇的生命值达到第二阈值或者低于第三阈值，则该点云簇则不形成虚警目标，可选可以丢弃该点云簇。由于单个采样点容易产生闪烁、匹配复杂度高且结果可靠

性低,上述实施方式将未匹配采样点进行聚类,以点云簇的方式来实现对未匹配点云的追踪,不仅降低了匹配的复杂度,还大大提升了虚警判断的可靠性和可用性,提升了点云测试的准确性。

应理解,达到第一阈值可以是高于或者高于等于第一阈值,以具体设计为准。对于第二阈值、第三阈值同理。

一些场景中,在匹配点云簇时,根据点云帧中的点云簇的大小确定点云簇框,该匹配框可以包住簇内的点云。对于当前点云帧,若下一点云帧中存在点云簇框与当前帧的点云簇框有重合部分,计算点云簇框与点云簇框之间的重合度矩阵,建立框间关联。若下一点云帧中存在点云簇框与当前帧的点云簇框匹配成功,则此点云簇生命值增加;反之则点云簇生命值降低。

通过匹配框建立框间关联,可以进一步降低计算复杂度,提升点云测试效率。

在第一方面的又一种可能的实施方式中,未匹配点云还可以用于确定虚警率。

示例性的,点云测试装置根据参与预警目标计算的点云帧的数量和虚警点云帧的数量,确定虚警率。其中,虚警点云帧为存在虚警目标的点云帧,或者,虚警点云帧为包含至少一个生命值达到第一阈值的点云簇的点云帧。

示例性的,虚警率 $\rho$ 满足如下式子:

$$\rho = \frac{n_{false}}{n} \times 100\%$$

其中, $n$ 为参与虚警目标计算的点云帧的帧数, $n_{false}$ 为存在虚警目标的帧数。

在第一方面的又一种可能的实施方式,未匹配真值可以用于漏检判断。漏检即某些情况下,目标存在而雷达判断为无目标没有输出点云这一事件。点云的漏检可以对应未匹配点云的真值。

可选的,在漏检判断时,可以确定体目标是否被遮挡。当体目标被遮挡时,则对该体目标的漏检不属于有效漏检。如此,可以减少由于体目标遮挡而带来的漏检判断误差,提高漏检判断的准确性,提升点云测试的准确性。

在第一方面的又一种可能的实施方式中,二维点云包含第三点云帧,匹配结果集合包含第三点云帧对应的未匹配真值;

方法还包括:

根据第三点云帧对应的未匹配真值,确定第三点云帧中的疑似漏检目标;

根据至少一个体目标与雷达之间的视野关系,确定被遮挡的体目标;

过滤第三点云帧中的疑似漏检目标中被遮挡的体目标,确定第三点云帧包含的漏检目标。

在上述实施方式中,测试装置根据未匹配真值确定疑似漏检目标,根据遮挡关系,去除疑似漏检目标中被遮挡的体目标,减少由于体目标遮挡而带来的漏检判断误差。

在第一方面的又一种可能的实施方式中,根据至少一个体目标与雷达之间的视野关系,确定被遮挡的体目标,包括:

根据至少一个体目标中的第五体目标与 DUT 之间的连线与其他体目标的边的相交情况,确定第五体目标是否被遮挡。

例如,若第五体目标的多个角点中存在  $V$  个被遮挡角点,则第五体目标被遮挡, $V$  为整数且  $V > 0$ ,其中被遮挡角点为角点连线与其它体目标的边相交的角点。

再如,若第五体目标为遮挡目标,则其满足如下两个条件:①第五体目标的  $V$  个角点与 DUT 的连交, $V$  为整数且  $V > 0$ ;②第五体目标中有效边的数量大于等于第四阈值。其中第



四阈值可以是预先定义或者预先设置的。例如，第四阈值可以为 4，或者第四阈值为 1。其中，有效边可以通过如下方式确定：对于第五体目标中的任一角点或任一边角点（边角点指位于边上的角点），若该角点（或该边角点）与 DUT 的连线相交于第五体目标任一边，则该角点（或该边角点）所在的边无效。若第五体目标中的第一边上的角点与 DUT 的连线均与第五体目标中的其它边不相交，则该第一边为有效边。

在第一方面的又一种可能的实施方式中，在漏检判断时，可以在点云帧中对未匹配真值对应的区域进行跟踪，采用多帧关联的方式确定体目标是否被漏检。如此，可以在之后的点云帧中对未匹配真值实现追踪，可以减少由于点云闪烁而带来的漏检判断误差，提高虚警判断的准确性，提升点云测试的准确性。

示例性的，当连续三点云帧存在对于某一体目标的漏检时，该体目标为确定漏检目标。

在第一方面的又一种可能的实施方式中，未匹配真值还可以用于确定漏检率。

示例性的，点云测试装置根据参与预警目标计算的点云帧的数量和漏检点云帧的数量，确定漏检率。其中，漏检点云帧为存在漏检目标（或确定漏检目标）的点云帧。

示例性的，漏检率 $\gamma$ 满足如下式子：

$$\gamma = \frac{n_{lose}}{n} \times 100\%$$

其中， $n$  为参与漏检目标计算的点云帧的帧数， $n_{lose}$  为漏检点云帧的帧数。

第二方面，本申请实施例提供一种点云测试装置，点云测试装置包含数据获取模块和数据匹配模块，其中：

数据获取模块用于获取真值数据和点云，真值数据为体目标的真值，点云为 DUT 对体目标进行探测得到的探测结果，探测结果包含采样点；

数据匹配模块用于将点云和真值数据进行匹配，得到匹配结果集合，匹配结果集合包含以下三类匹配结果中的至少一类：匹配采样点、未匹配采样点和未匹配真值等。

可选的，体目标的数量可以是一个或者多个。为了便于描述本申请的方案，以下将体目标的数量描述为至少一个。

在第二方面的又一种可能的实施方式中，数据匹配模块用于：

根据真值数据建立三维匹配框；

将点云与三维匹配框进行匹配，得到匹配结果集合，匹配结果集合包含以下三类匹配结果中的至少一类：匹配采样点、未匹配采样点和未匹配真值等。

在第二方面的一种可能的实施方式中，数据匹配模块用于：

将真值数据投影得到二维真值数据；

将点云投影得到二维点云；

将二维点云与二维真值数据进行匹配，得到匹配结果集合，匹配结果集合包含以下三类匹配结果中的至少一类：匹配采样点、未匹配采样点和未匹配真值等。

在第二方面的一种可能的实施方式中，数据匹配模块用于：

将真值数据投影到水平平面，得到二维真值数据；

将点云投影得到二维点云，包括：

将点云投影到水平平面，得到二维点云。

在第二方面的又一种可能的实施方式中，真值数据和点云的时间对齐。进一步的，在真值数据和点云被投影为二维数据时，二维真值数据和二维点云的时间对齐。

在第二方面的又一种可能的实施方式中，真值数据和点云的坐标对齐。

在第二方面的又一种可能的实施方式中，二维真值数据包含多个真值帧，二维点云包含多个点云帧；

数据匹配模块，还用于：

确定第一真值帧中的至少一个真值框，其中，一个真值框对应一个体目标，第一真值帧属于多个真值帧；

根据至少一个真值框的范围和第一点云帧中的多个采样点的位置，得到匹配结果子集，其中，第一点云帧属于多个点云帧，第一点云帧和第一真值帧的时间戳相同，匹配结果子集属于匹配结果集合。

在第二方面的又一种可能的实施方式中，至少一个真值框包含第一体目标对应的第一真值框，第一体目标属于至少一个体目标；

在第一点云帧包含第一采样点且第一采样点落入第一真值框的情况下，第一采样点属于匹配采样点，且第一采样点与第一体目标的真值匹配；

在第一点云帧包含第二采样点且第二采样点未落入至少一个真值框中的任意一个真值框的情况下，第二采样点属于未匹配采样点；

在第一点云帧中任意一个采样点均未落入第一真值框的情况下，则第一真值框对应的真值属于未匹配真值。

在第二方面的又一种可能的实施方式中，至少一个真值框的数量大于或大于等于 2，数据匹配模块，还用于：

在第一点云帧包含第三采样点且第三采样点落入至少两个真值框的情况下，根据第三采样点与至少两个真值框对应的体目标的真值之间的位置，确定与第三采样点匹配的体目标的真值。

在第二方面的又一种可能的实施方式中，数据匹配模块，还用于：

将至少两个真值框对应的体目标的真值与第三采样点建立点对，根据点对构造距离矩阵，得到真值与第三采样点之间的距离，将距离最近的真值作为与第三采样点匹配的真值。

在第二方面的又一种可能的实施方式中，数据获取模块，还用于：

对初始真值和初始点云进行预处理，得到真值数据和点云。其中，预处理可以包含以下处理中的一项或者多项：时间对齐、坐标转换和格式转换等。预处理能够提升真值数据和点云之间的对应性，降低匹配时的复杂度，提升点云测试效率。

在第二方面的又一种可能的实施方式中，点云测试装置还包含数据计算模块，数据计算模块用于通过匹配结果集合，对点云的精度、虚警、漏检进行评估。

在第二方面的又一种可能的实施方式中，点云测试装置还包含数据计算模块，数据计算模块用于根据匹配结果集合中的匹配采样点，得到关于 DUT 的精度评估数据。其中，精度评估数据包含匹配采样点数量、测距精度、速度精度和高度精度中的一项或者多项。

在第二方面的又一种可能的实施方式中，数据计算模块还用于：

根据匹配采样点中与第四体目标的真值匹配的采样点的数量，得到关于第四体目标的匹配采样点数量。

在第二方面的又一种可能的实施方式中，匹配采样点中包含与第二体目标的真值匹配的 N 个采样点，第二体目标的真值包含 M 个角点，M 为整数且  $M > 0$ ，N 为整数且  $N > 0$ 。

数据计算模块还用于根据 N 个采样点和 M 个角点评估 DUT 在探测第二体目标时的测距精度。

在第二方面的又一种可能的实施方式中，N 个采样点中包含最近采样点，M 个角点中包

含横向最近角点。进一步的，测距精度包含关于第二体目标的横向测距精度，关于第二体目标的横向测距精度与最近采样点和 DUT 之间的横向距离以及径向最近角点与 DUT 之间的径向距离相关。

在第二方面的又一种可能的实施方式中，关于第二体目标的横向测距精度 $\sigma_x$ 满足如下公式：

$$\sigma_x = |X_{pi} - X_{cj}|$$

其中， $X_{pi}$ 是最近采样点和 DUT 之间的横向距离， $X_{cj}$ 为横向最近角点和 DUT 之间的横向距离。

在第二方面的又一种可能的实施方式中，N 个采样点中包含最近采样点，M 个角点中包含径向最近角点。进一步的，测距精度包含关于第二体目标的纵向测距精度，关于第二体目标的纵向测距精度与最近采样点与 DUT 之间的径向距离以及径向最近角点与 DUT 之间的径向距离相关。

在第二方面的又一种可能的实施方式中，关于第四体目标的纵向测距精度 $\sigma_d$ 满足如下式子：

$$\sigma_d = |D_{pi} - D_{ck}|$$

其中， $D_{pi}$ 是最近采样点与 DUT 之间的径向距离， $D_{ck}$ 为径向最近角点与 DUT 之间的径向距离。

在第二方面的又一种可能的实施方式中，测速精度包含关于第三体目标的测速精度；

匹配采样点中包含与第三体目标的真值匹配的 K 个采样点，K 为整数且  $K > 0$ ；

K 个采样点中包含最强采样点，关于第三体目标的测速精度与最强采样点的径向速度和第三体目标的真值的径向速度相关。

上述实施方式中说明了一种确定测速精度的方式。速度精度 $\sigma_v$ 可以通过匹配点中的最强点径向速度与参考真值的径向速度误差绝对值大小来指示。例如，速度精度 $\sigma_v$ 满足如下式子：

$$\sigma_v = |V_{pi} - V_t|$$

其中， $V_{pi}$ 为最强采样点的径向速度， $V_t$ 为第三体目标的真值的径向速度。

作为一种可能的实施方式，最强采样点为 K 个采样点中雷达散射截面(radar cross section, RCS)最强的采样点，与真值匹配的采样点为 K 个，K 个采样点的 RCS 分别表示为  $R_{p1}, R_{p2}, R_{p3}, \dots, R_{pK}$ 。最强采样点的 RCS 可以表示  $R_{pi}$ ，其可以满足如下式子：

$$R_{pi} = \max(R_{p1}, R_{p2}, R_{p3}, \dots, R_{pK})$$

可选的，第三体目标的真值的径向速度可以替换为第三体目标的径向速度。

在第二方面的又一种可能的实施方式，未匹配采样点可以用于虚警判断。

在第二方面的又一种可能的实施方式中，点云测试装置还包含数据计算模块，数据计算模块还用于：

根据未匹配采样点中位于多个连续的点云帧中的采样点，确定多个连续的点云帧中的虚警目标。

在第二方面的又一种可能的实施方式中，多个连续的点云帧包含第二点云帧和第二点云帧之后的 Q 个点云帧，Q 为整数且  $Q > 0$ ；

数据计算模块，还用于：

将未匹配采样点中位于第二点云帧中的采样点聚类，得到至少一个点云簇；

为至少一个点云簇中的第一点云簇分配初始生命值；

根据未匹配采样点中位于 Q 个点云帧中的采样点，确定 Q 个点云帧中的点云簇；

根据第一点云簇的位置和 Q 个点云帧中的点云簇的位置，确定多个连续的点云帧中的虚警目标。

在上述实施方式中，测试装置将未匹配点云聚类得到多个点云簇，每个点云簇被赋予初始生命值。对于在某一点云帧中存在的一个点云簇，将该点云帧与后续的点云帧进行匹配。若之后的点云帧中存在与其匹配的点云簇，则将该点云簇的生命值增加，反之则降低该点云簇的生命值；如此重复匹配多个点云帧。若点云簇的生命值到达第一阈值时，该点云簇形成虚警目标。若点云簇的生命值达到第二阈值或者低于第三阈值，则该点云簇不形成虚警目标，可选可以丢弃该点云簇。

一些场景中，在匹配点云簇时，根据点云帧中的点云簇的大小确定点云簇框，该匹配框可以包住簇内的点云。对于当前点云帧，若下一点云帧中存在点云簇框与当前帧的点云簇框有重合部分，计算点云簇框与点云簇框之间的重合度矩阵，建立框间关联。若下一点云帧中存在点云簇框与当前帧的点云簇框匹配成功，则此点云簇生命值增加；反之则点云簇生命值降低。

在第二方面的又一种可能的实施方式中，未匹配点云还可以用于确定虚警率。

示例性的，点云测试装置根据参与预警目标计算的点云帧的数量和虚警点云帧的数量，确定虚警率。其中，虚警点云帧为存在虚警目标的点云帧，或者，虚警点云帧为包含至少一个生命值达到第一阈值的点云簇的点云帧。

示例性的，虚警率 $\rho$ 满足如下式子：

$$\rho = \frac{n_{false}}{n} \times 100\%$$

其中， $n$ 为参与虚警目标计算的点云帧的帧数， $n_{false}$ 为存在虚警目标的帧数。

在第二方面的又一种可能的实施方式，未匹配真值可以用于漏检判断。漏检即某些情况下，目标存在而雷达判断为无目标没有输出点云这一事件。点云的漏检可以对应未匹配点云的真值。

在第二方面的又一种可能的实施方式中，二维点云包含第三点云帧，匹配结果集合包含第三点云帧对应的未匹配真值；

数据计算模块，还用于：

根据第三点云帧对应的未匹配真值，确定第三点云帧中的疑似漏检目标；

根据至少一个体目标与雷达之间的视野关系，确定被遮挡的体目标；

过滤第三点云帧中的疑似漏检目标中被遮挡的体目标，确定第三点云帧包含的漏检目标。

在第二方面的又一种可能的实施方式中，数据计算模块，还用于

根据至少一个体目标中的第五体目标与 DUT 之间的连线与其他体目标的边的相交情况，确定第五体目标是否被遮挡。

根据至少一个体目标中的第五体目标与 DUT 之间的连线与其他体目标的边的相交情况，确定第五体目标是否被遮挡。

例如，若第五体目标的多个角点中存在  $V$  个被遮挡角点，则第五体目标被遮挡， $V$  为整数且  $V > 0$ ，其中被遮挡角点为角点连线与其它体目标的边相交的角点。

再如，若第五体目标为遮挡目标，则其满足如下两个条件：①第五体目标的  $V$  个角点与 DUT 的连线与其它体目标的边相交， $V$  为整数且  $V > 0$ ；②第五体目标中有效边的数量大于等于第四阈值。其中第四阈值可以是预先定义或者预先设置的。例如，第四阈值可以为 4，或者第四阈值为 1。其中，有效边可以通过如下方式确定：对于第五体目标中的任一角点或任一边角点（边角点指位于边上的角点），若该角点（或该边角点）与 DUT 的连线相交于第五体目标任一边，则该角点（或该边角点）所在的边无效。若第五体目标中的第一边上的角点与 DUT 的连线均与第五体目标中的其它边不相交，则该第一边为有效边。

在第二方面的又一种可能的实施方式中，在漏检判断时，可以在点云帧中对未匹配真值对应的区域进行跟踪，采用多帧关联的方式确定体目标是否被漏检。

示例性的，当连续三点云帧存在对于某一体目标的漏检时，该体目标为确定漏检目标。

在第二方面的又一种可能的实施方式中，未匹配真值还可以用于确定漏检率。

示例性的，点云测试装置根据参与预警目标计算的点云帧的数量和漏检点云帧的数量，确定漏检率。其中，漏检点云帧为存在漏检目标（或确定漏检目标）的点云帧。

示例性的，漏检率 $\gamma$ 满足如下式子：

$$\gamma = \frac{n_{lose}}{n} \times 100\%$$

其中， $n$ 为参与漏检目标计算的点云帧的帧数， $n_{lose}$ 为漏检点云帧的帧数。

第三方面，本申请实施例提供一种芯片，该芯片包括处理器。当处理器调用计算机程序或指令时，使前述第一方面任一项所描述的方法被执行。也即，处理器用于实现第一方面任一项的描述的方法。

可选的，芯片还包括通信接口，通信接口用于接收和/或发送数据，和/或，通信接口用于为处理器提供输入和/或输出。

可选的，芯片还可以包含存储器，存储器可以用于存储计算机程序或指令。进一步的，存储器可以位于处理器之外，或者，与存储器集成在一起。

第四方面，本申请实施例提供一种计算设备，该计算设备包括处理器；当处理器调用存储器中的计算机程序或指令时，使前述第一方面任一项所描述的方法被执行。

可选的，计算设备还包括通信接口，通信接口用于接收和/或发送数据，和/或，通信接口用于为处理器提供输入和/或输出。

需要说明的是，上述实施例是以通过调用计算机指定来执行方法的处理器（或称通用处理器）为例进行说明。具体实施过程中，处理器还可以是专用处理器，此时计算机指令已经预先加载在处理器中。可选的，处理器还可以既包括专用处理器也包括通用处理器。

可选的，计算设备还可以包含存储器，存储器可以用于存储计算机程序或指令。进一步的，存储器可以位于处理器之外，或者，与存储器集成在一起。

第五方面，本申请实施例提供一种点云测试系统，点云测试系统包含数据预处理模块、数据匹配模块和数据计算模块，点云测试用于实现第一方面任一项所描述的方法。

进一步的，点云测试系统还包含数据统计模块，数据统计模块用于统计匹配结果。

进一步的，点云测试系统还包含数据存储模块，存储模块用于保存初始真值数据和初始点云。进一步，还用于保存真值数据、点云、匹配结果集合、测试项结果等。

进一步的，点云测试系统还包含测试车，测试车上安装真值系统和 DUT，真值系统用于采集初始真值数据，DUT 用于采集初始点云。可替换的，测试车可以替换为可行进的终端，例如无人机、或机器人等交通工具或者智能终端。

第六方面，本申请实施例提供一种计算机可读存储介质，计算机可读存储介质用于存储指令或计算机程序，当指令或计算机程序被执行时，实现前述第一方面任一项所描述的方法。

第七方面，本申请提供了一种计算机程序产品，计算机程序产品包括计算机指令或计算机程序，

指令或计算机程序被执行时，实现前述第一方面任一项所描述的方法。

可选的，该计算机程序产品可以为一个软件安装包或镜像包，在需要使用前述方法的情况下，可以下载该计算机程序产品并在计算设备上执行该计算机程序产品。

本申请第二至第七方面所提供的技术方案，其有益效果可以参考第一方面的技术方案的有益效果，此处不再赘述。

## 附图说明

下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单的介绍。

图 1 是一种基于点目标的点云测试技术的示意图；

图 2 是本申请实施例提供的一种体目标的真值和体目标的点云的采集场景示意图；

图 3 是本申请实施例提供的一种点云测试系统的架构示意图；

图 4 是本申请实施例提供的一种点云测试方法的流程示意图；

图 5 是本申请实施例提供的一种真值数据和点云的示意图；

图 6 是本申请实施例提供的一种二维真值数据的示意图；

图 7 是本申请实施例提供的一种二维点云的示意图；

图 8 是本申请实施例提供的一种点云帧和真值帧的示意图；

图 9 是本申请实施例提供的一种真值框的示意图；

图 10 是本申请实施例提供的一种匹配结果的示意图；

图 11 是本申请实施例提供的又一种点云测试方法的流程示意图；

图 12 是本申请实施例提供的一种三维真值框的示意图；

图 13 是本申请实施例提供的一种匹配结果的示意图；

图 14 是本申请实施例提供的一种可能的匹配采样点数量的示意图；

图 15 是本申请实施例提供的一种采样点与 DUT 的距离示意图；

图 16 是本申请实施例提供的又一种采样点与 DUT 的距离示意图；

图 17 是本申请实施例提供的一种可能的未匹配点云的示意图；

图 18 是本申请实施例提供的又一种虚警判断方法的流程示意图；

图 19 是本申请实施例提供的一种体目标的位置示意图；

图 20 是本申请实施例提供的一种点云测试装置的结构示意图；

图 21 是本申请实施例提供的一种计算设备的结构示意图。

## 具体实施方式

下面将结合附图对本申请实施例作进一步地详细描述。

为了便于理解，以下示例地给出了部分与本申请实施例相关概念的说明以供参考。如下：

1.探测装置：探测装置能够输出点云，包含但不限于是雷达或激光雷达等。其中，雷达可以为毫米波雷达、厘米波雷达等。一些场景中，同时集成雷达和相机的装置（融合探测装置）也可以输出点云，该融合探测装置也落入本申请探测装置的范围。

2.视场：探测装置的发射端与目标之间，和/或，探测装置的接收端与目标之间，需要具有信号（例如无线电波、激光）传输不中断的视线区域（line of sight, LOS）。该视线区域即可以理解为视野。

3.待测装置（device under test, DUT）：被测试的探测装置。

4.真值：真值是指在一定的时间及空间(或位置、状态)条件下，被测的目标所展现的真实值。真值是一个变量本身所具有的真实值，通常是一个理想的概念。本申请实施例中，真值可以为参考真值。

5.体目标：体目标可以看作是具有长度、高度和宽度中至少两项的物体，作为测试 DUT

的目标。DUT 对一个体目标进行探测时，通常可以得到多个采样点。

示例性的，体目标包含但不限于是球体、长方体（包含正方体）、平板、圆柱、或圆形顶帽中的一项或者多项。不难看出，探测装置在探测体目标时，在不同的视角下能够探测到体目标的不同表面。一些场景中，在探测装置对体目标进行探测的过程中，体目标具有位姿、尺寸等特征，从而更接近于生产、生活环境中的物体（包括有生命的生物）。

以上对于技术术语的说明可选使用在下文的实施例中的。

点云的质量代表了探测装置的探测能力。目前，行业内对探测装置输出的点云的测试（以下简称点云测试）一直以来都是探测装置的重点测试项。

如图 1 所示是一种基于点目标的点云测试技术的示意图。被测雷达（示例性的 DUT）被至于可旋转转台上，并放置在微波暗室（地面、墙壁、顶面全部都装有吸波材料）场地进行。微波暗室中还存在雷达目标模拟器，雷达目标模拟器可模拟不同距离和速度的点目标。被测雷达对点目标进行探测（图 1 所示的双向箭头表示雷达信号发射的及其回波），以评估被测雷达的测远距离及精度。

如图 1 所示，基于点目标的点云测试技术已经日趋成熟。但是，点目标与实际目标具有较大的差别。而实际目标可以通过体目标来表示，探测装置对体目标进行探测时会输出多个采样点，目前针对体目标点云的自动化测试方案基本处于空白阶段。业内亟需对 DUT 针对体目标输出的点云进行测试。

有鉴于此，本申请实施例提供一种点云测试方法及装置。本申请实施例将体目标的真值和体目标的点云进行匹配，得到 DUT 输出的体目标的点云与体目标真值之间的匹配情况。由于体目标更接近实际目标，因此通过本申请实施例可以更准确地测试探测装置输出的点云质量，有利于对探测装置的探测能力进行评估。

下面先示例性地介绍一种获取体目标的真值和体目标的点云的方式。

请参见图 2，图 2 是本申请实施例提供的一种体目标的真值和体目标的点云的采集场景示意图，在车辆上装载待测装置。将车辆置于环境试验场中，进一步的，车辆可以在环境试验场中行进。环境试验场中还设置了一个或者多个体目标，如图 2 所示的体目标 T1、体目标 T2、体目标 T3 和体目标 T4。待测装置能够采集初始点云（或称原始点云），其中包含了对前述的体目标进行探测得到的点云。

一种实施方式中，车辆中还包含真值系统，真值系统能够采集初始真值数据，初始真值数据的真值精度满足预设的精度要求。示例性地，真值系统例如包含激光雷达、或能够得到深度数据的相机等。

当然，前述的车辆是一种装载探测装置的示例性设备，可替换为其他安装台、或行进装置等，例如物流机器人、无人机等交通工具。

下面介绍一种本申请的点云测试系统的架构示意图。需要说明的是，本申请描述的系统架构及业务场景是为了更加清楚的说明本申请的技术方案，并不构成对于本申请提供的技术方案的限制。随着系统架构的演变和新业务场景的出现，本申请提供的技术方案对于类似的技术问题，同样适用。

请参见图 3，图 3 是本申请实施例提供的一种点云测试系统的架构示意图，点云测试系统 30 包含点云测试装置 301。点云测试装置 301 具有计算能力，能够对体目标的真值和体目

标的点云进行匹配，得到 DUT 输出的体目标的点云与体目标真值之间的匹配情况。

如图 3 所示，点云测试装置 301 包含数据匹配模块，上述匹配操作可以由数据匹配模块来完成。可选的，测试装置还包含数据计算模块、数据统计模块和可视化模块中的一项或者多项。数据计算模块和数据统计模块用于根据匹配结果评估待测装置的探测能力。可视化模块用于输出测试报告，测试报告可以指示待测装置的探测能力。

可选的，点云测试系统 30 进一步包含数据预处理模块。数据预处理模块能够对测试车采集的数据进行预处理。测试车采集的数据包含初始点云，可选还包含真值数据(如图 2 所示)。

结合图 3 和图 2，测试车上装载有 DUT，DUT 能够对测试场中设置的待测目标进行探测，待测目标为体目标。可选的，测试车上设置了数据存储模块，测试车采集的数据可以存储于该数据存储模块中。数据预处理模块能够从数据存储模块获取测试车采集的数据，例如通过通信方式获取、或者通过拷贝的方式获取等。

一些场景中，数据预处理模块可以包含于点云测试装置 301 内。或者，数据与处理模块也可以位于点云测试装置 301 外。

一种可能的实现中，数据预处理模块可以位于数据中心 (Data Center, DC) 中，点云测试装置 301 可以从 DC 获取经过预处理的点云，或者以及真值数据。

另外，本申请实施例中装置、模块的名称仅为示例，具体实施过程中，装置、模块等的名称可以任意替换。

下面对本申请实施例的方法进行介绍。请参见图 4，图 4 是本申请实施例提供的一种点云测试方法的流程示意图。可选的，该方法可以基于图 3 所示的系统来实现。

如图 4 所示的点云测试方法可以包括步骤 S401 至步骤 S404 中的一个或多个步骤。应理解，此处为了方便描述，故通过 S401 至 S404 这一顺序进行描述，并不旨在限定一定通过上述顺序进行执行。本申请实施例对于上述一个或多个步骤的执行的先后顺序、执行的时间、执行的次数等不做限定。S401 至步骤 S404 具体如下：

步骤 S401：点云测试装置获取真值数据和点云。

其中，点云测试装置是具有计算能力的装置，例如服务器、个人计算机 (personal computer, PC)、或智能终端等。当点云测试装置通过服务器来实现时，用于实现其功能的服务器的数量也可以是一个，也可以是多个 (如服务器集群)。一些可能的方案中，点云测试装置可以通过软件功能单元来实现。示例性地，点云测试装置可以通过虚拟机、容器、云端等来实现。其中，虚拟机是通过软件模拟的具有完整硬件系统功能的、运行在隔离环境中的计算机系统。容器是将应用和应用依赖包进行打包得到的隔离环境。云端是采用应用程序虚拟化技术的软件平台，能够让一个或者多个软件、应用在独立的虚拟化环境中开发、运行。

真值数据为体目标的真值 (或参考真值)。例如，真值数据可以为真值系统对体目标进行探测得到的。再如，真值数据还可以经过用户标注或者人工智能程序修正，以降低真值数据与体目标的真实状态之间的误差。

点云即点 (即采样点) 的集合，集合中包含了一个或者多个采样点。集合中的一个采样点通常代表了一组数据，该数据可以指示坐标、距离、强度、速度、反射率、或颜色等特征。

在对 DUT 进行点云测试的场景下，点云为 DUT 对体目标进行探测得到的探测结果。示例性的，DUT 可以发射探测信号，并接收探测信号的回波，该回波可以处理得到点云。

前述真值数据和点云均为关于体目标的数据。可选的，体目标的数量可以是一个或者多个。部分实施例中将体目标的数量描述为至少一个。应理解，在探测装置对视野进行探测的



过程中,某些时刻,由于探测装置的角度、运动路线等原因,其视野可能没有覆盖或者没有完全覆盖体目标。但上述特殊情况不影响在探测装置在其视野覆盖体目标的情况下对体目标的探测。

在一种可能的实施方式中,真值数据和点云的坐标对齐。示例性地,真值和点云分别通过安装在车辆上的真值系统和 DUT 探测得到,真值数据和点云的原点可以被转换为车辆的后轴中心。

请参见图 5,图 5 是本申请实施例提供的一种真值数据和点云的示意图,其中,真值数据如图 5 的 (a) 部分所示,点云如图 5 的 (b) 部分所示,二者的坐标轴对齐,即具有相同的原点。进一步的,其坐标轴方向也是对齐的。坐标轴对齐,可以降低计算时的复杂度,提高匹配时的准确度,进而提升点云测试的准确性。

如图 5 所示,真值数据是体目标的参考性的真值,真值数据也可以包含多个点。为了便于区分,图 5 将真值中的点以实心黑点表示,将 DUT 获得的点云中的点以空心点表示。当然,这只是便于区分真值和待测的点云,并不表示二者在呈现方式、或数据内容等方面的差异。另外,为了便于看出体目标的轮廓,图 5 中用虚线表示体目标的轮廓线,在实际实施过程中,真值和/或点云中可能不一定存在体目标的轮廓线。

在一种可能的实施方式中,真值数据和点云的时间对齐。例如,真值数据包含从第一时刻至第二时刻的 A 个帧,A 为整数且  $A > 0$ ;点云包含从第三时刻到第四时刻的 B 个帧,B 为整数且  $B > 0$ 。在二者时间对齐的情况下,对于 B 帧中的任一帧,可以找到在时间戳上与其最接近的一帧真值。

可选的,真值数据和点云的帧率可以相同,或者,不同。其中,帧率通常用于描述单位时间内的帧的数量,每一帧可以为探测装置对视野完成一次探测得到的数据。例如,点云的帧率可以为每秒 120 帧,类似地,真值数据也可以为每秒 120 帧。再如,点云的帧率可以为每秒不低于 100 帧。

在一种可能的实施方式中,真值数据和点云经过预处理。示例性的,数据预处理包括点云与真值数据的时间对齐、坐标转换、或格式转换等,预处理之后的数据被提供给点云测试装置以进行点云测试。

可选的,预处理可以由点云测试装置完成。例如,点云测试装置将初始真值数据和初始点云进行预处理,得到前述的真值数据和点云。

或者可选的,预处理可以由其他模块或设备完成。如图 3 所示的系统中,预处理模块将初始真值数据和初始点云经过预处理后提供给点云测试装置,相应的,点云测试装置可以获取真值数据和点云。

步骤 S402:点云测试装置将真值数据投影得到二维真值数据。

其中,由于真值数据表示了体目标的真值,而体目标的真值是三维的。投影是指将真值数据投射到平面上。

作为一种投影的示例,如图 5 的 (a) 部分所示,对于真值数据中的其中一个点  $F1$ ,在笛卡尔坐标系中,其位置可以表示为  $F1(x_1, y_1, z_1)$ 。请参见图 6,图 6 是本申请实施例提供的一种二维真值数据的示意图,如图 6 所示的二维真值数据是由如图 5 的 (a) 部分所示的真值数据投影得到的。点  $F1$  投影到 X-Y 平面,得到点  $F1'(x_1, y_1)$ 。可选的, $F1$  被投影的过程中,其 Z 轴维度上的数据被丢弃或者置为预设值(如 0)。

可理解的,投影后的点与投影前的点是一一对应的。即,投影过程没有产生新的点,对于一个二维真值数据中的  $F1'$ ,可以在真值数据中找到与之对应的点  $F1$ 。

在一种可能的实施方式中，点云测试装置将真值数据投影到水平平面。水平平面是指相对水平的水平平面。例如，根据原点建立三维笛卡尔坐标系，过原点，作三条互相垂直的数轴，即： $x$ 轴(横轴)、 $y$ 轴(纵轴)和 $z$ 轴(竖轴)。三维笛卡尔坐标系包含三个平面，即 $X$ - $Y$ 平面、 $Y$ - $Z$ 平面和 $X$ - $Z$ 平面。水平平面可以为其中一个平面，例如为 $X$ - $Y$ 平面。

可选的，原点、 $X$ 轴、 $Y$ 轴和 $Z$ 轴可以由用户或者厂商定义。作为一种可能的示例，示例性地，真值和点云分别通过安装在车辆上的真值系统和DUT探测得到，原点可以为车辆的后轴中心， $Y$ 轴可以为车辆的前向， $X$ 轴为车辆的侧向。当然，具体实施过程中上述参数可以通过其他方式来定义。

另外，上述是为了便于理解故使用笛卡尔坐标系以列举维度，具体实施过程中，坐标系还可以为球坐标系、极坐标系等。本申请对于投影所使用的坐标系、投影平面等不做严格限定。

在一种可能的实施方式中，投影得到的二维真值数据可以包含多个帧，便于描述，本申请各实施例将二维真值数据所包含的帧称为真值帧。进一步的，由于二维真值数据是由真值数据投影得到的，故其也包含多个时刻下的多个帧，便于区分称为原真值帧。

步骤S403：点云测试装置将点云投影得到二维点云。

作为一种投影的示例，如图5的(b)部分所示，点云中存在一点 $L1(x_2, y_2, z_2)$ 。请参见图7，图7是本申请实施例提供的一种二维点云的示意图，如图7所示的二维点云是由如图5的(b)部分所示的点云投影得到的。 $L1$ 投影到 $X$ - $Y$ 平面，得到点 $L1'(x_2, y_2)$ 。可选的， $L1$ 被投影的过程中，其 $Z$ 轴维度上的数据被丢弃或者置为预设值(如0)。

在一种可能的实施方式中，点云测试装置将点云投影到水平平面，得到二维点云。水平平面例如为 $X$ - $Y$ 平面。相关描述可以参考步骤S402，此处不再赘述。

可选的，投影得到的二维点云可以包含多个帧，便于描述，本申请各实施例将二维点云所包含的帧称为点云帧。进一步的，由于二维点云是由点云投影得到的，故其也包含多个时刻下的多个帧，便于区分称为原点云帧。

在一种可能的实施方式中，二维点云和二维真值的时间对齐。图8是本申请实施例提供的一种可能的点云帧和真值帧的示意图，二维真值数据包含真值帧#0、真值帧#1、真值帧#2、真值帧#3等真值帧(数量仅为示例)，二维点云包含点云帧#0、点云帧#1、点云帧#2、点云帧#3等点云帧(数量仅为示例)。示例性地，与点云帧#0在时间戳上对齐的真值帧为真值帧#0，类似的，与点云帧#1在时间戳上对齐的真值帧为真值帧#1，其余情况以此类推。当然，以上的编号仅为示例，不作为对本申请实施例的限定。

可选的，在二维真值数据的帧率与二维点云的帧率不相同的情况下，点云帧和真值帧不一定一一对应。这种情况下，后续的匹配过程可以查找与点云帧时间戳最近的真值帧进行匹配。

步骤S404：点云测试装置将二维点云与二维真值数据进行匹配，得到匹配结果集合。

其中，匹配是指验证采样点与体目标的真值是否能够对应(或关联)的过程。对于二维点云中的采样点，将其与二维真值数据进行匹配，从而确定采样点是否能对应(或关联)到某一体目标的真值。

匹配结果集合可以包含以下一种或者多种匹配结果：匹配采样点、未匹配采样点和未匹配真值等。其中，匹配采样点为与体目标的真值成功匹配的采样点，未匹配采样点为未与体目标的真值成功匹配的采样点，未匹配真值为未与任一采样点成功匹配的真值。

作为一种可能的实施方式，匹配点云的数量通常与点云质量正相关，未匹配点云的数量

和未匹配真值的数量与点云质量负相关。可以看出，匹配结果初步反映了点云的准确度，有利于后续对于不同类别的匹配结果进行分类测试，提高点云测试的丰富度和准确度。

在一种可能的实施方式中，二维点云和二维真值在匹配时，按帧进行依次匹配。可选的，可以按真值帧进行依次匹配，或者按点云帧进行依次匹配。

作为一种按点云帧进行依次匹配的示例，以图 8 所示的点云帧为例，点云测试装置将点云帧#0 与同一时刻下的真值帧（即真值帧#0）进行匹配，将点云帧#1 与同一时刻下的真值帧（即真值帧#1）进行匹配，其余点云帧以此类推。可理解的，若二维点云的帧率低于二维真值数据的帧率，则可能存在部分真值帧未进行匹配的情况；若二维点云的帧率低于二维真值数据的帧率，则可能存在多个点云帧会匹配到同一帧真值帧的情况。按点云帧进行匹配的方式以点云帧为主，可以避免出现漏点云帧的情况，便于测试点云的出点数、探测精度等。

作为一种按真值帧进行依次匹配的示例，以图 8 所示的帧为例，点云测试装置将真值帧#0 与同一时刻下的点云帧（即点云帧#0）进行匹配，将真值帧#1 与同一时刻下的点云帧（即点云帧#1）进行匹配，其余真值帧以此类推。

下面介绍两种二维点云与二维真值数据进行匹配的可能实现方式：

实现方式 1，在匹配时，使用体目标的二维真值（即经过投影后的体目标的真值）进行匹配。以点云帧#0 为例，若点云帧#0 中的采样点（便于描述称为采样点 P1）与体目标中的真值（或真值中的某一点）重合或者距离小于预设匹配距离阈值，则该采样点 P1 属于匹配采样点。若点云帧#0 中的采样点（便于描述称为采样点 P2）与任意一个体目标的真值（或真值中的某一点）都不重合，或者与任意一个体目标的真值（或真值中的某一点）的距离均大于预设匹配距离阈值，则该采样点 P2 属于未匹配采样点。若点云帧#0 中的采样点中任意一个采样点均未与某一体目标（便于区分称为 Target1）匹配成功，则 Target1 属于未匹配真值（或点云帧#0 下的未匹配真值）。

实现方式 2，点云测试装置根据二维真值数据建立真值框，根据真值框和采样点，得到匹配结果。例如，根据真值框的范围的采样点的位置，得到匹配结果。再如，根据采样点与真值框的距离，得到匹配结果。可选的，真值框的大小可以根据需求设计，例如与体目标的真值的尺寸大小相关。

作为一种可能的示例，以真值帧#0 的匹配为例，点云测试装置确定真值帧#0 中的真值框。根据真值框的范围和点云帧#0 中的采样点的位置，得到匹配结果子集。其中，点云帧#0 与真值帧#0 为时间戳对齐（或者位于同一时刻下），或者，真值帧#0 为离点云帧#0 的最近的一个真值帧，或者，点云帧#0 为离真值帧#0 的最近的一个点云帧。可选的，真值框数量通常与体目标的数量相同，一个真值框对应一个体目标。

图 9 是本申请实施例提供的一种真值框的示意图，该真值框示例性为真值帧#0 中的真值框，框的数量为多个，便于区分分别表示为真值框 C1、真值框 C2、真值框 C3 和真值框 C4。结合图 1 不难看出，真值框 C1 对应体目标 T1，真值框 C2 对应体目标 T2，真值框 C3 对应体目标 T3，真值框 C4 对应体目标 T4。

作为一种可能的示例，在匹配时，点云测试装置搜索对应的点云帧中位于真值框中的采样点，若采样点落入真值框则匹配成功。可理解的，匹配时可能会出现如下匹配结果：对于某一个采样点，其可能落入一个或者多个真值框，也可能未落入任何一个真值框；而对于某一个真值框，其范围内可能包含一个或者多个采样点，也可能未包含采样点。

请参见图 10，图 10 是本申请实施例提供的一种匹配结果的示意图，其示出了点云帧#0 的匹配结果，包含如下三类：

类别 1, 匹配采样点。对于点云帧#0 中的第一采样点, 若第一采样点落入第一真值框(第一真值框对应第一体目标), 则该第一采样点属于匹配采样点, 且第一采样点与第一体目标的真值匹配(或与第一体目标匹配)。如图 10 所示, 第一采样点例如点 P1, 其落入真值框 C1, 即与体目标 T1 的真值(或与体目标 T1) 匹配; 第一采样点还可以如点 P3, 其落入真值框 C2, 即与体目标 T2 的真值(或与体目标 T2) 匹配; 第一采样点还可以如点 P4, 其落入真值框 C3, 即与体目标 T3 的真值(或与体目标 T3) 匹配。

类别 2, 未匹配采样点。对于点云帧#0 中的第二采样点, 若第二采样点未落入任意一个真值框的情况下, 第二采样点属于未匹配采样点。如图 10 所示, 第二采样点例如点 P2, 其未落入 4 个真值框中的任一真值框中, 属于未匹配采样点。

类别 3, 未匹配真值。若点云帧#3 中任意一个采样点均未落入第一真值框, 则第一真值框对应的真值属于未匹配真值。如图 10 所示, 点云帧#0 中的采样点均未落入真值框 C4, 故体目标 T4 的真值为未匹配真值。

以上图 10 所示的结果仅为示例。一些场景中, 匹配时可以得到更多或者更少类别的结果, 此处不再一一列举。

由于真值框的数量可能为多个, 在匹配时可能存在采样点能够与多个真值框匹配的情况。在一种可能的实施方式中, 当采样点(便于区分称为第三采样点)落入多个真值框的情况下, 可以通过第三采样点与体目标的真值之间的位置关系, 确定第三采样点所匹配的体目标的真值(或体目标)。其中, 位置关系可以是距离远近、是否包含、或重叠程度等。

需要说明的是, 在确定位置关系时所使用的采样点和体目标的真值, 可以是经过投影的(即分别属于二维点云和二维真值数据), 或者, 也可以是未经过投影的(即属于点云和真值数据)。

在一种可能的实施方式中, 以第一点云帧为例, 在第一点云帧包含第三采样点且第三采样点落入至少两个真值框的情况下, 点云测试装置根据第三采样点与至少两个真值框对应的体目标的真值之间的位置, 确定与第三采样点匹配的体目标的真值。这里的第一点云帧、第三采样点均为了区分表示某一个量, 不作为顺序、重要程度等的限定。

在一种可能的实施方式中, 测试装置可以通过如下方式确定采样点所匹配的体目标的真值: 将至少两个真值框对应的体目标的真值, 与第三采样点建立点对(或称对应点对), 根据点对构造距离矩阵, 得到真值与第三采样点之间的距离, 将距离最近的真值作为与第三采样点匹配的真值。通过构建距离矩阵, 能够更加准确的确定采样点与真值之间的距离关系, 确定与采样点匹配的体目标的真值, 提升点云测试的准确性。

在一种可能的实施方式中, 点云测试装置还可以通过匹配结果集合, 对 DUT 得到的点云的精度、虚警、漏检等进行评估。其中, 精度可以包含点云数量、测距精度、测速精度或高度精度等中的一项或者多项。

在图 5 所示的实施例, 点云测试装置基于体目标的真值和体目标的点云进行匹配, 得到 DUT 输出的体目标的点云与体目标真值之间的匹配结果集合。由于体目标更接近实际目标, 因此通过本申请实施例可以更准确地测试探测装置输出的点云质量, 有利于对探测装置的探测能力进行评估。而且, 通过自动化地对比体目标的真值和体目标的点云来得到匹配结果, 能够显著缩小评估误差, 提升测试精度和测试效率。

另外, 图 5 所示的实施例, 真值数据和点云都分别被处理为二维的数据, 在匹配时基于二维的数据来进行匹配。一方面节省了匹配时的计算量, 提升了测试效率。另一方面, 对探测装置的评估主要关注其测距能力、测速能力和角度分辨能力, 这几种能力与探测结果中

对纵向和横向的数据更相关，因此对数据进行二维投影可以在不显著丧失准确性的情况下测试探测装置输出的点云质量。

而且，考虑到一些场景中探测装置的高度精度较低，将数据投影到 X-Y 平面进行匹配可以降低由于高度精度较低带来的匹配误差，提升测距、测速等测试项的准确性。

以上对投影后匹配的点云测试方式进行了介绍。在一些可能的实施方式中，将点云和真值数据进行匹配时，也可以不经过投影而直接在三维上进行匹配。

请参见图 11，图 11 是本申请实施例提供的又一种点云测试方法的流程示意图。可选的，该方法可以基于图 3 所示的系统来实现。

如图 11 所示的点云测试方法可以包括步骤 S1101 至步骤 S1103 中的一个或多个步骤。应理解，此处为了方便描述，故通过 S1101 至 S1103 这一顺序进行描述，并不旨在限定一定通过上述顺序进行执行。本申请实施例对于上述一个或多个步骤的执行的先后顺序、执行的时间、执行的次数等不做限定。S1101 至步骤 S1103 具体如下：

步骤 S1101：点云测试装置获取真值数据和点云。具体参见步骤 S401。

可选的，真值数据可以包含多个真值帧（或称原真值帧），点云可以包含多个点云帧（或称原点云帧）。相关描述可以参见前述对真值帧和点云帧的描述，但此实施例中的点云帧和真值帧未经过投影。

真值数据和点云的时间对齐，和/或，坐标对齐。例如，真值帧#0 对应点云帧#0，具体可以参考图 8 的相关描述。

步骤 S1102：点云测试装置根据真值数据建立三维匹配框。

可选的，三维真值框数量通常与体目标的数量相同，一个三维真值框对应一个体目标。

请参见图 12，图 12 是本申请实施例提供的一种三维真值框的示意图，该三维真值框示例性为真值帧#0 中的三维真值框，框的数量为多个，便于区分在图 12 中表示为真值框 D1、真值框 D2、真值框 D3 和真值框 D4，分别对应体目标 T1-T4。

步骤 S1103：点云测试装置将点云与三维匹配框进行匹配，得到匹配结果集合。

其中，匹配结果集合包含以下三类匹配结果中的至少一类：匹配采样点、未匹配采样点和未匹配真值等。

作为一种可能的示例，以真值帧#0 的匹配为例，点云测试装置确定真值帧#0 中的三维真值框。根据三维真值框的范围和点云帧#0 中的采样点的位置，得到匹配结果子集。其中，点云帧#0 与真值帧#0 为时间戳对齐（或者位于同一时刻下），或者，真值帧#0 为离点云帧#0 的最近的一个真值帧，或者，点云帧#0 为离真值帧#0 的最近的一个点云帧。

在匹配时，点云测试装置搜索对应的点云帧中位于真值框中的采样点，若采样点落入真值框则匹配成功。可理解的，匹配时可能会出现如下匹配结果：对于某一个采样点，其可能包含于一个或者多个真值框，也可能包含进任何一个真值框；而对于某一个真值框，其范围内可能包含一个或者多个采样点，也可能未包含采样点。

请参见图 13，图 13 是本申请实施例提供的一种匹配结果的示意图，其示出了点云帧#0 的匹配结果，包含如下三类：

类别 1，匹配采样点。对于点云帧#0 中的第一采样点，若第一采样点包含于第一真值框（第一真值框对应第一体目标），则该第一采样点属于匹配采样点且第一采样点与第一体目标的真值匹配（或与第一体目标匹配）。如图 13 所示，第一采样点例如点 P5，其包含于真值框 D1，即与体目标 T1 的真值（或与体目标 T1）匹配。

类别 2, 未匹配采样点。对于点云帧#0 中的第二采样点, 若第二采样点未落入任意一个真值框的情况下, 第二采样点属于未匹配采样点。如图 13 所示, 第二采样点例如点 P6, 其未落入 4 个真值框中的任一真值框中, 属于未匹配采样点。

类别 3, 未匹配真值。若点云帧#3 中任意一个采样点均未落入第一真值框, 则第一真值框对应的真值属于未匹配真值。如图 13 所示, 真值框 D4 中不包含点云帧#0 中的任意一个采样点, 故体目标 T4 对应的真值为未匹配真值。

以上图 10 所示的结果仅为示例。一些场景中, 匹配时可以得到更多或者更少类别的结果, 此处不再一一列举。

在一种可能的实施方式中, 点云测试装置还可以通过匹配结果集合, 对 DUT 得到的点云的精度、虚警、漏检等进行评估。

相关描述还可以参考步骤 S404 中的描述, 但此实施例中的点云帧和真值帧未经过投影外。

在图 11 所示的实施例中, 点云测试装置基于体目标的真值和体目标的点云进行匹配, 得到 DUT 输出的体目标的点云与体目标真值之间的匹配结果集合。由于体目标更接近实际目标, 因此通过本申请实施例可以更准确地测试探测装置输出的点云质量, 有利于对探测装置的探测能力进行评估。而且, 通过自动化地对比体目标的真值和体目标的点云来得到匹配结果, 能够显著缩小评估误差, 提升测试精度和测试效率。

另外, 本申请实施例中将点云与三维匹配框进行匹配, 可以准确地计算出点云与体目标之间的位置关系并得到匹配结果, 点云测试的精度高。

在上述实施例, 点云测试装置可以得到匹配结果集合。下面介绍基于匹配结果集合中的部分或者全部匹配结果, 对 DUT 的点云进行评估的可能设计。

作为一种可能的设计, 匹配采样点可以用于对 DUT 输出点云进行精度测试。具体的, 点云测试装置根据匹配结果集合中的匹配采样点, 得到关于 DUT 的精度评估数据。其中, 精度评估数据包含匹配采样点数量、测距精度、速度精度和高度精度中的一项或者多项。下面分别针对几种测试项进行说明:

测试项 1, 匹配采样点数量。匹配采样点数量是与体目标的真值匹配的采样点的点数, DUT 的点云数量能够反映算法处理能力。

作为一种可能的实施方式, 匹配采样点数量可以是以单目标为单位进行计算的。例如, 以第四体目标为例, 点云测试装置根据匹配采样点中与第四体目标的真值匹配的采样点的数量, 得到关于第四体目标的匹配采样点数量。

可选的, 针对单目标的匹配采样点数量, 也可以有多种可能的计算方式。例如, 计算方式 1 为: 将多个点云帧中与第四体目标的真值匹配的采样点的数量进行累加得到。再如, 计算方式 2 为: 罗列每一个点云帧中与第四体目标的真值匹配的采样点的数量。再如, 计算方式 3 为: 计算多个点云帧中与第四体目标的真值匹配的采样点的数量的平均值。

请参见图 14, 图 14 是本申请实施例提供的一种可能的匹配采样点数量的示意图。如图 14 所示, 真值框 C1 (体目标 T1 对应的真值框) 可以与点云帧#0、点云帧#1、点云帧#2 和点云帧#3 中的采样点匹配, 在点云帧#0 中, 在真值框 C1 中的采样点的数量为 38; 在点云帧#1 中, 在真值框 C1 中的采样点的数量为 39; 在点云帧#2 中, 在真值框 C1 中的采样点的数量为 20; 在点云帧#3 中, 在真值框 C1 中的采样点的数量为 15。在采用计算方式 1 的情况下, 体目标 T1 对应的匹配采样点数量为 112。

上述是以一个体目标的匹配采样点数量为例进行说明。在具体实施过程中, 若体目标的

数量为多个，则匹配采样点数量也可以为多项。如表 1 所示是本申请实施例提供的一种体目标对应的匹配采样点数量，包含序号、体目标的 ID 及其对应的匹配采样点的数量。例如，体目标 T1 对应的匹配采样点数量为 112，体目标 T2 对应的匹配采样点数量为 287，其余情况参见表 1。当然，表 1 的格式、属性、数字等仅为示例。

表 1 体目标对应的匹配采样点数量

序号	体目标 ID	匹配采样点数量
1	T1	112
2	T2	287
3	T3	147
4	T4	70
.....	.....	.....

一些场景中，匹配采样点数量也可以以多目标为例进行计算。例如，将每个体目标分别的匹配采样点数量累加得到匹配采样点数量。

应理解，上述仅是为了便于理解故通过表格形式对匹配采样点数量进行说明，并不旨在限定匹配采样点数量的存储形式、输出形式和传输形式。具体实施过程中，也可以通过其他数据格式指示匹配采样点数量，例如链表、堆、栈、数据库表、对象等，此处不在一一举例。同理，本申请其他表格也是示例性的数据格式，不作为对本申请方案的严格限定。

测试项 2，测距精度。其中，测距精度可以包含横向测距精度、径向测距精度、纵向测距精度等中的一项或者多项。测距精度能够反映 DUT 对体目标的位置检测的准确度，精度越高越有利于后端功能处理。例如，精度越高，越有利于提升以下功能的准确度：碰撞告警、可通行区域的识别等。

作为一种可能的实施方式，测距精度可以是以单目标为单位进行计算的。例如，以第二体目标为例，点云测试装置根据与第二体目标的真值匹配的采样点和第二体目标的真值，确定关于第二体目标的测距精度。

一种可能的实施方式中，匹配采样点中包含与第二体目标的真值匹配的  $N$  个采样点， $N$  为整数且  $N > 0$ 。第二体目标的真值包含  $M$  个角点， $M$  为整数且  $M > 0$ 。其中，角点是在某方面属性特别突出的点。示例性地，角点可以是位于体目标的两条边的交叉点的点（或者与交叉点距离较近的点），和/或，体目标的边的中点（或者与中点较近的点）。一些场景中，角点的条件可以由用户或者厂商定义（例如设置特定条件进行角点检测）。例如，角点可以通过 Harris 角点检测算法得到的点。

点云测试装置通过  $N$  个采样点和  $M$  个角点可以评估 DUT 在探测第二体目标时的测距精度。

下面以单目标的横向测距精度为例进行说明。请参见图 15，图 15 是本申请实施例提供的一种采样点与 DUT 的距离示意图。在  $N$  个采样点中包含最近采样点， $M$  个角点中包含横向最近角点。第二体目标的横向测距精度与最近采样点和 DUT 之间的横向距离（即图 15 所示的  $X_{pi}$ ）以及横向最近角点与 DUT 之间的横向距离（即图 15 所示的  $X_{cj}$ ）相关。

例如，关于第二体目标的横向测距精度  $\sigma_x$  满足如下公式：

$$\sigma_x = |X_{pi} - X_{cj}|$$

其中， $X_{pi}$  是最近采样点和 DUT 之间的横向距离， $X_{cj}$  为横向最近角点和 DUT 之间的横向距离。

应理解，“最近”是指该点与预设某点之间的距离，前述以预设某点是 DUT 为例进行示

例，具体实施过程中可以替换为其他点或者其他装置。

参见图 15，最近采样点为 N 个采样点中与 DUT 相距最近（径向距离最近）的采样点。例如，N 个采样点与 DUT 之间的距离可以分别表示为  $D_{p1}, D_{p2}, D_{p3}, \dots, D_{pn}$ ，其中，最近采样点与 DUT 之间的距离  $D_{pi}$  满足如下式子：

$$D_{pi} = \min (D_{p1}, D_{p2}, D_{p3}, \dots, D_{pn})$$

类似地，横向最近角点为 M 个角点中与 DUT 之间的横向距离最近的角点。例如，M 个角点与 DUT 之间的横向距离可以分别表示为  $X_{c1}, X_{c2}, X_{c3}, \dots, X_{cm}$ ，其中，横向最近角点与 DUT 之间的横向距离  $X_{cj}$  满足如下式子：

$$X_{cj} = \min (X_{c1}, X_{c2}, X_{c3}, \dots, X_{cm})$$

下面以单目标的镜像测距精度为例进行说明。请参见图 16，图 16 是本申请实施例提供的又一种采样点与 DUT 的距离示意图。其中，在 N 个采样点中包含最近采样点，M 个角点中包含径向最近角点。第二体目标的径向测距精度与最近采样点和 DUT 之间的径向距离（即图 16 所示的  $D_{pi}$ ）以及横向最近角点与 DUT 之间的横向距离（即图 16 所示的  $D_{ck}$ ）相关。

例如，第二体目标的纵向测距精度  $\sigma_d$  满足如下式子：

$$\sigma_d = |D_{pi} - D_{ck}|$$

其中， $D_{pi}$  是最近采样点与 DUT 之间的径向距离， $D_{ck}$  为径向最近角点与 DUT 之间的径向距离。应理解，“最近”是指该点与预设某点之间的距离，前述以预设某点是 DUT 为例进行示例，具体实施过程中可以替换为其他点或者其他装置。

可选的，最近采样点的计算方式可以参考前述。

可选的，横向最近角点为 M 个角点中与 DUT 之间的径向距离最近的角点。例如，M 个角点与 DUT 之间的径向距离可以分别表示为  $D_{c1}, D_{c2}, D, \dots, D_{cm}$ ，其中，径向最近角点与 DUT 之间的径向距离  $D_{ck}$  满足如下式子：

$$D_{ck} = \min (D_{c1}, D_{c2}, D, \dots, D_{cm})$$

上述是以一个体目标的测距精度为例进行说明。在具体实施过程中，若体目标的数量为多个，则测距精度也可以为多项。如表 2 所示是本申请实施例提供的一种体目标对应的测距精度，包含序号、体目标的 ID、横向测距精度、或纵向测距精度等。例如，DUT 关于体目标 T1 的横向测距精度为  $\sigma_{x1}$ ，DUT 关于体目标 T1 的纵向测距精度为  $\sigma_{d1}$ 。DUT 关于体目标 T2 的横向测距精度为  $\sigma_{x2}$ ，DUT 关于体目标 T2 的纵向测距精度为  $\sigma_{d2}$ 。其余情况参见表 2，此处不在一一说明。当然，表 2 的格式、属性、数字等仅为示例。

表 2 关于体目标的测距精度

序号	体目标 ID	横向测距精度	纵向测距精度
1	T1	$\sigma_{x1}$	$\sigma_{d1}$
2	T2	$\sigma_{x2}$	$\sigma_{d2}$
3	T3	$\sigma_{x3}$	$\sigma_{d3}$
4	T4	$\sigma_{x4}$	$\sigma_{d4}$
.....	.....	.....	.....

一些场景中，测距精度也可以以多目标为例进行计算。例如，将每个体目标分别对应的测距精度进行平均，或者，加权平均，得到平均测距精度。

测试项 3，测速精度。测速精度反映 DUT 速度检测的准确度，测速精度可能影响智能驾驶功能的决策准确性。智能驾驶功能包含但不限于是自动紧急制动（autonomous emergency braking, AEB）、车道保持辅助（lane keeping assist, LKA）、自适应巡航控制系统（adaptive cruise control, ACC）、泊车辅助（parking assistance, PA）、或变道辅助（lane change assist, LCA）等。以 ACC 为例，ACC 可以根据前车的速度确定自车的行驶状态（例如加速还是减速），若对前车的测速不准确，则可能导致行驶安全。

作为一种可能的实施方式，测距精度可以是以单目标为单位进行计算的。例如，以第二



体目标为例，点云测试装置根据与第三体目标的真值匹配的采样点和第三体目标的真值，确定关于第二体目标的测距精度。

一种可能的实施方式中，匹配采样点中包含与第三体目标的真值匹配的  $K$  个采样点， $K$  为整数且  $K > 0$ 。  $K$  个采样点中包含最强采样点。可选的，最强采样点可以为回波能量最强的采样点。关于第三体目标的测速精度与最强采样点的径向速度和第三体目标的真值的径向速度相关。由于一个体目标可能对应多个点，该实施方式以最强采样点来评估测速误差，可以提升对测速精度的测试准确度。

示例性地，速度精度  $\sigma_v$  可以通过匹配点中的最强点径向速度与参考真值的径向速度误差绝对值大小来指示。例如，速度精度  $\sigma_v$  满足如下式子：

$$\sigma_v = |V_{pi} - V_t|$$

其中， $V_{pi}$  为最强采样点的径向速度， $V_t$  为第三体目标的真值的径向速度。

作为一种可能的实施方式，最强采样点为  $K$  个采样点中雷达散射截面 (radar cross section, RCS) 最强的采样点，与真值匹配的采样点为  $K$  个， $K$  个采样点的 RCS 分别表示为  $R_{p1}, R_{p2}, R_{p3}, \dots, R_{pK}$ 。最强采样点的 RCS 可以表示  $R_{pi}$ ，其可以满足如下式子：

$$R_{pi} = \max(R_{p1}, R_{p2}, R_{p3}, \dots, R_{pK})$$

可选的，前述第三体目标的真值的径向速度可以替换为第三体目标的径向速度。

测试项 4，高度精度。高度精度能够反映点云的高度测量的准确度。

一种可能的实施方式中，高度精度可以通过高度分布为匹配采样点的高度值中，位于中间的 50% 的数据分布范围和/或正常值分布范围来指示。

其中，中间的 50% 的数据通过如下方式得到：把匹配采样点对应的高度值由小到大排列并分成四等份，得到三个四分位数（处于三个分割点位置的数值），而第一个四分位数和第三个四分位数之间的数据即中间的 50% 的数据。通过分析中间的 50% 的数据的分布，得到中间的 50% 的数据分布范围。

进一步的，将第一个四分位数和第三个四分位数外扩 1.5 倍后得到两个正常值，位于这两个正常值之间的高度值即正常值数据，正常值数据的分布范围即正常值分布范围。

一些场景中，上述数据分布范围的确定可以通过箱线图统计来实现。箱线图统计适用于不严格服从正态分布的数据，且四分位数对异常值的耐抗性强，能够相对客观地识别异常值。

作为又一种可能的设计，匹配结果集合中的未匹配采样点可以用于虚警判断。虚警即某些情况下，目标不存在而探测装置判断为有目标并输出采样点的事件。虚警可以对应未与真值匹配的点云。

一种可能的实施方式中，在虚警判断时，可以对点云帧中的未匹配采样点进行跟踪（或追踪），采用多帧关联的方式确定点云中是否存在虚警。示例性的，二维点云包含多个连续的点云帧，匹配集合包含未匹配采样点。点云测试装置根据未匹配采样点中位于多个连续的点云帧中的采样点，确定多个连续的点云帧中的虚警目标。

下面提供一种可能的跟踪未匹配点云的方法。

若某一点云簇连续的多帧点云帧中出现多次，则可能形成虚警。具体的，点云测试装置将未匹配采样点中位于第二点云帧中的采样点聚类，得到点云簇，其中点云簇的数量可以为一个或者多个。点云测试装置为其中的第一点云簇分配初始生命值，根据第二点云帧之后的  $Q$  ( $Q$  为整数且  $Q > 0$ ) 个点云帧中的采样点，确定  $Q$  个点云帧中的点云簇。根据第一点云簇的位置和  $Q$  个点云帧中的点云簇的位置，确定多个连续的点云帧中的虚警目标。其中， $Q$  可以是固定的数字，也可以是非固定的数字。

一些可能的实施方式中，对于在某一点云帧中存在的一个点云簇，将该点云帧与后续的一个或者多个点云帧进行匹配。若之后的点云帧中存在与其匹配的点云簇，则将该点云簇的生命值增加，反之则降低该点云簇的生命值；如此重复匹配多个点云帧。若点云簇的生命值满足虚警条件（例如到达第一阈值时），该点云簇形成虚警目标。若点云簇的生命值满足取消虚警条件（例如达到第二阈值或者低于第三阈值），则该点云簇则不形成虚警目标，可选可以丢弃该点云簇。应理解，达到第一阈值可以是高于或者高于等于第一阈值，以具体设计为准。对于下文中的多个阈值和条件同理。

请参见图 17，图 17 是本申请实施例提供的一种可能的未匹配点云的示意图。在点云帧 #0（可以看作第二点云帧）中的未匹配采样点可以被聚类得到点云簇 G1 和点云簇 G2，其中，点云簇 G1 的生命值和点云簇 G2 的生命值均为 60（初始生命值）。当点云簇的生命值大于等于 100 时满足虚警条件，当点云簇的生命值小于 60 时，达到消除虚警条件。

对于点云帧 #1，其为点云帧 #0 的后一个点云帧，该点云帧中的未匹配采样点可以被聚类得到点云簇 G3 和点云簇 G4。点云测试装置根据点云簇 G3、点云簇 G4 与点云帧 #0 中的点云簇进行匹配。示例性地，点云簇 G4 和点云簇 G1 匹配，则点云簇 G4（即 G1）的生命值增加 20，当前生命值 80；而点云簇 G2 在点云帧 #1 中没有匹配的点云簇，则点云簇 G2 的生命值降低 20，点云簇 G2 的生命值为 40。在第三阈值为 60 的情况下，由于点云簇 G2 已经低于 60，不形成虚警目标，丢弃。点云簇 G3 为点云帧 #0 中新发现的点云簇，被分配生命值 60（初始生命值）。

对于点云帧 #2，其为点云帧 #1 的后 1 个点云帧，该点云帧中的未匹配采样点可以被聚类得到点云簇 G5。点云测试装置根据点云簇 G5 与点云帧 #1 中的点云簇进行匹配。示例性地，点云簇 G5 和点云簇 G4（即 G1）匹配，则点云簇 G5（即 G1）的生命值增加 20，当前生命值 100。在第一阈值为 100 的情况下，由于点云簇 G5（即 G1）的生命值达到第一阈值，则点云簇 G5 形成虚警目标。进一步的，点云测试装置根据点云簇 5 与点云帧 #1 中的点云簇进行匹配。点云簇 G3 在点云帧 #2 没有匹配的点云簇，则点云簇 G2 的生命值降低 20，点云簇 G3 的生命值为 40，已经低于 60，不形成虚警目标，丢弃。

对于点云帧 #3，其为点云帧 #2 的后 1 个点云帧。该点云帧中的未匹配采样点可以被聚类得到点云簇 G6。点云测试装置根据点云簇 G6 与点云帧 #2 中的点云簇进行匹配。示例性地，点云簇 G5 和点云簇 G5（即 G1）匹配，则点云簇 G6（即 G1）的生命值增加 20，当前生命值 120，达到第一阈值，则点云簇 G6 形成虚警目标。

作为一种可能的实施方式，在匹配点云簇时，根据点云帧中的点云簇的大小确定点云簇框，该点云簇框可以包住簇内的点云。对于当前点云帧，若下一点云帧中存在点云簇框与当前帧的点云簇框有重合部分，计算点云簇框与点云簇框之间的重合度矩阵，建立框间关联。若下一点云帧中存在点云簇框与当前帧的点云簇框匹配成功，则此点云簇生命值增加；反之则点云簇生命值降低。通过匹配框建立框间关联，可以进一步降低计算复杂度，提升点云测试效率。

需要说明的是，以上实施例以向后匹配为例进行说明，即当前的点云帧中的点云簇与之后的点云帧中的点云簇进行匹配。在一些可能的实施方式中，当前的点云帧中的点云簇也可以进行向前匹配，即：当前的点云帧中的点云簇与之前的点云帧中的点云簇进行匹配。

以上是以图示的方式对虚警判断进行了介绍。为了便于理解，下面提供一种虚警判断的流程示意图。请参见图 18，图 18 是本申请实施例提供的又一种虚警判断方法的流程示意图。该虚警判断方法可以由点云测试装置执行。具体可以包含步骤 S1801 至步骤 S1804，具体如

下：

步骤 S1801：点云聚类。

点云测试装置将当前点云帧中的未匹配点云进行聚类，得到点云簇。

步骤 S1802：分配 ID 及初始生命值。

点云测试装置为点云簇分配 ID（可选）和初始生命值。ID 例如图 17 所示的 G1、或 G2 等。可选的，当不同点云中的点云簇可以匹配时，可以共用同一 ID，便于进行虚警判断。

初始生命值例如为 60。

步骤 S1803：与下一点云帧中的点云簇匹配。

如图 17 所示，在点云帧#0 的下一帧为点云帧#1 的情况下，将点云帧#0 中的点云簇与点云帧#1 中的点云簇匹配。

步骤 S1804：匹配成功生命值+20，未匹配成功生命值-20。

如图 17 所示，点云簇 G4 与点云簇 G1 匹配成功，点云簇 G4（即 G1）的生命值增加 20。点云簇 G2 在点云帧#1 中未匹配成功，生命值减少 20。

若下一点云帧中的点云簇的生命值 $\leq 60$ ，则丢弃该点云簇。例如，点云簇 G2 生命值为 40，满足该条件，则丢弃点云簇 G2。

若下一点云帧中的点云簇的生命值=100，则形成虚警。如此进行循环，确定点云帧中的虚警目标。

上述实施方式中，由于单个采样点容易产生闪烁、匹配复杂度高且结果可靠性低，上述实施方式将未匹配采样点进行聚类，以点云簇的方式来实现对未匹配点云的追踪，不仅降低了匹配的复杂度，还大大提升了虚警判断的可靠性和可用性，提升了点云测试的准确性。

一种可能的实施方式中，未匹配点云还可以用于确定虚警率。

示例性的，点云测试装置根据参与预警目标计算的点云帧的数量和虚警点云帧的数量，确定虚警率。其中，虚警点云帧为存在虚警目标的点云帧，或者，虚警点云帧为包含至少一个生命值达到第一阈值的点云簇的点云帧。

示例性的，虚警率 $\rho$ 满足如下式子：

$$\rho = \frac{n_{false}}{n} \times 100\%$$

其中，n 为参与虚警目标计算的点云帧的帧数， $n_{false}$  为存在虚警目标的帧数。

例如，以图 17 为例，参与虚警目标计算的点云帧的帧数为 4，其中存在虚警目标的点云帧为点云帧#3 和点云帧#4，故虚警率为 50%。这种情况下，虽然点云帧#0 和点云帧#1 中也存在形成了虚警目标的点云簇，但彼时虚警目标还未确诊，故不参与虚警率计算。

当然，一些场景中，一旦虚警目标确定，未确定阶段的点云簇所在点云帧也作为存在虚警的点云帧，此时点云帧#0 和点云帧#1 也可以作为虚警点云帧，即虚警率为 100%。

作为又一种可能的设计，未匹配真值可以用于漏检判断。漏检即某些情况下，目标存在而雷达判断为无目标没有输出点云这一事件。点云的漏检可以对应未匹配点云的真值。

可选的，在漏检判断时，可以确定体目标是否被遮挡。当体目标被遮挡时，则对该体目标的漏检不属于有效漏检。

在一种可能的实施方式中，二维点云包含第三点云帧，匹配结果集合包含第三点云帧对应的未匹配真值。在漏检判断时，点云测试装置根据第三点云帧对应的未匹配真值，确定第三点云帧中的疑似漏检目标，根据至少一个体目标与雷达之间的视野关系，确定被遮挡的体目标。点云测试装置，过滤第三点云帧中的疑似漏检目标中被遮挡的体目标，确定第三点云

帧包含的漏检目标。如此，根据遮挡关系去除疑似漏检目标中被遮挡的体目标，减少由于体目标遮挡而带来的漏检判断误差。

在一种可能的实施方式中，根据至少一个体目标与雷达之间的视野关系，确定被遮挡的体目标，包括：

根据至少一个体目标中的第五体目标与 DUT 之间的连线与其他体目标的边的相交情况，确定第五体目标是否被遮挡。

请参见图 19，图 19 是本申请实施例提供的一种体目标的位置示意图。图 19 所示的体目标包含体目标 T5、体目标 T6、体目标 T7 和体目标 T8，其中数量和 ID 仅为示例。若某一点云帧中，体目标 T5、体目标 T7 和体目标 T7 的真值均属于未匹配真值，则需确定体目标之间的遮挡关系。其中，遮挡关系可以通过体目标的真值中的角点来确定。

作为一种遮挡关系的确认方法的示例，若第五体目标的多个角点中存在  $V$  个被遮挡角点，则第五体目标被遮挡， $V$  为整数且  $V > 0$ ，其中被遮挡角点为角点连线与其它体目标的边相交的角点。如图 19 所示，以  $V=4$  为例，体目标 T5 的 8 个角点分别表示为  $A_1$  至  $A_8$ ，其中， $A_3$ 、 $A_5$ 、 $A_7$  和  $A_8$  与 DUT 的连线均与体目标 T8 的边相交，故上述四个角点均为被遮挡角点，因此体目标 T5 属于被遮挡目标。而体目标 T6 中，8 个角点分别表示为  $B_1$  至  $B_8$ ，仅  $B_6$  为被遮挡角点，故体目标 T6 不属于被遮挡目标。

作为又一种遮挡关系的确认方法的示例，若第五体目标为遮挡目标，则其满足如下两个条件：①第五体目标的  $V$  个角点与 DUT 的连线与其它体目标的边相交， $V$  为整数且  $V > 0$ ；②第五体目标中有效边（参见下文解释）的数量大于等于第四阈值。其中第四阈值可以是预先定义或者预先设置的。例如，第四阈值可以为 4，或者第四阈值为 1。

对于条件①， $V$  可以等于角点总数，例如， $V=8$ 。对于条件②，有效边可以通过如下方式确定：对于第五体目标中的任一角点或任一边角点（边角点指位于边上的角点，例如图 19 所示的  $A_2$ 、 $A_4$ 、 $A_5$ 、 $A_7$ ），若该角点（或该边角点）与 DUT 的连线相交于第五体目标任一边，则该角点（或该边角点）所在的边无效。若第五体目标中的第一边上的角点与 DUT 的连线均与第五体目标中的其它边不相交，则该第一边为有效边。例如，如图 19 所示，角点  $A_2$  与 DUT 连线相交于  $A_5$  所在的边，故角点  $A_2$  所在的边为体目标 T5 的无效边。同理，角点  $A_4$  所在的边为无效边。而角点  $A_5$  与 DUT 的连线与体目标 T5 中的其它边均不相交，故角点  $A_5$  所在的边为体目标 T5 的有效边，同理，角点  $A_7$  所在的边为有效边。

以  $V=8$ 、第四阈值是 1 为例，如图 19 所示，体目标 T5 中 8 个角点的连线均与体目标 T8 的真值相交，故满足条件①；体目标 T5 中  $A_5$  和  $A_7$  所在的边为有效边，满足条件②。故体目标 T5 为被遮挡目标。

在又一种可能的实施方式中，在漏检判断时，可以在点云帧中对未匹配真值对应的区域进行跟踪，采用多帧关联的方式确定体目标是否被漏检。如此，可以在之后的点云帧中对未匹配真值实现追踪，可以减少由于点云闪烁而带来的漏检判断误差，提高虚警判断的准确性，提升点云测试的准确性。

示例性的，当连续三点云帧存在对于第六体目标的漏检时，该第六体目标为确定漏检目标。

在又一种可能的实施方式中，未匹配真值还可以用于确定漏检率。

示例性的，点云测试装置根据参与预警目标计算的点云帧的数量和漏检点云帧的数量，确定漏检率。其中，漏检点云帧为存在漏检目标（或确定漏检目标）的点云帧。

示例性的，漏检率  $\gamma$  满足如下式子：

$$\gamma = \frac{n_{lose}}{n} \times 100\%$$

其中，n 为参与漏检目标计算的点云帧的帧数， $n_{lose}$  为漏检点云帧的帧数。相关描述可以参考前述计算虚警率的示例。

上述详细阐述了本申请实施例的方法，下面提供本申请实施例的装置。

应理解，本申请实施例中所提供的装置，其中的单元的划分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。此外，装置中的单元可以以处理器调用软件的形式实现；例如装置包括处理器，处理器与存储器连接，存储器中存储有指令，处理器调用存储器中存储的指令，以实现以上任一种方法或实现该装置各单元的功能，其中处理器例如为通用处理器，例如中央处理单元（Central Processing Unit, CPU）或微处理器，存储器为装置内的存储器或装置外的存储器。或者，装置中的单元可以以硬件电路的形式实现，可以通过对硬件电路的设计实现部分或全部单元的功能，该硬件电路可以理解为一个或多个处理器；例如，在一种实现中，该硬件电路为专用集成电路（application-specific integrated circuit, ASIC），通过对电路内元件逻辑关系的设计，实现以上部分或全部单元的功能；再如，在另一种实现中，该硬件电路为可以通过可编程逻辑器件（programmable logic device, PLD）实现，以现场可编程门阵列（Field Programmable Gate Array, FPGA）为例，其可以包括大量逻辑门电路，通过配置文件来配置逻辑门电路之间的连接关系，从而实现以上部分或全部单元的功能。以上装置的所有单元可以全部通过处理器调用软件的形式实现，或全部通过硬件电路的形式实现，或部分通过处理器调用软件的形式实现，剩余部分通过硬件电路的形式实现。

本申请是合理中，装置中的各单元可以是被配置成实施以上方法的一个或多个处理器（或处理电路），例如：CPU、GPU、NPU、TPU、DPU、微处理器、DSP、ASIC、FPGA，或这些处理器形式中至少两种的组合。

此外，以上装置中的各单元可以全部或部分可以集成在一起，或者可以独立实现。在一种实现中，这些单元集成在一起，以片上系统（system-on-a-chip, SOC）的形式实现。该 SOC 中可以包括至少一个处理器，用于实现以上任一种方法或实现该装置各单元的功能，该至少一个处理器的种类可以不同，例如包括 CPU 和 FPGA，CPU 和人工智能处理器，CPU 和 GPU 等。

下面列举几种可能的装置。

请参见图 20，图 20 是本申请实施例提供的一种点云测试装置的结构示意图。可选的，该点云测试装置 200 可以为独立设备，例如服务器等。或者，该点云测试装置 200 也可以独立设备（如节点）中的一个器件，例如芯片或者集成电路等。该点云测试装置 200 用于实现前述的点云测试方法，例如图 5、图 11、或图 18 所示的点云测试方法。例如，该点云测试装置 200 可以替换图 3 所示系统中的点云测试装置 301。

如图 20 所示的点云测试装置 200 包含数据获取模块 2001 和数据匹配模块 2002，其中：数据获取模块 2001 用于获取真值数据和点云，真值数据为体目标的真值，点云为 DUT 对体目标进行探测得到的探测结果，探测结果包含采样点；

数据匹配模块 2002 用于将点云和真值数据进行匹配，得到匹配结果集合，匹配结果集合包含以下三类匹配结果中的至少一类：匹配采样点、未匹配采样点和未匹配真值等。

可选的，体目标的数量可以是一个或者多个。为了便于描述本申请的方案，以下将体目标的数量描述为至少一个。

在又一种可能的实施方式中，数据匹配模块 2002 用于：

根据真值数据建立三维匹配框；

将点云与三维匹配框进行匹配，得到匹配结果集合，匹配结果集合包含以下三类匹配结果中的至少一类：匹配采样点、未匹配采样点和未匹配真值等。

在一种可能的实施方式中，数据匹配模块 2002 用于：

将真值数据投影得到二维真值数据；

将点云投影得到二维点云；

将二维点云与二维真值数据进行匹配，得到匹配结果集合，匹配结果集合包含以下三类匹配结果中的至少一类：匹配采样点、未匹配采样点和未匹配真值等。

在一种可能的实施方式中，数据匹配模块 2002 用于：

将真值数据投影到水平平面，得到二维真值数据；

将点云投影得到二维点云，包括：

将点云投影到水平平面，得到二维点云。

在又一种可能的实施方式中，真值数据和点云的时间对齐。进一步的，在真值数据和点云被投影为二维数据时，二维真值数据和二维点云的时间对齐。

在又一种可能的实施方式中，真值数据和点云的坐标对齐。

在又一种可能的实施方式中，二维真值数据包含多个真值帧，二维点云包含多个点云帧；

数据匹配模块 2002，还用于：

确定第一真值帧中的至少一个真值框，其中，一个真值框对应一个体目标，第一真值帧属于多个真值帧；

根据至少一个真值框的范围和第一点云帧中的多个采样点的位置，得到匹配结果子集，其中，第一点云帧属于多个点云帧，第一点云帧和第一真值帧的时间戳相同，匹配结果子集属于匹配结果集合。

在又一种可能的实施方式中，至少一个真值框包含第一体目标对应的第一真值框，第一体目标属于至少一个体目标；

在第一点云帧包含第一采样点且第一采样点落入第一真值框的情况下，第一采样点属于匹配采样点，且第一采样点与第一体目标的真值匹配；

在第一点云帧包含第二采样点且第二采样点未落入至少一个真值框中的任意一个真值框的情况下，第二采样点属于未匹配采样点；

在第一点云帧中任意一个采样点均未落入第一真值框的情况下，则第一真值框对应的真值属于未匹配真值。

在又一种可能的实施方式中，至少一个真值框的数量大于或大于等于 2，

数据匹配模块 2002，还用于：

在第一点云帧包含第三采样点且第三采样点落入至少两个真值框的情况下，根据第三采样点与至少两个真值框对应的体目标的真值之间的位置，确定与第三采样点匹配的体目标的真值。

在又一种可能的实施方式中，数据匹配模块 2002，还用于：

将至少两个真值框对应的体目标的真值与第三采样点建立点对，根据点对构造距离矩阵，得到真值与第三采样点之间的距离，将距离最近的真值作为与第三采样点匹配的真值。

在又一种可能的实施方式中，数据获取模块 2001，还用于：

对初始真值和初始点云进行预处理，得到真值数据和点云。其中，预处理可以包含以下

处理中的一项或者多项：时间对齐、坐标转换和格式转换等。预处理能够提升真值数据和点云之间的对应性，降低匹配时的复杂度，提升点云测试效率。

在又一种可能的实施方式中，点云测试装置 200 还包含数据计算模块 2003，数据计算模块用于通过匹配结果集合，对点云的精度、虚警、漏检进行评估。

在又一种可能的实施方式中，点云测试装置还包含数据计算模块，数据计算模块用于根据匹配结果集合中的匹配采样点，得到关于 DUT 的精度评估数据。其中，精度评估数据包含匹配采样点数量、测距精度、速度精度和高度精度中的一项或者多项。

在又一种可能的实施方式中，数据计算模块 2003 还用于：

根据匹配采样点中与第四体目标的真值匹配的采样点的数量，得到关于第四体目标的匹配采样点数量。

在又一种可能的实施方式中，匹配采样点中包含与第二体目标的真值匹配的 N 个采样点，第二体目标的真值包含 M 个角点，M 为整数且  $M > 0$ ，N 为整数且  $N > 0$ 。

数据计算模块还用于根据 N 个采样点和 M 个角点评估 DUT 在探测第二体目标时的测距精度。

在又一种可能的实施方式中，N 个采样点中包含最近采样点，M 个角点中包含横向最近角点。进一步的，测距精度包含关于第二体目标的横向测距精度，关于第二体目标的横向测距精度与最近采样点和 DUT 之间的横向距离以及径向最近角点与 DUT 之间的径向距离相关。

在又一种可能的实施方式中，关于第二体目标的横向测距精度  $\sigma_x$  满足如下公式：

$$\sigma_x = |X_{pi} - X_{cj}|$$

其中， $X_{pi}$  是最近采样点和 DUT 之间的横向距离， $X_{cj}$  为横向最近角点和 DUT 之间的横向距离。

在又一种可能的实施方式中，N 个采样点中包含最近采样点，M 个角点中包含径向最近角点。进一步的，测距精度包含关于第二体目标的纵向测距精度，关于第二体目标的纵向测距精度与最近采样点与 DUT 之间的径向距离以及径向最近角点与 DUT 之间的径向距离相关。

在又一种可能的实施方式中，关于第四体目标的纵向测距精度  $\sigma_d$  满足如下式子：

$$\sigma_d = |D_{pi} - D_{ck}|$$

其中， $D_{pi}$  是最近采样点与 DUT 之间的径向距离， $D_{ck}$  为径向最近角点与 DUT 之间的径向距离。

在又一种可能的实施方式中，测速精度包含关于第三体目标的测速精度；

匹配采样点中包含与第三体目标的真值匹配的 K 个采样点，K 为整数且  $K > 0$ ；

K 个采样点中包含最强采样点，关于第三体目标的测速精度与最强采样点的径向速度和第三体目标的真值的径向速度相关。

上述实施方式中说明了一种确定测速精度的方式。速度精度  $\sigma_v$  可以通过匹配点中的最强点径向速度与参考真值的径向速度误差绝对值大小来指示。例如，速度精度  $\sigma_v$  满足如下式子：

$$\sigma_v = |V_{pi} - V_t|$$

其中， $V_{pi}$  为最强采样点的径向速度， $V_t$  为第三体目标的真值的径向速度。

作为一种可能的实施方式，最强采样点为 K 个采样点中雷达散射截面 (radar cross section, RCS) 最强的采样点，与真值匹配的采样点为 K 个，K 个采样点的 RCS 分别表示为  $R_{p1}, R_{p2}, R_{p3}, \dots, R_{pK}$ 。最强采样点的 RCS 可以表示  $R_{pi}$ ，其可以满足如下式子：

$$R_{pi} = \max (R_{p1}, R_{p2}, R_{p3}, \dots, R_{pK})$$

可选的，第三体目标的真值的径向速度可以替换为第三体目标的径向速度。

在又一种可能的实施方式，未匹配采样点可以用于虚警判断。

在又一种可能的实施方式中，点云测试装置还包含数据计算模块，数据计算模块还用于：

根据未匹配采样点中位于多个连续的点云帧中的采样点，确定多个连续的点云帧中的虚警目标。

在又一种可能的实施方式中，多个连续的点云帧包含第二点云帧和第二点云帧之后的 Q 个点云帧，Q 为整数且  $Q > 0$ ；

数据计算模块 2003，还用于：

将未匹配采样点中位于第二点云帧中的采样点聚类，得到至少一个点云簇；

为至少一个点云簇中的第一点云簇分配初始生命值；

根据未匹配采样点中位于 Q 个点云帧中的采样点，确定 Q 个点云帧中的点云簇；

根据第一点云簇的位置和 Q 个点云帧中的点云簇的位置，确定多个连续的点云帧中的虚警目标。

在上述实施方式中，测试装置将未匹配点云聚类得到多个点云簇，每个点云簇被赋予初始生命值。对于在某一点云帧中存在的一个点云簇，将该点云簇与后续的点云帧进行匹配。若之后的点云帧中存在与其匹配的点云簇，则将该点云簇的生命值增加，反之则降低该点云簇的生命值；如此重复匹配多个点云帧。若点云簇的生命值到达第一阈值时，该点云簇形成虚警目标。若点云簇的生命值达到第二阈值或者低于第三阈值，则该点云簇则不形成虚警目标，可选可以丢弃该点云簇。

一些场景中，在匹配点云簇时，根据点云帧中的点云簇的大小确定点云簇框，该匹配框可以包住簇内的点云。对于当前点云帧，若下一点云帧中存在点云簇框与当前帧的点云簇框有重合部分，计算点云簇框与点云簇框之间的重合度矩阵，建立框间关联。若下一点云帧中存在点云簇框与当前帧的点云簇框匹配成功，则此点云簇生命值增加；反之则点云簇生命值降低。

在又一种可能的实施方式中，未匹配点云还可以用于确定虚警率。

示例性的，点云测试装置根据参与预警目标计算的点云帧的数量和虚警点云帧的数量，确定虚警率。其中，虚警点云帧为存在虚警目标的点云帧，或者，虚警点云帧为包含至少一个生命值达到第一阈值的点云簇的点云帧。

示例性的，虚警率  $\rho$  满足如下式子：

$$\rho = \frac{n_{false}}{n} \times 100\%$$

其中，n 为参与虚警目标计算的点云帧的帧数， $n_{false}$  为存在虚警目标的帧数。

在又一种可能的实施方式，未匹配真值可以用于漏检判断。漏检即某些情况下，目标存在而雷达判断为无目标没有输出点云这一事件。点云的漏检可以对应未匹配点云的真值。

在又一种可能的实施方式中，二维点云包含第三点云帧，匹配结果集合包含第三点云帧对应的未匹配真值；

数据计算模块 2003，还用于：

根据第三点云帧对应的未匹配真值，确定第三点云帧中的疑似漏检目标；

根据至少一个体目标与雷达之间的视野关系，确定被遮挡的体目标；

过滤第三点云帧中的疑似漏检目标中被遮挡的体目标，确定第三点云帧包含的漏检目标。

在又一种可能的实施方式中，数据计算模块 2003，还用于：

根据至少一个体目标中的第五体目标与 DUT 之间的连线与其他体目标的边的相交情况，确定第五体目标是否被遮挡。

根据至少一个体目标中的第五体目标与 DUT 之间的连线与其他体目标的边的相交情况，确定第五体目标是否被遮挡。



例如，若第五体目标的多个角点中存在  $V$  个被遮挡角点，则第五体目标被遮挡， $V$  为整数且  $V > 0$ ，其中被遮挡角点为角点连线与其它体目标的边相交的角点。

再如，若第五体目标为遮挡目标，则其满足如下两个条件：①第五体目标的  $V$  个角点与 DUT 的连线与其它体目标的边相交， $V$  为整数且  $V > 0$ ；②第五体目标中有效边的数量大于等于第四阈值。其中第四阈值可以是预先定义或者预先设置的。例如，第四阈值可以为 4，或者第四阈值为 1。其中，有效边可以通过如下方式确定：对于第五体目标中的任一角点或任一边角点（边角点指位于边上的角点），若该角点（或该边角点）与 DUT 的连线相交于第五体目标任一边，则该角点（或该边角点）所在的边无效。若第五体目标中的第一边上的角点与 DUT 的连线均与第五体目标中的其它边不相交，则该第一边为有效边。

在又一种可能的实施方式中，点云测试装置 210 在漏检判断时，可以在点云帧中对未匹配真值对应的区域进行跟踪，采用多帧关联的方式确定体目标是否被漏检。

示例性的，当连续三点云帧存在对于某一体目标的漏检时，该体目标为确定漏检目标。

在又一种可能的实施方式中，未匹配真值还可以用于确定漏检率。

示例性的，点云测试装置根据参与预警目标计算的点云帧的数量和漏检点云帧的数量，确定漏检率。其中，漏检点云帧为存在漏检目标（或确定漏检目标）的点云帧。

示例性的，漏检率  $\gamma$  满足如下式子：

$$\gamma = \frac{n_{lose}}{n} \times 100\%$$

其中， $n$  为参与漏检目标计算的点云帧的帧数， $n_{lose}$  为漏检点云帧的帧数。

请参见图 21，图 21 是本申请实施例提供的一种计算设备的结构示意图。

该计算设备 210 可以为独立设备，例如节点，也可以为包含于独立设备中的器件，例如芯片、软件模块、或集成电路等。该计算设备 210 可以包括至少一个处理器 2101 和通信接口 2102。可选的，还可以包括至少一个存储器 2103。进一步可选的，还可以包含连接线路 2104，其中，处理器 2101、通信接口 2102 和/或存储器 2103 通过连接线路 2104 相连，和/或，通过连接线路 2104 互相通信以传递控制信号和/或数据信号。

其中，处理器 2101 是进行算术运算和/或逻辑运算的模块。在一种实现中，处理器可以是具有指令读取与运行能力的电路，例如中央处理单元（Central Processing Unit, CPU）、微处理器、图形处理器中央处理单元（Central Processing Unit, CPU）、微处理器、图形处理器（graphics processing unit, GPU）（可以理解为一种微处理器）、或数字信号处理器（digital signal processor, DSP）等；在另一种实现中，处理器可以通过硬件电路的逻辑关系实现一定功能，该硬件电路的逻辑关系是固定的或可以重构的，例如处理器为专用集成电路（application-specific integrated circuit, ASIC）或可编程逻辑器件（programmable logic device, PLD）实现的硬件电路，例如 FPGA。此外，还可以是针对人工智能设计的硬件电路，其可以理解一种 ASIC，例如神经网络处理单元（Neural Network Processing Unit, NPU）张量处理单元（Tensor Processing Unit, TPU）、深度学习处理单元（Deep learning Processing Unit, DPU）等。

通信接口 2102 可以用于为至少一个处理器提供信息输入或者输出，或用于接收外部发送的信号和/或向外部发送信号。

例如，通信接口 2102 可以包含接口电路。例如，通信接口 2102 可以包含诸如以太网电缆等的有线链路接口，也可以是无线路径（Wi-Fi、蓝牙、通用无线传输、车载短距通信技术以及其他短距无线通信技术等）接口。

可选的，通信接口 2102 还可以包括射频发射器、天线等。在通信接口 2102 包含天线的情况下，天线的数量可以是一个，也可以是多个。

作为一种可能的设计，若计算设备 210 为独立设备时，通信接口 2102 可以包括接收器和发送器。其中，接收器和发送器可以为相同的部件，或者为不同的部件。接收器和发送器为相同的部件时，可以将该部件称为收发器。

作为又一种可能的设计，若计算设备 210 为芯片或电路时，通信接口 2102 可以包括输入接口和输出接口，输入接口和输出接口可以是相同的接口，或者可以分别是不同的接口。

可选地，通信接口 2102 的功能可以通过收发电路或收发的专用芯片实现。

存储器 2103 用于提供存储空间，存储空间中可以存储操作系统和计算机程序等数据。存储器 2103 可以是随机存储记忆体 (random access memory, RAM)、只读存储器 (read-only memory, ROM)、可擦除可编程只读存储器 (erasable programmable read only memory, EPROM)、或便携式只读存储器 (compact disc read-only memory, CD-ROM) 等等中的一种或者多种的组合。

其中，以上列举的计算设备 210 中各模块或单元的功能和动作仅为示例性说明。

计算设备 210 中各功能单元可用于实现前述的点云测试方法，例如图 5、图 11、或图 18 所示的点云测试方法。

可选的，处理器 2101，可以是专门用于执行前述方法的处理器 (便于区别称为专用处理器)，也可以是通过调用计算机程序来执行前述方法的处理器 (便于区别称为专用处理器)。

可选的，至少一个处理器还可以既包括专用处理器也包括通用处理器。

可选的，在计算设备 210 包括至少一个存储器 2103 的情况下，若处理器 2101 通过调用计算机程序来实现前述的点云测试方法，该计算机程序可以存储在存储器 2103 中。

本申请实施例还提供了一种芯片，该芯片包括逻辑电路和通信接口。通信接口，用于接收信号或者发送信号；逻辑电路，用于通过通信接口接收信号或者发送信号。芯片用于实现前述的点云测试方法，例如图 5、图 11、或图 18 所示的点云测试方法。

本申请实施例还提供了一种计算机可读存储介质，计算机可读存储介质中存储有指令，当指令在至少一个处理器 (或通信装置) 上运行时，实现前述的点云测试方法，例如图 5、图 11、或图 18 所示的点云测试方法。

本申请实施例还提供了一种计算机程序产品，该计算机程序产品包括计算机指令，计算机指令用于实现前述的点云测试方法，例如图 5、图 11、或图 18 所示的点云测试方法。

需要说明的是，本申请实施例中，“示例性的”或者“例如”等词用于表示作例子、例证或说明。本申请中被描述为“示例性的”或者“例如”的任何实施例或设计方案不应被解释为比其他实施例或设计方案更优选或更具优势。确切而言，使用“示例性的”或者“例如”等词旨在以具体方式呈现相关概念。

本申请中实施例提到的“至少一个”是指一个或者多个，“多个”是指两个或两个以上。“以下至少一项(个)”或其类似表达，是指的这些项中的任意组合，包括单项 (个) 或复数项 (个) 的任意组合。

例如，a、b、或 c 中的至少一项 (个)，可以表示：a、b、c、(a 和 b)、(a 和 c)、(b 和 c)、或 (a 和 b 和 c)，其中 a、b、c 可以是单个，也可以是多个。“和/或”，描述关联对象的关联关系，表示可以存在三种关系，例如，A 和/或 B，可以表示：单独存在 A、同时存在 A 和 B、单独存在 B 这三种情况，其中 A、B 可以是单数或者复数。字符“/”一般表示前后关联对象

是一种“或”的关系。

以及，除非有相反的说明，本申请实施例使用“第一”、“第二”等序数词是用于对多个对象进行区分，不用于限定多个对象的顺序、时序、优先级或者重要程度。例如，第一点云帧、第二点云帧、第三点云帧，只是为了方便在不同的实施方式中描述点云帧，并不表示其二者的顺序、重要程度、数据内容等的不同。一些场景中，第一点云帧、第二点云帧可以为同一个点云帧。

上述实施例中所用，根据上下文，术语“当……时”“若……则”可以被解释为意思是“如果……”或“在……后”或“响应于确定……”或“响应于检测到……”。以上仅为本申请的可选实施例，并不用以限制本申请，凡在本申请的构思和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本申请的保护范围之内。

本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例的全部或部分步骤可以通过硬件来完成，也可以通过程序来指令相关的硬件完成，的程序可以存储于一种计算机可读存储介质中，上述提到的存储介质可以是只读存储器，磁盘或光盘等。

## 权利要求书

1.一种点云测试方法，其特征在于，所述方法包括：

获取真值数据和点云，所述真值数据为至少一个体目标的真值，所述点云为待测装置 DUT 对所述至少一个体目标进行探测得到的探测结果；

将所述真值数据投影得到二维真值数据；

将所述点云投影得到二维点云；

将所述二维点云与所述二维真值数据进行匹配，得到匹配结果集合，匹配结果集合包含以下三类匹配结果中的至少一类：匹配采样点、未匹配采样点和未匹配真值。

2.根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述将所述真值数据投影得到二维真值数据，包括：

将所述真值数据投影到水平平面，得到所述二维真值数据；

将所述点云投影得到二维点云，包括：

将所述点云投影到所述水平平面，得到所述二维点云。

3.根据权利要求 1 或 2 所述的方法，其特征在于，所述二维真值数据包含多个真值帧，所述二维点云包含多个点云帧；

所述将所述二维点云与所述二维真值数据进行匹配，得到匹配结果集合，包括：

确定第一真值帧中的至少一个真值框，其中，一个真值框对应一个体目标，所述第一真值帧属于所述多个真值帧；

根据所述至少一个真值框的范围和第一点云帧中的多个采样点的位置，得到匹配结果子集，其中，所述第一点云帧属于所述多个点云帧，所述第一点云帧和所述第一真值帧的时间戳相同，所述匹配结果子集属于所述匹配结果集合。

4.根据权利要求 3 所述的方法，其特征在于，所述至少一个真值框包含第一体目标对应的第一真值框，所述第一体目标属于所述至少一个体目标；

在所述第一点云帧包含第一采样点且所述第一采样点落入所述第一真值框的情况下，所述第一采样点属于匹配采样点，且所述第一采样点与所述第一体目标的真值匹配；

在所述第一点云帧包含第二采样点且所述第二采样点未落入所述至少一个真值框中的任意一个真值框的情况下，所述第二采样点属于未匹配采样点；

在所述第一点云帧中任意一个采样点均未落入所述第一真值框的情况下，则所述第一真值框对应的真值属于未匹配真值。

5.根据权利要求 1-4 任一项所述的方法，其特征在于，所述方法还包括：

根据所述匹配结果集合中的匹配采样点，得到关于所述 DUT 的精度评估数据，所述精度评估数据包含匹配采样点数量、测距精度、速度精度和高度精度中的一项或者多项。

6.根据权利要求 5 所述的方法，其特征在于，所述匹配采样点中包含与第二体目标的真值匹配的 N 个采样点，所述第二体目标的真值包含 M 个角点，M 为整数且  $M > 0$ ，N 为整数且  $N > 0$ ；

所述 N 个采样点中包含最近采样点，所述最近采样点为所述 N 个采样点中与所述 DUT

相距最近的采样点,所述M个角点中包含横向最近角点和径向最近角点,所述横向最近角点为所述M个角点中与所述DUT之间的横向距离最近的角点,所述径向最近角点为所述M个角点中与所述DUT之间的径向距离最近的角点;

所述测距精度包含关于第二体目标的横向测距精度,所述关于第二体目标的横向测距精度与所述最近采样点和所述DUT之间的横向距离以及所述径向最近角点与所述DUT之间的径向距离相关;

和/或,所述测距精度包含关于第二体目标的纵向测距精度,所述关于第二体目标的纵向测距精度与所述最近采样点与所述DUT之间的径向距离以及所述径向最近角点与所述DUT之间的径向距离相关。

7.根据权利要求5所述的方法,其特征在于,所述测速精度包含关于第三体目标的测速精度;

所述匹配采样点中包含与所述第三体目标的真值匹配的K个采样点,K为整数且 $K>0$ ;

所述K个采样点中包含最强采样点,所述最强采样点为所述K个采样点中雷达散射截面RCS最强的采样点,

所述关于第三体目标的测速精度与所述最强采样点的径向速度和所述第三体目标的径向速度相关。

8.根据权利要求1-7任一项所述的方法,其特征在于,所述二维点云包含多个连续的点云帧,所述匹配集合包含未匹配采样点,所述方法还包括:

根据所述未匹配采样点中位于所述多个连续的点云帧中的采样点,确定所述多个连续的点云帧中的虚警目标。

9.根据权利要求8所述的方法,其特征在于,所述多个连续的点云帧包含第二点云帧和第二点云帧之后的Q个点云帧,Q为整数且 $Q>0$ ;

所述根据所述未匹配采样点中位于所述多个连续的点云帧中的采样点,确定所述点云中的虚警目标,包括:

将所述未匹配采样点中位于所述第二点云帧中的采样点聚类,得到至少一个点云簇;

为所述至少一个点云簇中的第一点云簇分配初始生命值;

根据所述未匹配采样点中位于所述Q个点云帧中的采样点,确定所述Q个点云帧中的点云簇;

根据所述第一点云簇的位置和所述Q个点云帧中的点云簇的位置,确定所述多个连续的点云帧中的虚警目标。

10.根据权利要求1-6任一项所述的方法,其特征在于,所述二维点云包含第三点云帧,所述匹配结果集合包含所述第三点云帧对应的未匹配真值;

所述方法还包括:

根据所述第三点云帧对应的未匹配真值,确定第三点云帧中的疑似漏检目标;

根据所述至少一个体目标与雷达之间的视野关系,确定被遮挡的体目标;

过滤所述第三点云帧中的疑似漏检目标中被遮挡的体目标,确定第三点云帧包含的漏检目标。

11.一种点云测试装置，其特征在于，所述点云测试装置包含数据获取模块和数据匹配模块，其中：

所述数据获取模块用于获取真值数据和点云，所述真值数据为至少一个体目标的真值，所述点云为待测装置 DUT 对所述至少一个体目标进行探测得到的探测结果；

数据匹配模块用于：

将所述真值数据投影得到二维真值数据；

将所述点云投影得到二维点云；

将所述二维点云与所述二维真值数据进行匹配，得到匹配结果集合，匹配结果集合包含以下三类匹配结果中的至少一类：匹配采样点、未匹配采样点和未匹配真值。

12.根据权利要求 11 所述的点云测试装置，其特征在于，所述数据匹配模块用于：

将所述真值数据投影到水平平面，得到所述二维真值数据；

将所述点云投影到所述水平平面，得到所述二维点云。

13.根据权利要求 11 或 12 所述的点云测试装置，其特征在于，所述二维真值数据包含多个真值帧，所述二维点云包含多个点云帧；

所述数据匹配模块还用于：

确定第一真值帧中的至少一个真值框，其中，一个真值框对应一个体目标，所述第一真值帧属于所述多个真值帧；

根据所述至少一个真值框的范围和第一点云帧中的多个采样点的位置，得到匹配结果子集，其中，所述第一点云帧属于所述多个点云帧，所述第一点云帧和所述第一真值帧的时间戳相同，所述匹配结果子集属于所述匹配结果集合。

14.根据权利要求 13 所述的点云测试装置，其特征在于，所述至少一个真值框包含第一体目标对应的第一真值框，所述第一体目标属于所述至少一个体目标；

在所述第一点云帧包含第一采样点且所述第一采样点落入所述第一真值框的情况下，所述第一采样点属于匹配采样点，且所述第一采样点与所述第一体目标的真值匹配；

在所述第一点云帧包含第二采样点且所述第二采样点未落入所述至少一个真值框中的任意一个真值框的情况下，所述第二采样点属于未匹配采样点；

在所述第一点云帧中任意一个采样点均未落入所述第一真值框的情况下，则所述第一真值框对应的真值属于未匹配真值。

15.根据权利要求 1-14 任一项所述的点云测试装置，其特征在于，所述点云测试装置还包含数据计算模块，所述数据计算模块用于：

根据所述匹配结果集合中的匹配采样点，得到关于所述 DUT 的精度评估数据，所述精度评估数据包含匹配采样点数量、测距精度、速度精度和高度精度中的一项或者多项。

16.根据权利要求 15 所述的点云测试装置，其特征在于，所述匹配采样点中包含与所述第二体目标的真值匹配的 N 个采样点，所述第二体目标的真值包含 M 个角点，M 为整数且  $M > 0$ ，N 为整数且  $N > 0$ ；

所述 N 个采样点中包含最近采样点，所述最近采样点为所述 N 个采样点中与所述 DUT 相距最近的采样点，所述 M 个角点中包含横向最近角点和径向最近角点，所述横向最近角点为所述 M 个角点中与所述 DUT 之间的横向距离最近的角点，所述径向最近角点为所述 M 个角点中与所述 DUT 之间的径向距离最近的角点；

所述测距精度包含关于第二体目标的横向测距精度，所述关于第二体目标的横向测距精度与所述最近采样点和所述 DUT 之间的横向距离以及所述径向最近角点与所述 DUT 之间的径向距离相关；

和/或，所述测距精度包含关于第二体目标的纵向测距精度，所述关于第二体目标的纵向测距精度与所述最近采样点与所述 DUT 之间的径向距离以及所述径向最近角点与所述 DUT 之间的径向距离相关。

17.根据权利要求 16 所述的点云测试装置，其特征在于，所述测速精度包含关于第三体目标的测速精度；

所述匹配采样点中包含与所述第三体目标的真值匹配的 K 个采样点，K 为整数且  $K > 0$ ；

所述 K 个采样点中包含最强采样点，所述最强采样点为所述 K 个采样点中雷达散射截面 RCS 最强的采样点，

所述关于第三体目标的测速精度与所述最强采样点的径向速度和所述第三体目标的径向速度相关。

18.根据权利要求 11-17 任一项所述的点云测试装置，其特征在于，所述二维点云包含多个连续的点云帧，所述匹配集合包含未匹配采样点；

所述点云测试装置还包含数据计算模块，所述数据计算模块用于根据所述未匹配采样点中位于所述多个连续的点云帧中的采样点，确定所述多个连续的点云帧中的虚警目标。

19.根据权利要求 18 所述的点云测试装置，其特征在于，所述多个连续的点云帧包含第二点云帧和第二点云帧之后的 Q 个点云帧，Q 为整数且  $Q > 0$ ；

所述点云测试方法还包含数据计算模块，所述数据计算模块用于：

将所述未匹配采样点中位于所述第二点云帧中的采样点聚类，得到至少一个点云簇；

为所述至少一个点云簇中的第一点云簇分配初始生命值；

根据所述未匹配采样点中位于所述 Q 个点云帧中的采样点，确定所述 Q 个点云帧中的点云簇；

根据所述第一点云簇的位置和所述 Q 个点云帧中的点云簇的位置，确定所述多个连续的点云帧中的虚警目标。

20.根据权利要求 11-17 任一项所述的点云测试装置，其特征在于，所述二维点云包含第三点云帧，所述匹配结果集合包含所述第三点云帧对应的未匹配真值；

所述点云测试装置还包含数据计算模块，所述数据计算模块用于：

根据所述第三点云帧对应的未匹配真值，确定第三点云帧中的疑似漏检目标；

根据所述至少一个体目标与雷达之间的视野关系，确定被遮挡的体目标；

过滤所述第三点云帧中的疑似漏检目标中被遮挡的体目标，确定第三点云帧包含的漏检目标。

21.一种芯片，其特征在于，所述芯片包括处理器和通信接口；

所述通信接口用于接收和/或发送数据，和/或，所述通信接口用于为所述处理器提供输入和/或输出；

所述处理器用于实现权利要求 1-10 中任一项所述的方法。

22.一种计算设备，其特征在于，所述计算设备包含存储器和处理器，所述存储器中存储有计算机指令，所述处理器用于调用所述计算机指令以实现权利要求 1-10 中任一项所述的方法。

23.一种计算机可读存储介质，其特征在于，所述计算机可读存储介质中存储有指令，当所述指令在至少一个处理器上运行时，实现如权利要求 1-10 中任一项所述的方法。



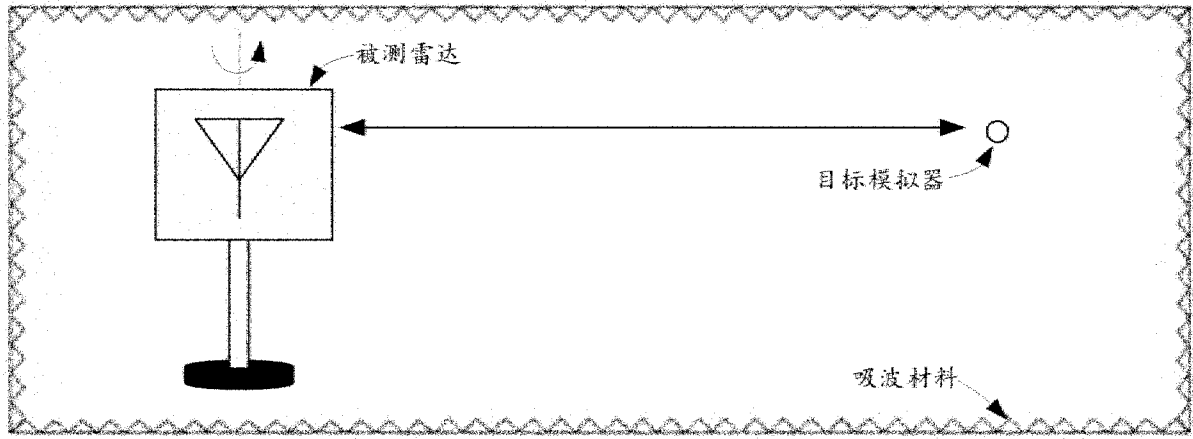


图 1

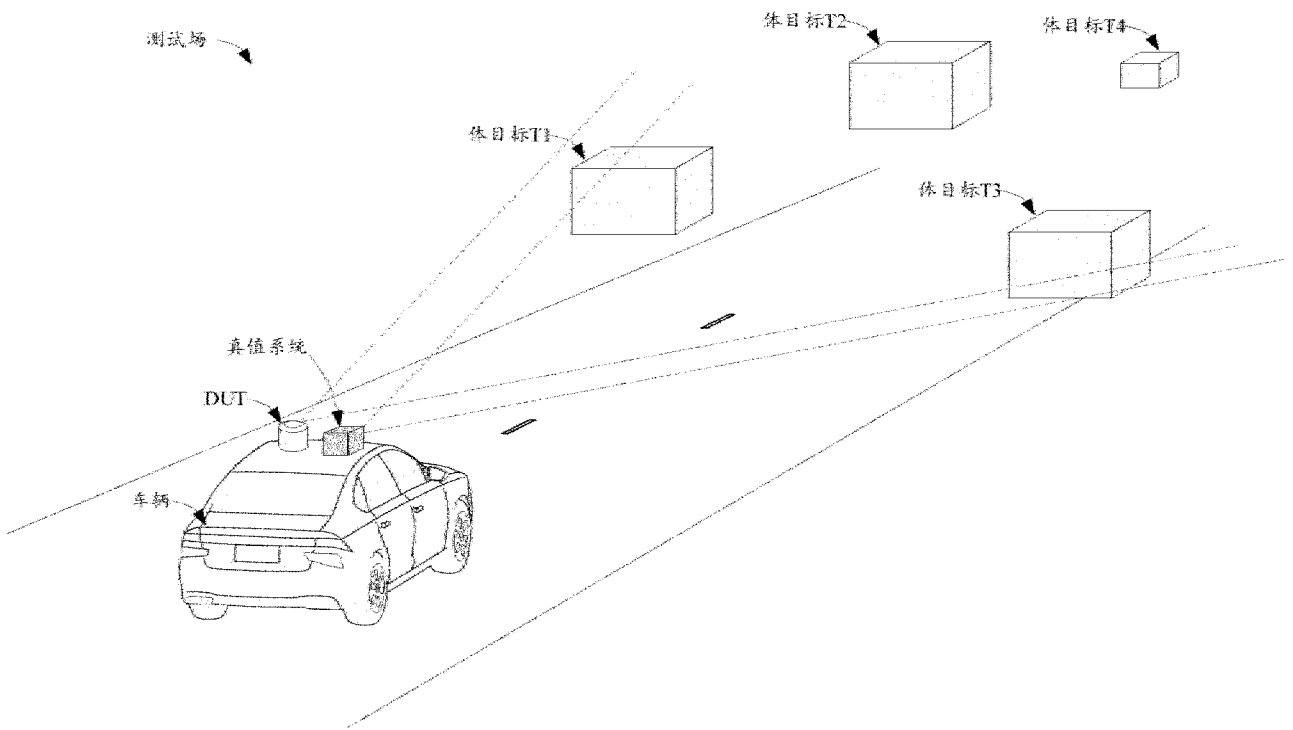


图 2

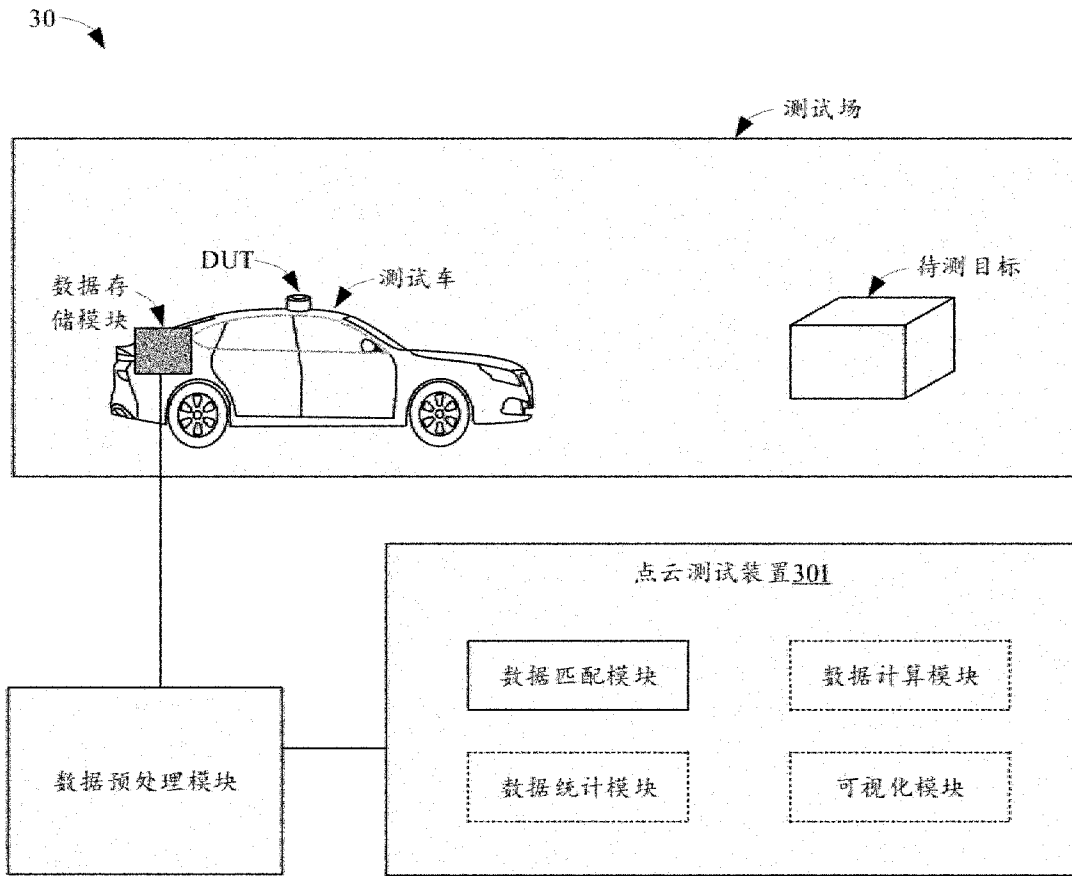


图 3

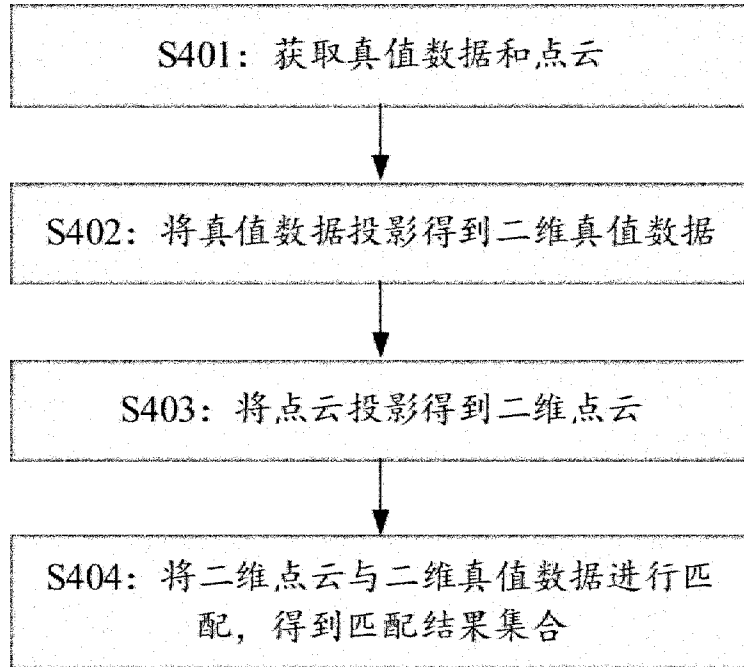


图 4

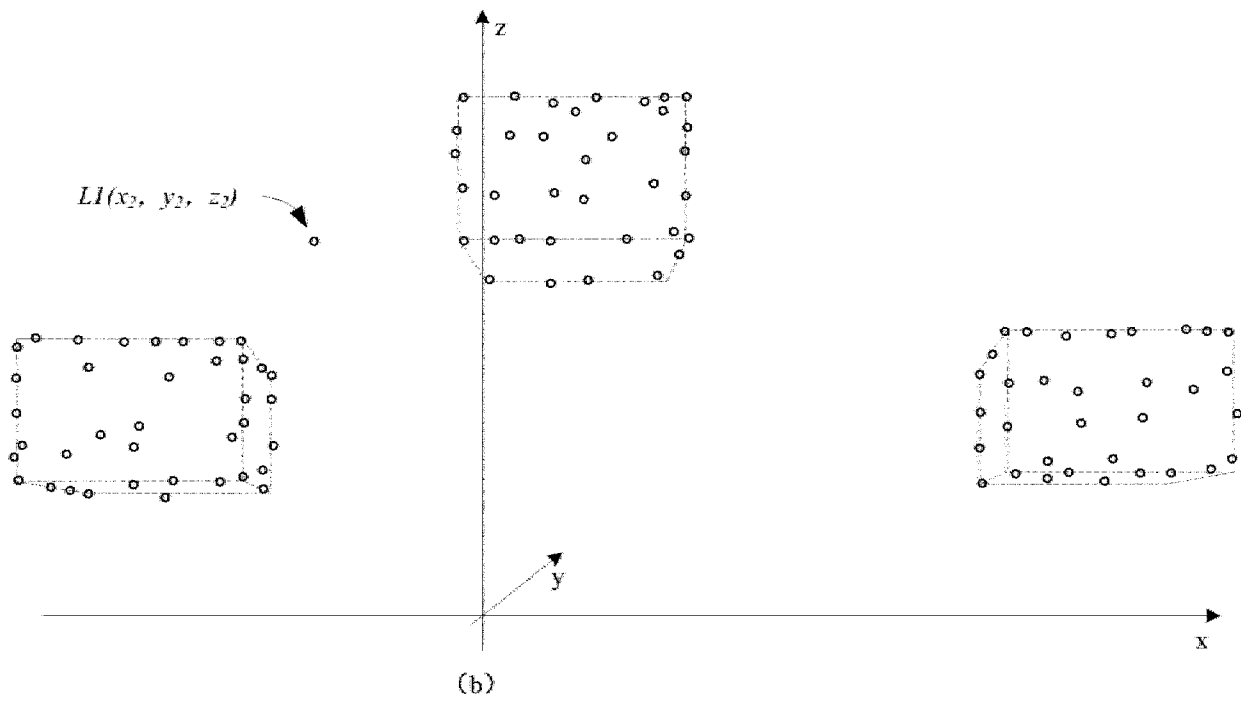
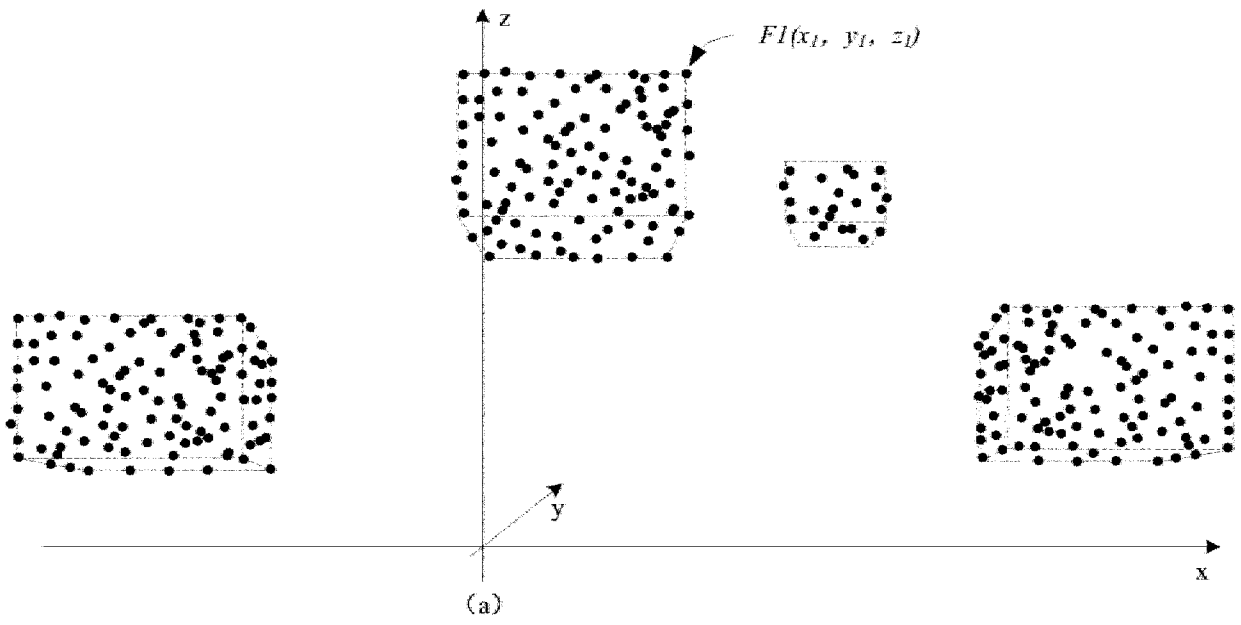


图 5

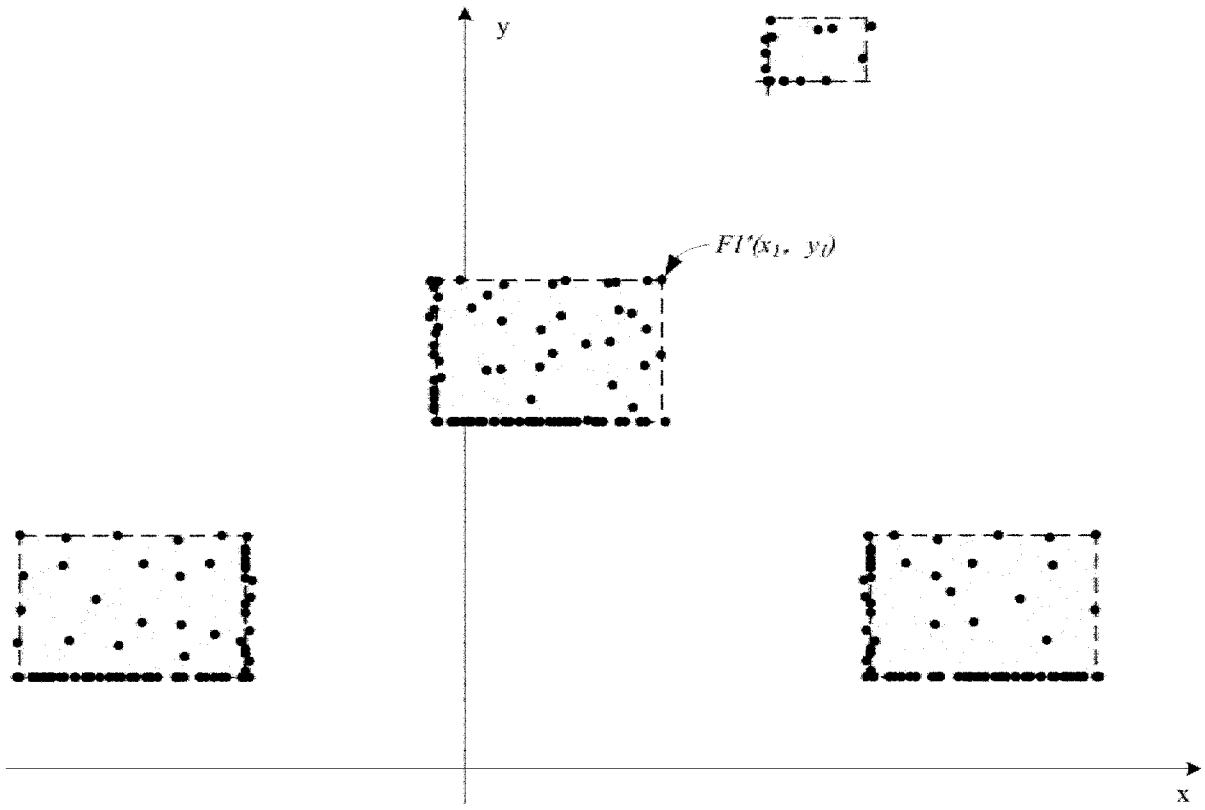


图 6

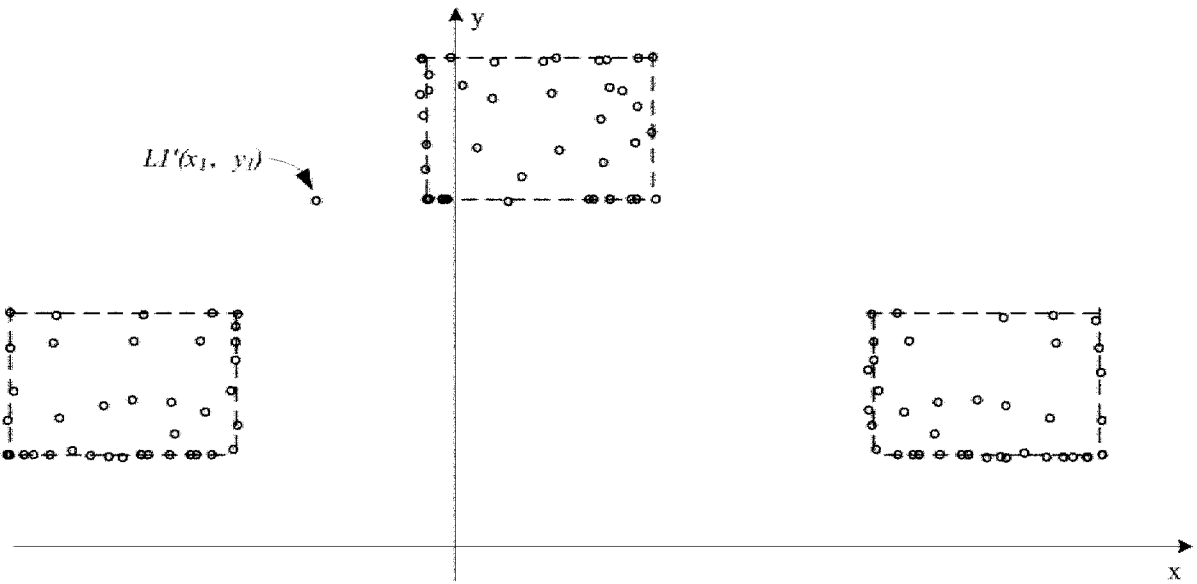


图 7

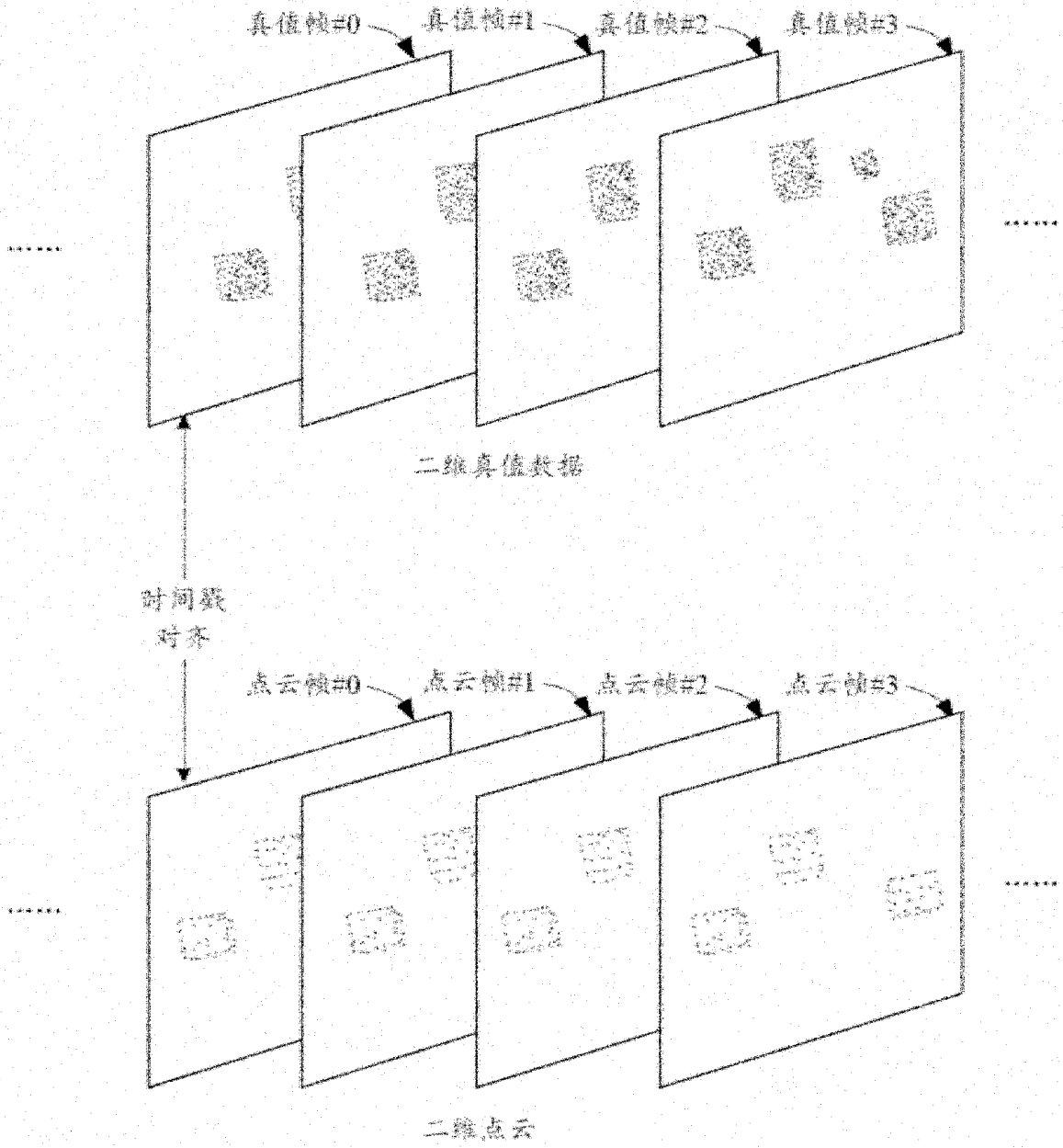


图 8

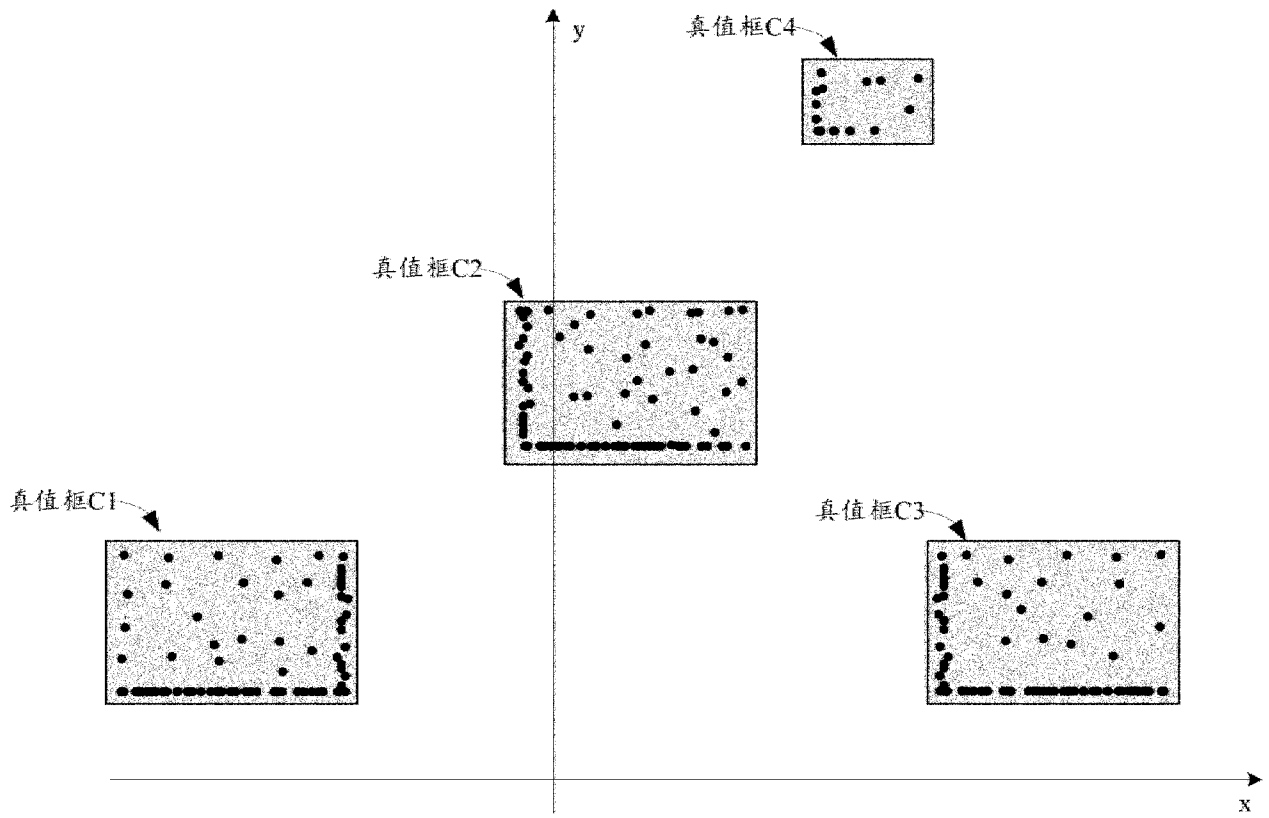
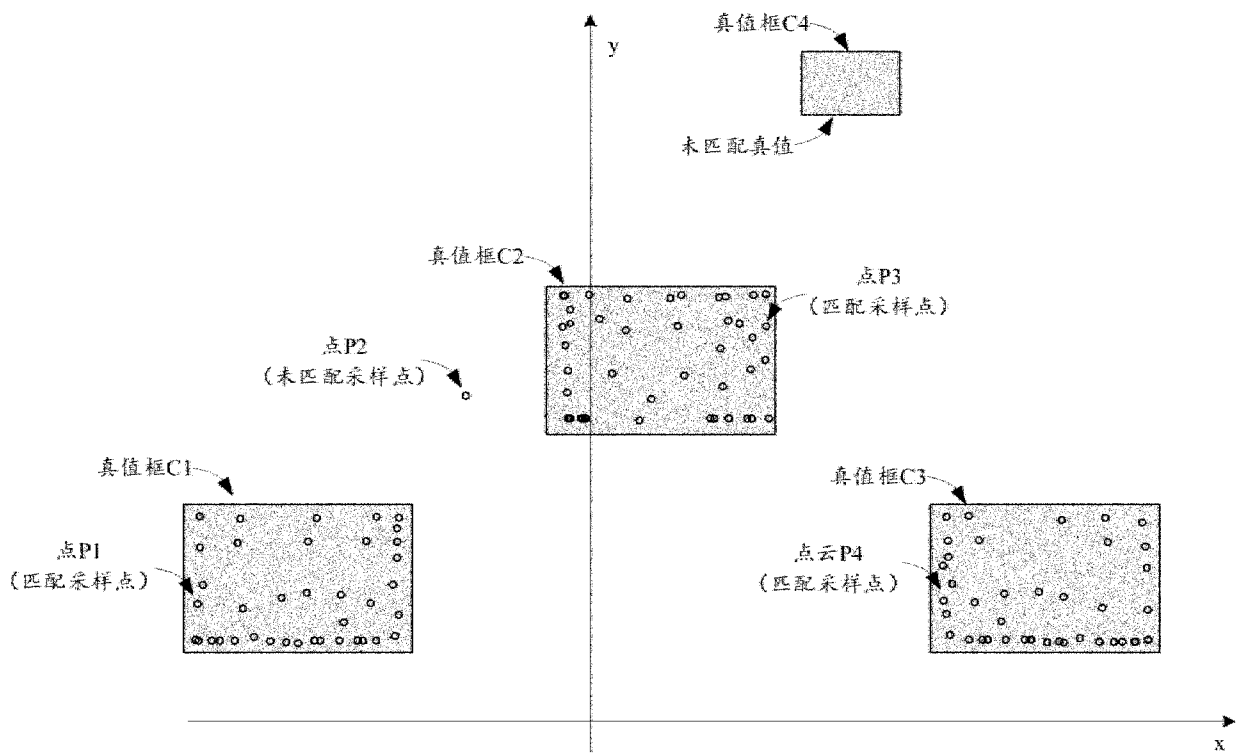


图 9



帧#0, 真值框C1匹配的点云数量为38

图 10

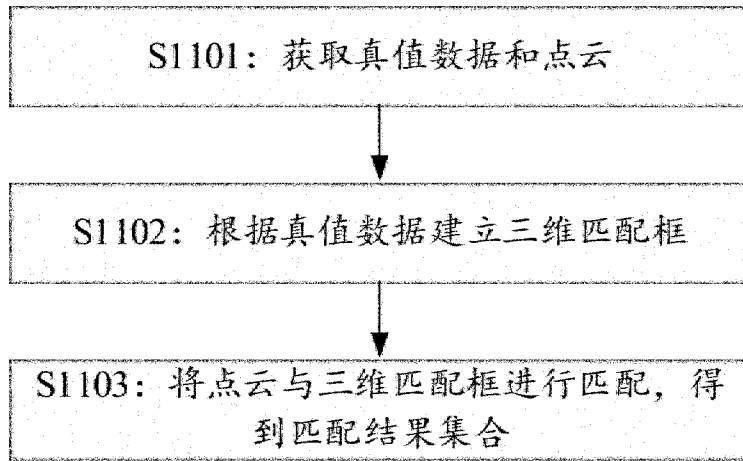


图 11

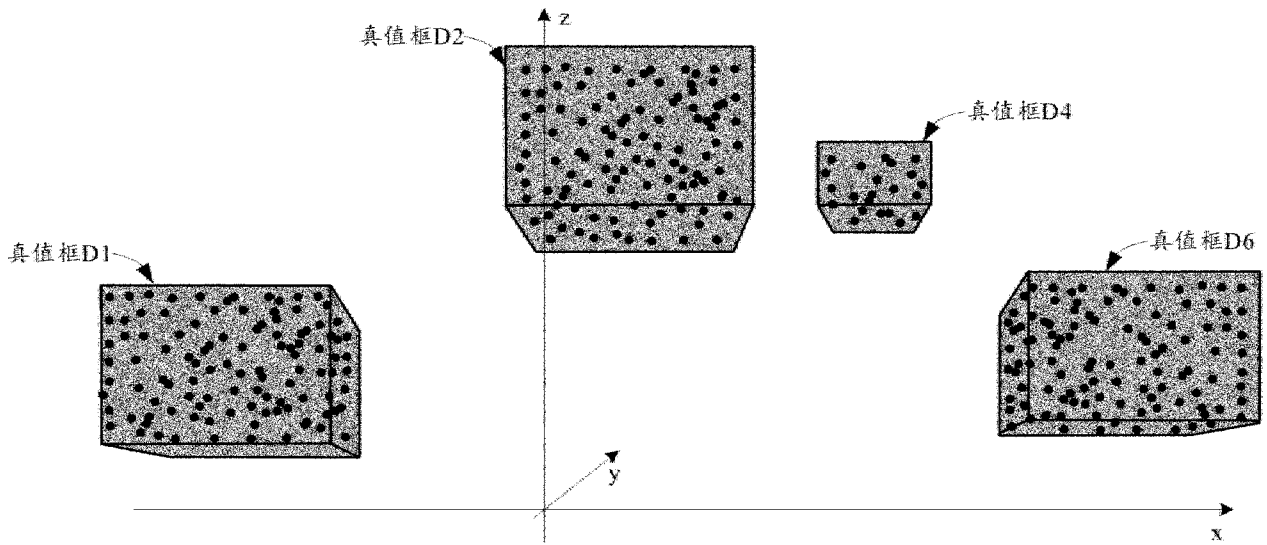


图 12

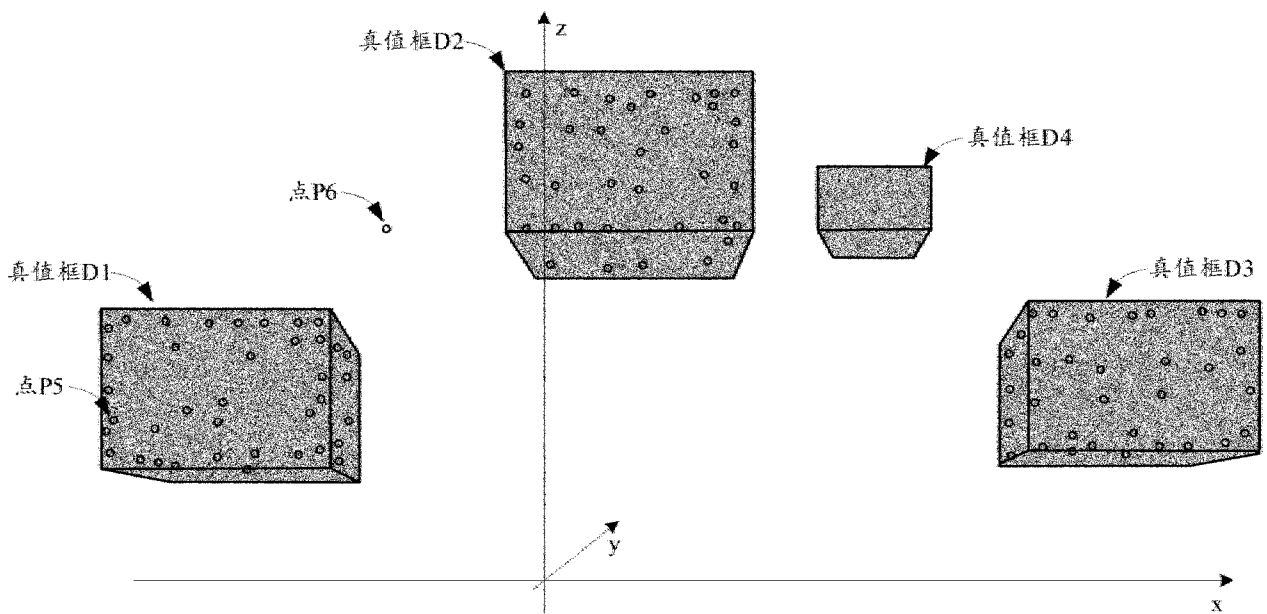


图 13

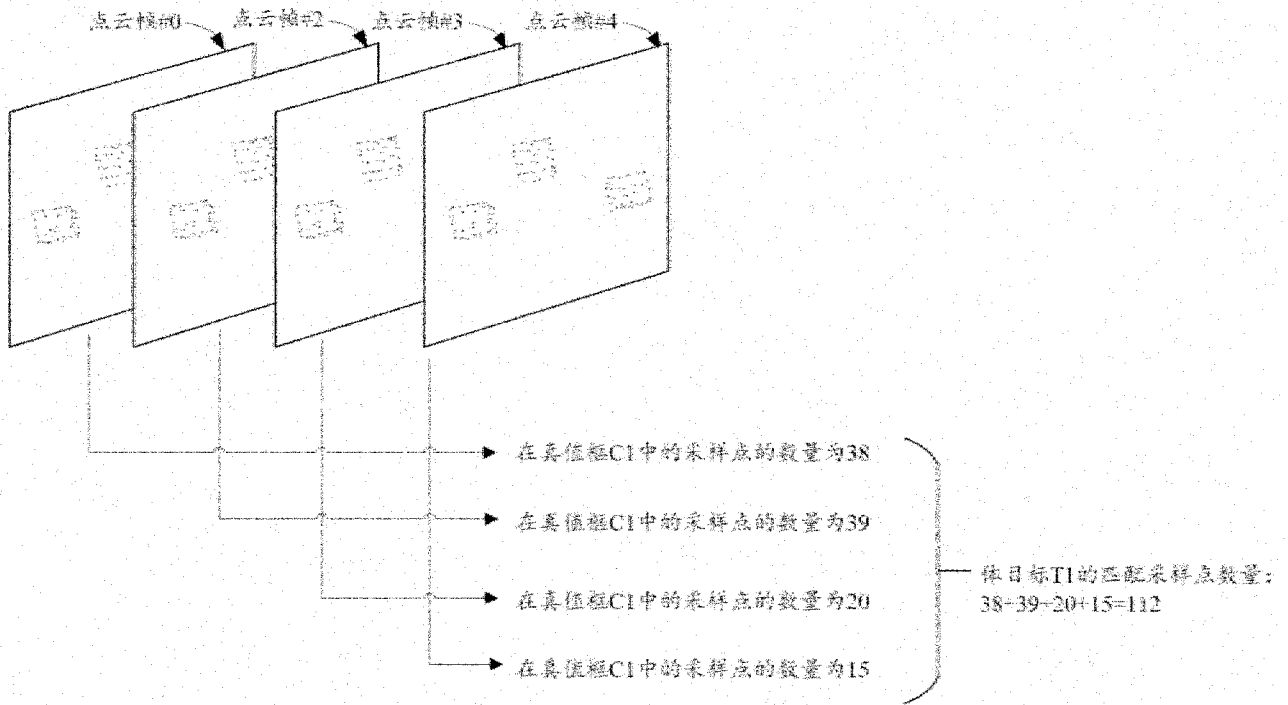


图 14

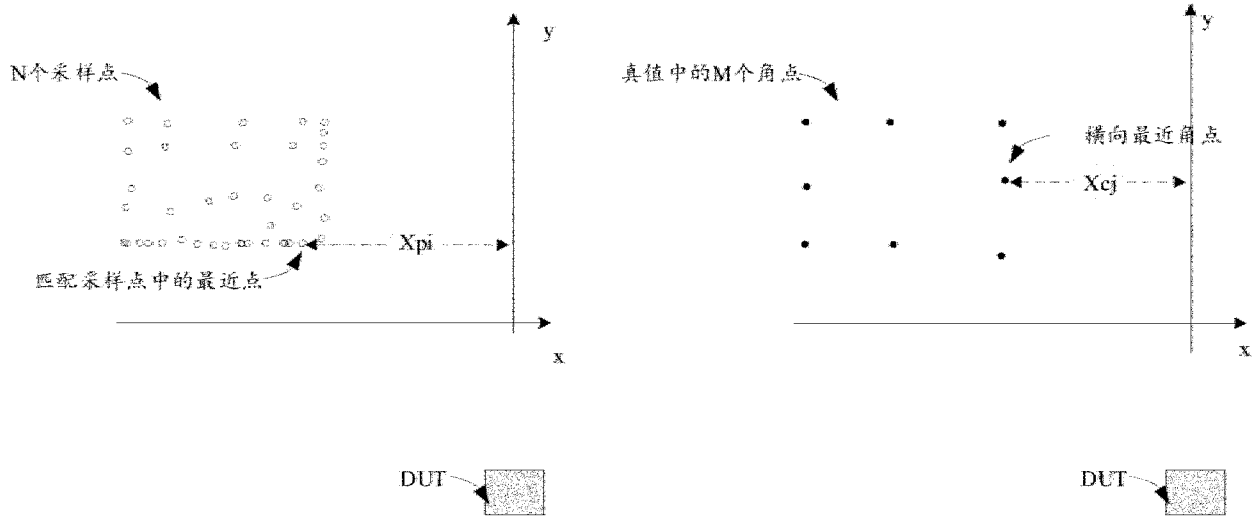


图 15

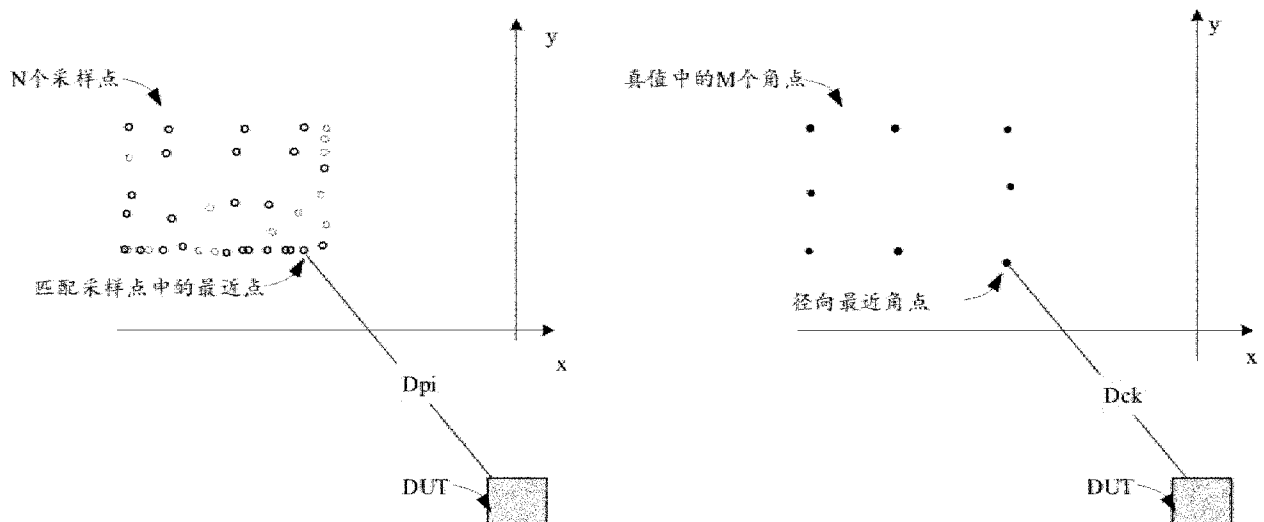
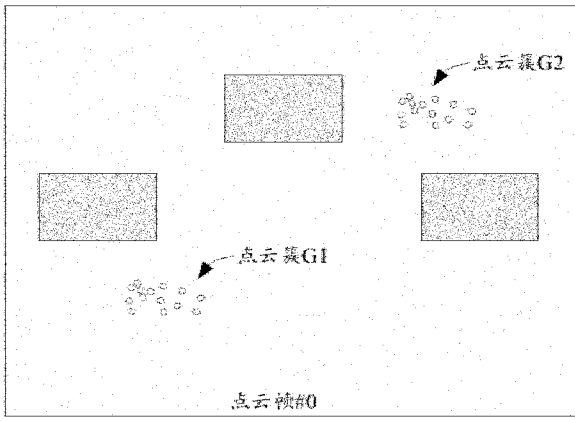
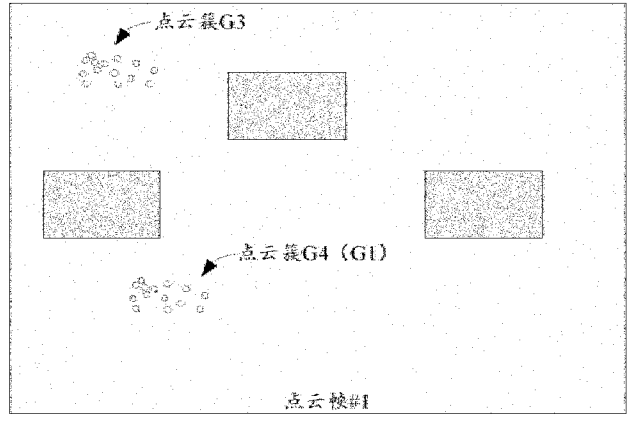


图 16

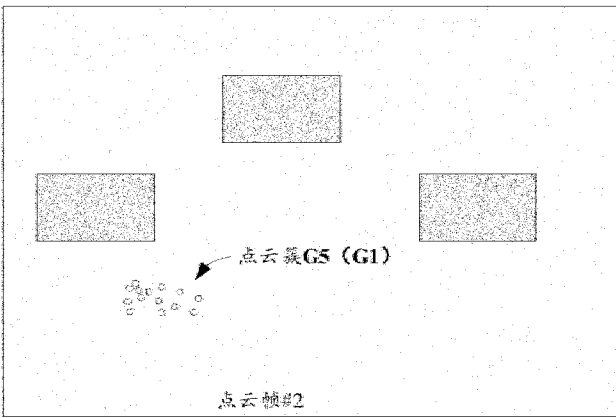




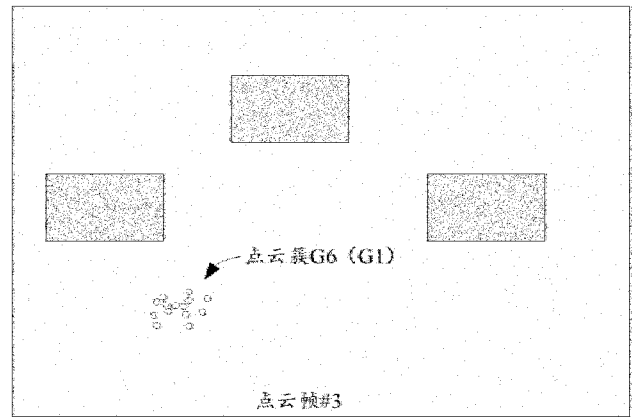
点云簇G1: 60  
点云簇G2: 60



点云簇G4 (G1):  $60+20=80$   
点云簇G2:  $60-20=40$ , 丢弃  
点云簇G3: 60



点云簇G5 (G1):  $80+20=100$ , 虚警目标, 点云帧#2为存在虚警目标的点云帧  
点云簇G3:  $60-20=40$ , 丢弃



点云簇G6 (G1):  $100+20=120$ , 虚警目标, 点云帧#3为存在虚警目标的点云帧

图 17

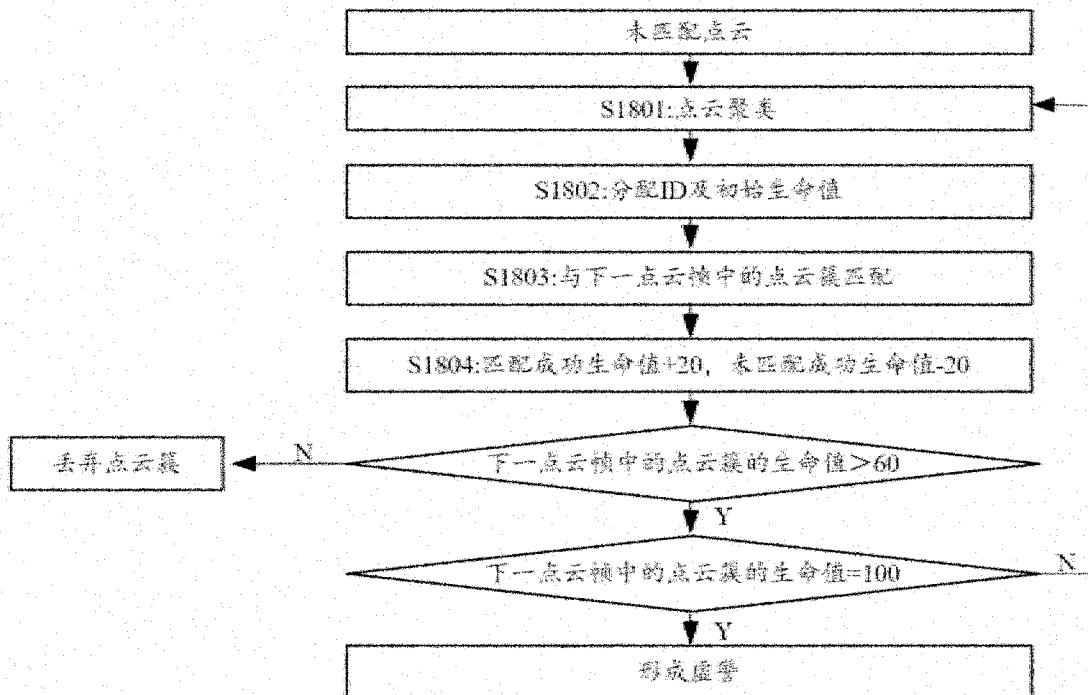


图 18

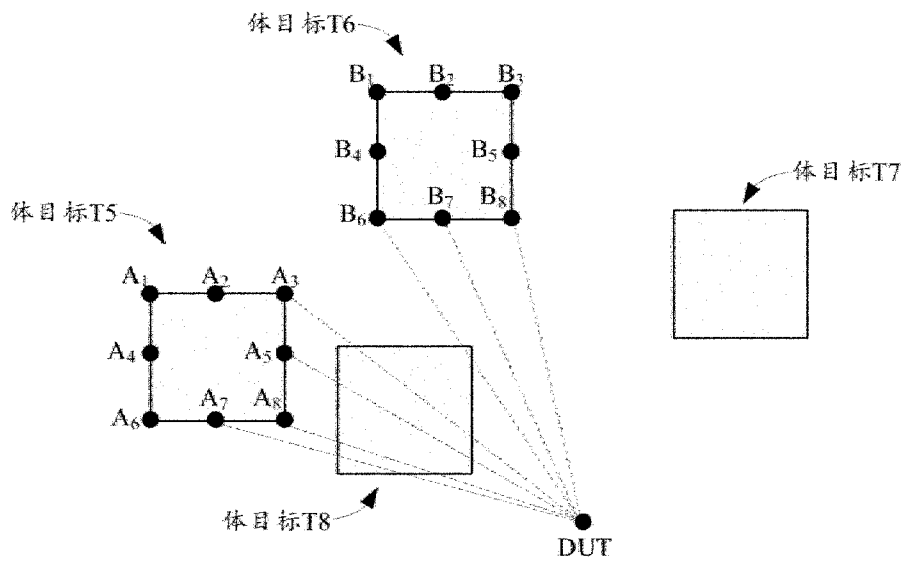


图 19

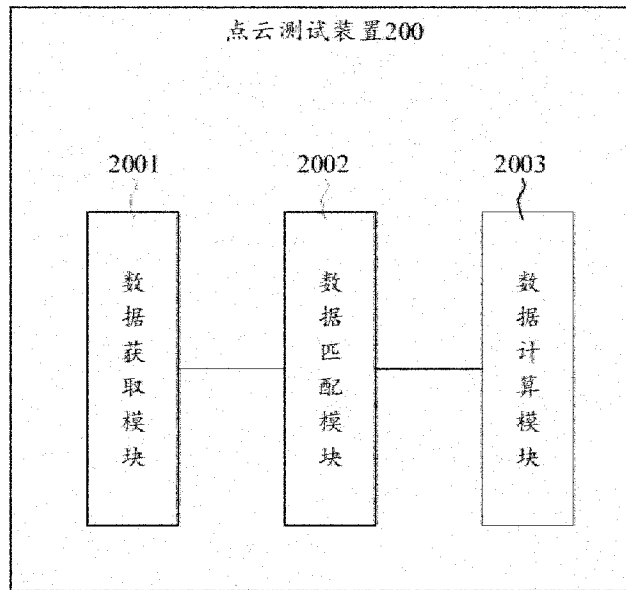


图 20

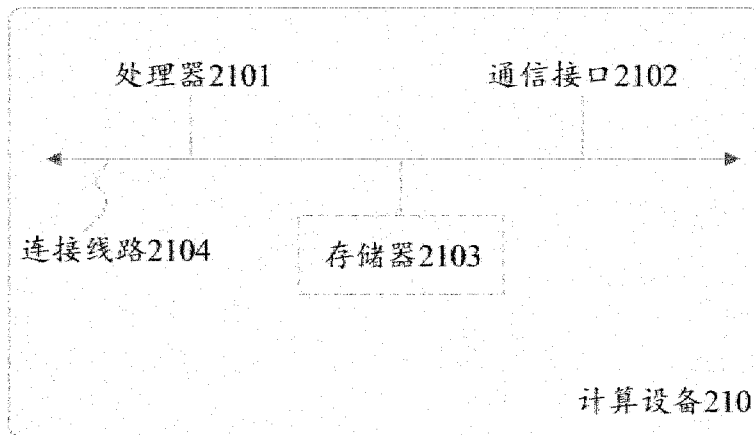


图 21

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/073812

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

G01S7/40(2006.01)i; G06V20/56(2022.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01S7/-; G06V20/-

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNTXT, ENTXT, ENTXTC, VEN, DWPI, DWPI, CJFD, CNKI, 百度学术, BAIDU SCHOLAR: 比对, 标准, 参考, 测评, 测试, 点云, 对比, 二维, 范围, 华为, 框, 匹配, 评估, 评价, 区域, 实, 吴佳玉, 真, 值, 质量, dimensional, quality, real, reference, standard, true, two, point?, test+, match+, value?, '2D', evaluat+, '2d', cloud?

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 114495034 A (APOLLO ZHILIAN (BEIJING) TECHNOLOGY CO., LTD.) 13 May 2022 (2022-05-13) description, paragraphs 2-116, and figure 3	1-23
A	CN 112700552 A (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.) 23 April 2021 (2021-04-23) entire document	1-23
A	CN 113222042 A (SHENZHEN SENSETIME TECHNOLOGY CO., LTD.) 06 August 2021 (2021-08-06) entire document	1-23
A	CN 113344986 A (SHENZHEN CRF DIGITAL TECHNOLOGY CO., LTD.) 03 September 2021 (2021-09-03) entire document	1-23
A	CN 115546439 A (JILUO TECHNOLOGY (SHANGHAI) CO., LTD.) 30 December 2022 (2022-12-30) entire document	1-23

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“D” document cited by the applicant in the international application

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

25 September 2023

Date of mailing of the international search report

28 September 2023

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/  
CN)  
China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District,  
Beijing 100088

Authorized officer

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/CN2023/073812**

<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KR 102393345 B1 (MAXST CO., LTD.) 02 May 2022 (2022-05-02) entire document	1-23
A	US 2019272411 A1 (HONG KONG APPLIED SCIENCE AND TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.) 05 September 2019 (2019-09-05) entire document	1-23
A	WO 2022188663 A1 (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.) 15 September 2022 (2022-09-15) entire document	1-23

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No. <b>PCT/CN2023/073812</b>
---

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	114495034	A	13 May 2022	None	
CN	112700552	A	23 April 2021	None	
CN	113222042	A	06 August 2021	None	
CN	113344986	A	03 September 2021	CN	113344986 B 09 November 2021
CN	115546439	A	30 December 2022	None	
KR	102393345	B1	02 May 2022	None	
US	2019272411	A1	05 September 2019	US	10671835 B2 02 June 2020
				WO	2019169635 A1 12 September 2019
				CN	109463003 A 12 March 2019
WO	2022188663	A1	15 September 2022	CN	115049700 A 13 September 2022

<p><b>A. 主题的分类</b></p> <p>G01S7/40(2006.01)i; G06V20/56(2022.01)i</p> <p>按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类</p>																							
<p><b>B. 检索领域</b></p> <p>检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)</p> <p>G01S7/-; G06V20/-</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))</p> <p>CNXT, ENTXT, ENTXTC, VEN, DWPI, DWPI, CJFD, CNKI, 百度学术: 比对, 标准, 参考, 测评, 测试, 点云, 对比, 二维, 范围, 华为, 框, 匹配, 评估, 评价, 区域, 实, 吴佳玉, 真, 值, 质量, dimensional, quality, real, reference, standard, true, two, point?, test+, match+, value?, '2D', evaluat+, '2d', cloud?</p>																							
<p><b>C. 相关文件</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>CN 114495034 A (阿波罗智联(北京)科技有限公司) 2022年5月13日 (2022-05-13) 说明书第2-116段, 图3</td> <td>1-23</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 112700552 A (华为技术有限公司) 2021年4月23日 (2021-04-23) 全文</td> <td>1-23</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 113222042 A (深圳市商汤科技有限公司) 2021年8月6日 (2021-08-06) 全文</td> <td>1-23</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 113344986 A (深圳市信润富联数字科技有限公司) 2021年9月3日 (2021-09-03) 全文</td> <td>1-23</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 115546439 A (际络科技(上海)有限公司) 2022年12月30日 (2022-12-30) 全文</td> <td>1-23</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>KR 102393345 B1 (MAXST CO., LTD.) 2022年5月2日 (2022-05-02) 全文</td> <td>1-23</td> </tr> </tbody> </table> <p><input checked="" type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。</p> <p>* 引用文件的具体类型:                  "A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件                  "D" 申请人在国际申请中引证的文件                  "E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利                  "L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)                  "O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件                  "P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件                  "T" 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件                  "X" 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性                  "Y" 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性                  "&amp;" 同族专利的文件</p>			类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	X	CN 114495034 A (阿波罗智联(北京)科技有限公司) 2022年5月13日 (2022-05-13) 说明书第2-116段, 图3	1-23	A	CN 112700552 A (华为技术有限公司) 2021年4月23日 (2021-04-23) 全文	1-23	A	CN 113222042 A (深圳市商汤科技有限公司) 2021年8月6日 (2021-08-06) 全文	1-23	A	CN 113344986 A (深圳市信润富联数字科技有限公司) 2021年9月3日 (2021-09-03) 全文	1-23	A	CN 115546439 A (际络科技(上海)有限公司) 2022年12月30日 (2022-12-30) 全文	1-23	A	KR 102393345 B1 (MAXST CO., LTD.) 2022年5月2日 (2022-05-02) 全文	1-23
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																					
X	CN 114495034 A (阿波罗智联(北京)科技有限公司) 2022年5月13日 (2022-05-13) 说明书第2-116段, 图3	1-23																					
A	CN 112700552 A (华为技术有限公司) 2021年4月23日 (2021-04-23) 全文	1-23																					
A	CN 113222042 A (深圳市商汤科技有限公司) 2021年8月6日 (2021-08-06) 全文	1-23																					
A	CN 113344986 A (深圳市信润富联数字科技有限公司) 2021年9月3日 (2021-09-03) 全文	1-23																					
A	CN 115546439 A (际络科技(上海)有限公司) 2022年12月30日 (2022-12-30) 全文	1-23																					
A	KR 102393345 B1 (MAXST CO., LTD.) 2022年5月2日 (2022-05-02) 全文	1-23																					
国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期																						
2023年9月25日	2023年9月28日																						
ISA/CN的名称和邮寄地址	授权官员																						
中国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088	陈丹华																						
	电话号码 (+86) 028-62967946																						

C. 相关文件		
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	US 2019272411 A1 (HONG KONG APPLIED SCIENCE & TECH. RESEARCH INST. CO., LTD.) 2019年9月5日 (2019 - 09 - 05) 全文	1-23
A	WO 2022188663 A1 (HUAWEI TECH. CO., LTD.) 2022年9月15日 (2022 - 09 - 15) 全文	1-23

国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2023/073812

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	114495034	A	2022年5月13日	无	
CN	112700552	A	2021年4月23日	无	
CN	113222042	A	2021年8月6日	无	
CN	113344986	A	2021年9月3日	CN	113344986 B 2021年11月9日
CN	115546439	A	2022年12月30日	无	
KR	102393345	B1	2022年5月2日	无	
US	2019272411	A1	2019年9月5日	US	10671835 B2 2020年6月2日
				WO	2019169635 A1 2019年9月12日
				CN	109463003 A 2019年3月12日
WO	2022188663	A1	2022年9月15日	CN	115049700 A 2022年9月13日