



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114488112 B

(45) 授权公告日 2024. 10. 22

(21) 申请号 202111592160.6

G01S 13/87 (2006.01)

(22) 申请日 2021.12.23

G01S 17/58 (2006.01)

G01S 17/66 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 114488112 A

(56) 对比文件

CN 106680806 A, 2017.05.17

CN 109212514 A, 2019.01.15

(43) 申请公布日 2022.05.13

(73) 专利权人 西安电子科技大学

审查员 朱仲艳

地址 710071 陕西省西安市太白南路2号

(72) 发明人 许录平 阎博 张华 孙景荣

胡伯元 陈宇

(74) 专利代理机构 陕西电子工业专利中心

61205

专利代理师 王品华

(51) Int. Cl.

G01S 13/58 (2006.01)

G01S 13/72 (2006.01)

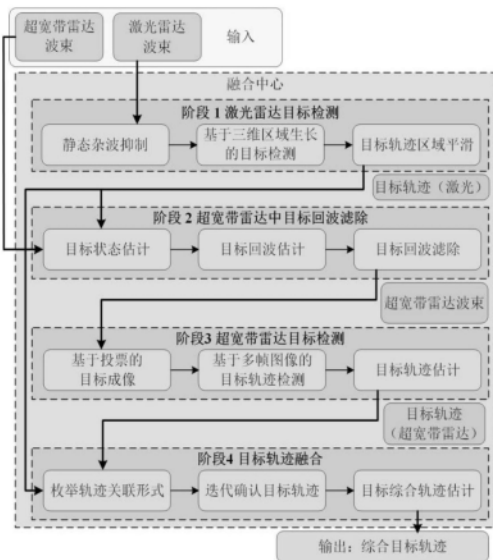
权利要求书4页 说明书7页 附图5页

(54) 发明名称

一种基于不同体制雷达的波形与点迹融合检测方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于不同体制雷达的波形与点迹融合检测方法,主要解决现有技术不能对波形数据和点迹数据融合检测的问题。其方案是:分别通过激光雷达和超宽带雷达获取目标的点迹数据和波形数据;对点迹数据信息进行轨迹生成,并按超宽带雷达检测帧时间对轨迹进行平滑滤波,得到基于点迹数据的目标轨迹;利用目标轨迹反推此刻目标状态在波形数据中对应的目标回波,并在对应的波形数据中滤除该回波分量,再对其进行轨迹生成和区域平滑,得到基于波形数据的轨迹;将基于点迹数据的目标轨迹与基于波形数据的轨迹融合,得到融合后的目标轨迹。本发明能在检测时抑制虚警目标,改善精度稀释,减少多目标时的虚假目标,提高检测精度,可用于雷达探测。



1. 一种基于不同体制雷达的波形与点迹融合检测方法,其特征在于,包括:

(1) 分别使用激光雷达传感器和超宽带雷达传感器获取目标的点迹数据信息和波形数据信息;

(2) 使用基于三维图像处理的方法对目标的点迹数据信息进行轨迹生成,得到估计的目标区域,并按照超宽带雷达检测帧时间对该估计目标区域进行区域平滑,得到与超宽带雷达检测帧时间对齐的基于点迹数据的目标轨迹;

(3) 利用轨迹反推此刻目标状态在超宽带雷达检测数据中对应的目标回波,并在对应的波形数据中滤除该回波分量;

(4) 对回波分量滤除后的超宽带雷达波形数据进行轨迹生成和区域平滑处理,得到基于波形数据的目标轨迹;

(5) 将基于点迹数据的目标轨迹和基于波形数据的目标轨迹融合,得到最终综合后的目标轨迹。

2. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,(1)中获取到的点迹数据信息和波形数据信息,分别表示如下:

点迹数据信息为: $\{x_i, y_i, t_i | i=1, \dots, N_i, t_1 \leq t_i \leq t_2\}$;

波束数据信息为: $\mathbf{m}_s^t = \{\mathbf{m}_s^t(j) | j=1, \dots, N_c, s=1, \dots, N_r, t_1 \leq t \leq t_2\}$;

其中, x_i, y_i 表示第 i 个激光雷达传感器点迹在搜索区域中的二维坐标, N_i 表示激光雷达采样的点数; $\mathbf{m}_s^t(j)$ 表示第 s 个超宽带雷达传感器中,在第 t 帧中第 j 个距离分辨单元的幅度, N_c 表示距离分辨单元的数目, t_i 表示第 i 个激光雷达点迹在 t 时刻采样, t_1, t_2 分别表示多帧联合处理中的起始时间和结束时间; N_r 表示超宽带雷达传感器的数量。

3. 如权利要求2所述的方法,其特征在于,(2)中使用基于三维图像处理的方法对目标的点迹数据信息进行轨迹生成,实现如下:

(2a) 对空间时间进行三维划分并对点迹数据进行投票:

(2a1) 将搜索区域按照 x, y 坐标轴分为 $N_x \times N_y$ 个宽度为 Δ_{xy} 的单元格,将采集数据的时间 t_1 到 t_2 分为宽度为 Δ_t 的 N_t 个单元格,即将空间和时间构成的三维区域划分为 $N_x \times N_y \times N_t$ 个单元格,则该三维区域可用一个 $N_x \times N_y \times N_t$ 的空矩阵 $\mathbf{R}$ 表征; $t_1 \leq t_i \leq t_2$;

(2a2) 将激光雷达的每个点迹放入空矩阵 $\mathbf{R}$ 中,完成对点迹数据的投票:

$$\mathbf{R}\left(\left[\frac{x_i}{\Delta_{xy}}\right], \left[\frac{y_i}{\Delta_{xy}}\right], \left[\frac{t_i}{\Delta_t}\right]\right) = \mathbf{R}\left(\left[\frac{x_i}{\Delta_{xy}}\right], \left[\frac{y_i}{\Delta_{xy}}\right], \left[\frac{t_i}{\Delta_t}\right]\right)^* + 1$$

其中 $[\cdot]$ 表示四舍五入, $\mathbf{R}\left(\left[\frac{x_i}{\Delta_{xy}}\right], \left[\frac{y_i}{\Delta_{xy}}\right], \left[\frac{t_i}{\Delta_t}\right]\right)$ 表示一次投票后 $\mathbf{R}$ 矩阵在

$\left[\frac{x_i}{\Delta_{xy}}\right], \left[\frac{y_i}{\Delta_{xy}}\right], \left[\frac{t_i}{\Delta_t}\right]$ 位置的票数, $\mathbf{R}\left(\left[\frac{x_i}{\Delta_{xy}}\right], \left[\frac{y_i}{\Delta_{xy}}\right], \left[\frac{t_i}{\Delta_t}\right]\right)^*$ 表示一次投票前 $\mathbf{R}$ 矩阵在

$\left[\frac{x_i}{\Delta_{xy}} \right], \left[\frac{y_i}{\Delta_{xy}} \right], \left[\frac{t_i}{\Delta_t} \right]$ 位置的票数;

(2b) 用三维区域生长的方法检测目标区域:

(2b1) 在三维矩阵 $\mathfrak{R}$ 中均匀选取种子单元格, 以一个种子单元格作为中心向外生长, 得到该单元格中完整的三维目标区域, 并提取向该三维区域投票的点迹集合:

$$R_q = \{x_a, y_a, t_a | a=1, \dots, N_q\},$$

其中, x_a, y_a 表示 t_a 时刻向三维区域投票的点迹在搜索区域的二维坐标, N_q 表示该种子单元格中的点迹的数目;

(2b2) 重复 (2b1) 直到获取全部的三维目标区域, 将每一个包含点迹的三维目标区域看作一个目标轨迹, 该区域包含的点迹即为该目标轨迹的测量值。

4. 如权利要求1所述的方法, 其特征在于, (2) 中按照超宽带雷达检测帧时间对估计目标区域进行区域平滑, 通过如下公式进行:

$$T_q = \{x_b, y_b, t_b | b=1, \dots, N_t\}$$

$$N_t = \frac{\max(t_b) - \min(t_b)}{\Delta_u}$$

$$t_b = b \Delta_u$$

其中, T_q 为平滑后的轨迹, Δ_u 为超宽带雷达网络帧间时间差, N_t 表示超宽带雷达帧的个数, x_b, y_b 表示对应于时间 t_b 的目标轨迹段的测量值的二维坐标。

5. 如权利要求4所述的方法, 其特征在于, (3) 中利用点迹数据处理所得轨迹段反推目标状态在超宽带雷达检测数据中对应的目标回波, 实现如下:

(3a1) 假设该轨迹段中包含 N_t 个目标的轨迹, 估计第 s 个超宽带雷达在各帧中到 N_t 个目标的距离:

$$\{r_{s,u}^t | u=1, \dots, N_T; s=1, \dots, N_R; t=1, \dots, N_t\}$$

其中 $r_{s,u}^t$ 表示第 s 个超宽带雷达在第 t 帧中到第 u 个目标的距离, N_t 表示超宽带雷达探测帧的个数, u 为一个半径为 d_u 的圆形目标;

(3a2) 提取超宽带雷达 s 检测到的波形数据中对应于目标的回波:

$$\mathbf{m}_{s,u}^t = \left\{ m_s^t(j) | j = \left\lceil \frac{r_{s,u}^t - d_u}{r_z} \right\rceil, \dots, \left\lceil \frac{r_{s,u}^t + d_u}{r_z} \right\rceil; t=1, \dots, N_t \right\}$$

其中, $m_s^t(j)$ 表示第 s 个超宽带雷达在第 t 帧中的第 j 个距离分辨单位的幅度, r_z 表示每个距离分辨单位的长度;

(3a3) 通过提取出的对应于目标的回波 $\mathbf{m}_{s,u}^t$ 估计出目标 u 的回波分量强度 $\bar{m}_{s,u}^t$:

$$\bar{m}_{s,u}^t = \frac{1}{N_t \left[\frac{2d_u}{r_z} \right]} \sum_1^{N_t} \sum_{\left[\frac{r_{s,u}^t - d_u}{r_z} \right]}^{\left[\frac{r_{s,u}^t + d_u}{r_z} \right]} m_s^t(j)。$$

6.如权利要求1所述的方法,其特征在于,(3)中在超宽带雷达检测到的波形数据中滤除对应于目标的回波分量,是在每个超宽带雷达波形对应于目标的回波中减去目标回波分量 $\bar{m}_{s,u}^t$,得到滤除已检测目标回波分量的波形测量值 $\hat{m}_s^t(j)$:

$$\hat{m}_s^t(j) = \begin{cases} m_s^t(j) & j \neq \left[\frac{r_{s,u}^t - d_u}{r_z} \right], \dots, \left[\frac{r_{s,u}^t + d_u}{r_z} \right] \\ m_s^t(j) - \bar{m}_{s,u}^t & j = \left[\frac{r_{s,u}^t - d_u}{r_z} \right], \dots, \left[\frac{r_{s,u}^t + d_u}{r_z} \right] \end{cases}$$

其中, $m_s^t(j)$ 表示第s个超宽带雷达在第t帧中的第j个距离分辨单位的幅度, $r_{s,u}^t$ 表示第s个超宽带雷达在第t帧中到第u个目标的距离, r_z 表示每个距离分辨单位的长度, d_u 为圆形目标u的半径。

7.如权利要求1所述的方法,其特征在于,(4)中对滤除已检测目标回波分量的波形测量值进行轨迹生成和区域平滑处理,实现如下:

(4a) 使用回波抑制后的波形数据对搜索区域生成轨迹:

(4a1) 将搜索区域按照x,y坐标轴分为 $N_x \times N_y$ 个宽度为 Δ_{xy} 的单元格,将采集数据的时间 t_1 到 t_2 分为宽度为 Δ_u 的 N_t 个单元格,每帧对应一个时间单元格,即将空间和时间构成的三维区域划分为 $N_x \times N_y \times N_t$ 个单元格;

(4a2) 对 N_r 个UWB雷达的第t帧数据的搜索区域成像:

设置检测距离检测门限 T_r 和波形数据幅度检测门限 T_f ,对搜索区域内距离j大与距离检测门限 T_r 的单元格进行投票,即当测量值 $\hat{m}_s^t(j)$ 大于幅度检测门限 T_f 时,对以雷达s为中心, $j r_z$ 为半径的圆所经过的单元格中的票数加1;

遍历完第t帧所有波形数据后可以得到一个 $N_x \times N_y$ 矩阵 Φ_s^t ,该矩阵表示雷达s在t帧时的搜索区域像,将 N_r 个雷达所得搜索区域像相乘,得到第t帧的综合区域像 Φ^t :

$$\Phi^t = \prod_{s=1}^{N_r} \Phi_s^t;$$

(4a3) 将超宽带雷达检测帧内的 N_t 个综合区域像 $\{\Phi^t | t=1, \dots, N_t\}$ 组成三维矩阵,使用三维区域生长方法对三维矩阵进行处理,得到超宽带雷达的目标区域;

(4b) 对每一个三维目标区域进行腐蚀和膨胀操作使其平滑,再对每帧目标区域进行凝聚操作,获取目标轨迹 T_p :

$$T_p = \{x_b, y_b, t_b | b=1, \dots, N_t\}$$

其中, x_b, y_b 表示对应于时间 t_b 的目标轨迹段的测量值的二维坐标, N_t 表示超宽带雷达检测帧数。

8. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,(5)中将基于点迹数据的目标轨迹和基于波形数据的目标轨迹融合,实现如下:

(5a) 对激光雷达目标轨迹与超宽带雷达目标轨迹从时间上进行外推,得到对应于 $\{t_b | b = N_t + 1, \dots, N_t + w\}$ 的外推轨迹测量值,得到目标轨迹:

$$T_p = \{x_b, y_b, t_b | b = 1, \dots, N_t + w\}$$

$$T_q = \{x_b, y_b, t_b | b = 1, \dots, N_t + w\}$$

其中, T_p 表示超宽带雷达目标轨迹, T_q 表示激光雷达目标轨迹, x_b, y_b 表示对应于时间 t_b 的目标轨迹段的测量值的二维坐标, N_t 表示超宽带雷达检测帧数, w 表示外推的时间;

(5b) 枚举激光雷达和超宽带雷达轨迹所有可能的关联形式,并计算每一对激光雷达轨迹与超宽带雷达轨迹的最优次模式分配距离;

(5c) 将最优次模式分配距离最小的一对轨迹作为两种轨迹的最优关联形式,使用最优关联形式对激光雷达和超宽带雷达轨迹进行融合,得到最终综合的目标轨迹。

一种基于不同体制雷达的波形与点迹融合检测方法

技术领域

[0001] 本发明属于雷达技术领域,更进一步涉及一种目标融合检测方法,可用于雷达探测。

背景技术

[0002] 在使用雷达传感器进行探测时,传感器根据测量数据类型的不同可以分为两类:测量值为波束的雷达与测量值为点迹的雷达,其中:

[0003] 激光雷达Lidar是一种测量值为点迹的雷达,其能以较高的采样频率获取多个目标较为精确的二维位置,然而由于激光雷达发射和接收的激光信号波长短,其电磁波绕射能力弱,因而,在强光影响和障碍物遮挡的情况下,对某些方位不能得到有效测量值。如图1所示,阴影区域为雷达所不能探测到的区域,其中阴影区域I由干扰造成,阴影区域II由障碍物遮挡造成。

[0004] 超宽带雷达UWB是一种测量值为波束的雷达,其通过多个雷达节点所得波形来进行二维定位,该雷达具有一维距离像分辨率高,作用距离远的特点。但在目标定位时有着两方面不足:

[0005] 一是存在精度稀释问题,如图2a,图2b分别描述了一个由两组超宽带雷达传感器组成的一个目标检测系统,其中图2b中的目标相较图2a中的目标距离传感器更远,每个系统中的两个超宽带雷达传感器用不同的实框和空白框表示,阴影部分表示雷达系统对检测到的目标的预警区域。由于在超宽带雷达进行目标检测时,随着目标与传感器之间距离的增加,波形中属于目标部分的振幅会逐渐减小,使得靠近传感器的目标回波比远离传感器的目标回波强得多,造成超宽带雷达对远目标定位的精度稀释。从图2可看出,由于图2b中的目标相较图2a中的目标距离传感器更远,因而雷达系统对图2b中目标的检测区域相比于图2a更加宽泛,表明其定位精度下降。

[0006] 二是存在多目标检测时出现虚假目标问题,如图3所示。图3是由两组超宽带雷达传感器组成的一个检测系统在多目标检测情况下的示意图,两个超宽带雷达传感器的组成部分用不同的实框和空白框表示,阴影部分表示雷达系统对检测到的目标的预警区域,弧形的大小代表回波的强弱。当存在多个目标时,强目标的回波与弱目标的回波重叠区域会强于弱目标真实区域的回波,在图3中表示为虚警区域的强度大于目标二检测区域的强度。由此造成检测到两个强于弱目标的虚假目标。

[0007] 由于使用单一类型传感器检测目标时存在上述局限性,为了实现更高的定位和测绘精度,利用不同种类传感器进行融合检测的方法近年来引起了越来越多的关注。融合来自超宽带雷达和激光雷达的数据具有两个方面的挑战性。第一,由于这两种传感器工作原理不同,它们采集的数据类型也不同,类型为波束的数据和类型为点迹的数据没有用于对应匹配和特征配准的共同特征。第二,对超宽带雷达世界坐标系与激光雷达世界坐标系之间的转换关系进行实时求解时缺乏测量环境的先验信息。基于上述两种原因,现有的目标融合检测技术均为基于点迹融合的处理方法,即将超宽带雷达网络所得点迹与激光雷达所

得点迹进行联合处理。如申请号为CN106680806A,标题为一种多雷达点迹融合方法的专利,申请号为CN105093186A,标题为一种基于异构雷达传感网的多目标融合检测方法,其目标融合方法均采用点迹融合方式,这种方式在当雷达传感器测量值为波束时,无法改善精度稀释问题和多目标时的虚假目标问题。

发明内容

[0008] 本发明的目的在于针对上述现有技术的不足,提出一种基于雷达波形与雷达点迹的目标融合检测方法,以减小精度稀释和多目标时的虚假目标,提高检测率。

[0009] 为实现上述目的,本发明的技术方案包括如下:

[0010] (1) 分别使用激光雷达传感器和超宽带雷达传感器获取目标的点迹数据信息和波形数据信息;

[0011] (2) 使用基于三维图像处理的方法对目标的点迹数据信息进行轨迹生成,得到估计的目标区域,并按照超宽带雷达检测帧时间对该估计目标区域进行区域平滑,得到与超宽带雷达检测帧时间对齐的基于点迹数据的目标轨迹;

[0012] (3) 利用该轨迹段反推此刻目标状态在超宽带雷达检测数据中对应的目标回波,并在对应的波形数据中滤除该回波分量;

[0013] (4) 对回波分量滤除后的超宽带雷达波形数据进行轨迹生成和区域平滑处理,得到基于波形数据的目标轨迹;

[0014] (5) 将基于点迹数据的目标轨迹和基于波形数据的目标轨迹融合,得到最终综合后的目标轨迹。

[0015] 本发明于现有技术相比,具有如下优点:

[0016] 1. 本发明提出的技术涉及波形数据和点迹数据的融合,能够改善点迹融合技术所不能解决的精度稀释和多目标时的虚假目标问题。

[0017] 2. 本发明能通过波形抑制剔除在波形数据中测量值为点迹的雷达已检测到的目标所对应的回波,这种处理方法有利于在检测时抑制虚警目标。

[0018] 3. 本发明构建了一种联合处理波束数据传感器和点迹数据传感器数据的检测前跟踪框架,可以有效提高检测率。

附图说明

[0019] 图1是现有激光雷达检测系统示意图;

[0020] 图2是现有用两组超宽带雷达传感器组成的一个检测系统分别对相距传感器近距离目标和远距离目标进行探测的回波信号示意图;

[0021] 图3是现有用两组超宽带雷达传感器组成的一个检测系统在多目标检测情况下的回波信号示意图;

[0022] 图4是本发明的实现流程图;

[0023] 图5是本发明仿真实验使用的场景说明图;

[0024] 图6是本发明中激光雷达所得的点迹数据图;

[0025] 图7是本发明中激光雷达所生成的目标轨迹图;

[0026] 图8是本发明中超宽带雷达所得的波形数据图;

- [0027] 图9是本发明中超宽带雷达进行回波抑制后的波形数据图；
 [0028] 图10是本发明中超宽带雷达所得的目标轨迹图；
 [0029] 图11是用本发明融合处理后的综合目标轨迹图；
 [0030] 图12是用现有仅由超宽带雷达网络所得的目标轨迹图。

具体实施方式

[0031] 以下结合附图,对本发明的实施例和效果进行详细描述:

[0032] 参照图4,本实例的实现步骤如下:

[0033] 步骤1.获取目标的点迹数据信息和波形数据信息。

[0034] 目标的点迹数据信息和波形数据信息分别使用激光雷达和超宽带雷达获取,即:

[0035] 使用激光雷达获得的点迹数据信息为: $\{x_i, y_i, t_i \mid i=1, \dots, N_i, t_1 \leq t_i \leq t_2\}$;

[0036] 使用超宽带雷达获取的波束数据信息为:

[0037] $m_s^t = \{m_s^t(j) \mid j=1, \dots, N_c, s=1, \dots, N_r, t_1 \leq t \leq t_2\}$;

[0038] 其中, x_i, y_i 表示第 i 个雷达点迹在搜索区域中的二维坐标, t_i 表示第 i 个雷达点迹在 t^i 时刻采样, N_i 表示激光雷达采样的点数; $m_s^t(j)$ 表示第 s 个雷达中, 在第 t 帧中第 j 个距离分辨单元的幅度, 每个距离分辨单位的长度为 r_z , N_c 表示距离分辨单元的数目。

[0039] 步骤2.获取动目标的测量值。

[0040] 对激光雷达获取的点迹信息进行静态杂波抑制, 将抑制后得到的点迹数据作为动目标的测量值: $\{x_i, y_i, t_i \mid i=1, \dots, N_m, t_1 \leq t_i \leq t_2\}$, 其中, N_m 为对激光雷达对动目标检测到的点迹数目。

[0041] 步骤3.使用基于三维图像处理的方法对动目标的测量值进行轨迹生成。

[0042] (3.1) 对空间时间进行三维划分并对点迹数据进行投票:

[0043] (3.1.1) 将搜索区域按照 x, y 坐标轴分为 $N_x \times N_y$ 个宽度为 Δ_{xy} 的单元格, 将采集数据的时间 t_1 到 t_2 分为宽度为 Δ_t 的 N_t 个单元格, 即将空间和时间构成的三维区域划分为 $N_x \times N_y \times N_t$ 个单元格, 则该三维区域可用一个 $N_x \times N_y \times N_t$ 的空矩阵 $\mathfrak{R}$ 表征;

[0044] (3.1.2) 将激光雷达的每个点迹放入空矩阵 $\mathfrak{R}$ 中, 完成对点迹数据的投票:

[0045] $\mathfrak{R}\left(\left[\frac{x_i}{\Delta_{xy}}, \left[\frac{y_i}{\Delta_{xy}}, \left[\frac{t_i}{\Delta_t}\right]\right]\right) = \mathfrak{R}\left(\left[\frac{x_i}{\Delta_{xy}}, \left[\frac{y_i}{\Delta_{xy}}, \left[\frac{t_i}{\Delta_t}\right]\right]\right)^* + 1$

[0046] 其中 $[\cdot]$ 表示四舍五入, $\mathfrak{R}\left(\left[\frac{x_i}{\Delta_{xy}}, \left[\frac{y_i}{\Delta_{xy}}, \left[\frac{t_i}{\Delta_t}\right]\right]\right)$ 表示一次投票后 $\mathfrak{R}$ 矩阵在

$\left[\frac{x_i}{\Delta_{xy}}, \left[\frac{y_i}{\Delta_{xy}}, \left[\frac{t_i}{\Delta_t}\right]\right]$ 位置的票数, $\mathfrak{R}\left(\left[\frac{x_i}{\Delta_{xy}}, \left[\frac{y_i}{\Delta_{xy}}, \left[\frac{t_i}{\Delta_t}\right]\right]\right)^*$ 表示一次投票前 $\mathfrak{R}$ 矩阵在

$\left[\frac{x_i}{\Delta_{xy}}, \left[\frac{y_i}{\Delta_{xy}}, \left[\frac{t_i}{\Delta_t}\right]\right]$ 位置的票数;

[0047] (3.2) 用三维区域生长的方法检测目标区域:

[0048] (3.2.1) 在三维矩阵 $\mathfrak{R}$ 中均匀选取种子单元格, 以一个种子单元格作为中心向外生长, 得到该单元格中完整的三维目标区域, 并提取向该三维区域投票的点迹集合 R_q :

$$[0049] \quad R_q = \{x_a, y_a, t_a \mid a=1, \dots, N_q\},$$

[0050] 其中, x_a, y_a 表示 t_a 时刻向三维区域投票的点迹在搜索区域的二维坐标, N_q 表示该种子单元格中的点迹的数目;

[0051] (3.2.2) 重复 (3.2.1) 直到获取全部的三维目标区域, 将每一个包含点迹的三维目标区域看作一个目标轨迹, 该区域包含的点迹即为该目标轨迹的测量值。

[0052] 步骤4. 按照超宽带雷达检测帧时间对估计目标区域进行区域平滑。

[0053] 计算超宽带雷达检测帧的个数 N_t :

$$[0054] \quad N_t = \frac{\max(t_b) - \min(t_b)}{\Delta_u}$$

[0055] 其中, Δ_u 为超宽带雷达网络帧间时间差, t_b 为雷达探测获取的点迹的时间戳;

[0056] 按照超宽带雷达检测帧时间对估计目标区域进行区域平滑, 得到时间平滑后的轨迹 T_q :

$$[0057] \quad T_q = \{x_b, y_b, t_b \mid b=1, \dots, N_t\}$$

[0058] 其中, x_b, y_b 表示对应于时间 t_b 的目标轨迹段的测量值的二维坐标。

[0059] 步骤5. 利用点迹数据处理所得轨迹段反推目标状态在超宽带雷达检测数据中对应的目标回波。

[0060] (5.1) 假设轨迹段 T_q 中包含 N_t 个目标的轨迹, 第 s 个超宽带雷达在各帧中到 N_t 个目标的距离为 $r_{s,u}^t$:

$$[0061] \quad \{r_{s,u}^t \mid u=1, \dots, N_T; s=1, \dots, N_R; t=1, \dots, N_t\}$$

[0062] 其中 $r_{s,u}^t$ 表示第 s 个超宽带雷达在第 t 帧中到第 u 个目标的距离, N_t 表示超宽带雷达探测帧的个数, u 为一个半径为 d_u 的圆形目标;

[0063] (5.2) 提取超宽带雷达 s 检测到的波形数据中对应于目标的回波 $\mathbf{m}_{s,u}^t$:

$$[0064] \quad \mathbf{m}_{s,u}^t = \left\{ m_s^t(j) \mid j = \left\lceil \frac{r_{s,u}^t - d_u}{r_z} \right\rceil, \dots, \left\lceil \frac{r_{s,u}^t + d_u}{r_z} \right\rceil; t=1, \dots, N_t \right\}$$

[0065] 其中, $m_s^t(j)$ 表示第 s 个超宽带雷达在第 t 帧中的第 j 个距离分辨单位的幅度, r_z 表示每个距离分辨单位的长度;

[0066] (5.3) 根据提取出对应于目标的回波 $\mathbf{m}_{s,u}^t$ 估计出目标 u 的回波分量强度 $\bar{\mathbf{m}}_{s,u}^t$:

$$[0067] \quad \bar{\mathbf{m}}_{s,u}^t = \frac{1}{N_t \left\lceil \frac{2d_u}{r_z} \right\rceil} \sum_{N_t}^{\left\lceil \frac{r_{s,u}^t + d_u}{r_z} \right\rceil} \sum_{\left\lceil \frac{r_{s,u}^t - d_u}{r_z} \right\rceil}^{\left\lceil \frac{r_{s,u}^t + d_u}{r_z} \right\rceil} m_s^t(j)。$$

[0068] 步骤6. 在超宽带雷达检测到的波形数据中滤除对应于目标的回波分量。

[0069] 在每个超宽带雷达波形对应于目标的回波 $m_s^t(j)$ 中减去目标回波分量 $\bar{m}_{s,u}^t$, 得到滤除已检测目标回波分量的波形测量值 $\hat{m}_s^t(j)$:

$$[0070] \quad \hat{m}_s^t(j) = \begin{cases} m_s^t(j) & j \neq \left[\frac{r_{s,u}^t - d_u}{r_z} \right], \dots, \left[\frac{r_{s,u}^t + d_u}{r_z} \right] \\ m_s^t(j) - \bar{m}_{s,u}^t & j = \left[\frac{r_{s,u}^t - d_u}{r_z} \right], \dots, \left[\frac{r_{s,u}^t + d_u}{r_z} \right] \end{cases}$$

[0071] 其中, $m_s^t(j)$ 表示第s个超宽带雷达在第t帧中的第j个距离分辨单位的幅度, $r_{s,u}^t$ 表示第s个超宽带雷达在第t帧中到第u个目标的距离, r_z 表示每个距离分辨单位的长度, d_u 为圆形目标u的半径。

[0072] 步骤7. 使用滤除已检测目标回波分量的波形测量值 $\hat{m}_s^t(j)$ 进行轨迹生成和区域平滑处理。

[0073] (7.1) 使用滤除已检测目标回波分量的波形测量值 $\hat{m}_s^t(j)$ 对搜索区域生成轨迹:

[0074] (7.1.1) 将搜索区域按照x,y坐标轴分为 $N_x \times N_y$ 个宽度为 Δ_{xy} 的单元格, 将采集数据的时间 t_1 到 t_2 分为宽度为 Δ_u 的 N_t 个单元格, 每帧对应一个时间单元格, 即将空间和时间构成的三维区域划分为 $N_x \times N_y \times N_t$ 个单元格;

[0075] (7.1.2) 对 N_r 个UWB雷达的第t帧数据的搜索区域成像:

[0076] 设置检测距离检测门限 T_r 和波形数据幅度检测门限 T_f , 对搜索区域内距离j大与距离检测门限 T_r 的单元格进行投票, 即当测量值 $\hat{m}_s^t(j)$ 大于幅度检测门限 T_f 时, 对以雷达s为中心, $j r_z$ 为半径的圆所经过的单元格中的票数加1;

[0077] 遍历第t帧所有波形数据, 得到一个 $N_x \times N_y$ 矩阵 Φ_s^t , 该矩阵表示雷达s在t帧时的搜索区域像, 将 N_r 个雷达所得搜索区域像相乘, 得到第t帧的综合区域像 Φ^t :

$$[0078] \quad \Phi^t = \prod_{s=1}^{N_r} \Phi_s^t;$$

[0079] (7.1.3) 将超宽带雷达检测帧内的 N_t 个综合区域像 $\{\Phi^t | t=1, \dots, N_t\}$ 组成三维矩阵, 使用三维区域生长方法对三维矩阵进行成像处理, 得到超宽带雷达的目标区域;

[0080] (7.2) 对每一个三维目标区域进行腐蚀和膨胀操作使其平滑, 再对每帧目标区域进行凝聚操作, 获取目标轨迹 T_p :

$$[0081] \quad T_p = \{x_b, y_b, t_b | b=1, \dots, N_t\}$$

[0082] 其中, x_b, y_b 表示对应于时间 t_b 的目标轨迹段的测量值的二维坐标, N_t 表示超宽带雷达检测帧数。

[0083] 步骤8. 将基于点迹数据的目标轨迹和基于波形数据的目标轨迹融合。

[0084] (8.1) 对激光雷达目标轨迹与超宽带雷达目标轨迹从时间上进行外推, 得到对应于 $\{t_b | b=N_t+1, \dots, N_t+w\}$ 的外推轨迹测量值, 再将外推轨迹测量值与原轨迹关联后得到目标轨迹:

[0085] $T_p = \{x_b, y_b, t_b | b=1, \dots, N_t+w\}$

[0086] $T_q = \{x_b, y_b, t_b | b=1, \dots, N_t+w\}$

[0087] 其中, T_p 表示超宽带雷达目标轨迹, T_q 表示激光雷达目标轨迹, x_b, y_b 表示对应于时间 t_b 的目标轨迹段的测量值的二维坐标, N_t 表示超宽带雷达检测帧数, w 表示外推的时间;

[0088] (8.2) 枚举激光雷达和超宽带雷达轨迹所有可能的关联形式, 并计算每一种可能的关联形式中激光雷达轨迹与超宽带雷达轨迹的最优次模式分配距离OSPA;

[0089] (8.3) 将计算出的最优次模式分配距离最小的一对轨迹作为两种轨迹的最优关联形式, 利用该最优关联形式对激光雷达和超宽带雷达轨迹进行融合, 得到最终综合的目标轨迹。

[0090] 本发明效果可通过以下实验效果作进一步描述:

[0091] 一. 实验条件:

[0092] 构建实验场景如图5所示, 其包括2个移动的行人目标, 分别为目标1, 目标2, 三个超宽带雷达、一个激光雷达, 使用三个超宽带雷达和一个激光雷达组成的雷达网络对一个与走廊相连接的大厅中两个行人目标进行监测, 大厅的一边是玻璃, 从玻璃中照入的阳光和大厅中的立柱均对激光雷达目标探测产生影响与遮挡。

[0093] 二. 实验的内容与结果分析:

[0094] 仿真实验1, 基于上述实验条件, 用本发明场景中的激光雷达获取周围环境的点迹数据, 并对点迹数据进行静态杂波抑制操作, 结果如图6所示, 其中虚框标出的部分分别对应为目标1和目标2的点迹数据, 从图6可以看到, 目标1的轨迹可以完整的探测到, 但是由于遮挡作用, 目标2只有部分轨迹可以被探测到;

[0095] 仿真实验2, 基于上述实验条件, 将仿真实验1所得到的目标1和目标2这两个移动目标测量值分别经过基于三维区域生长的目标轨迹检测算法生成的目标轨迹, 结果如图7所示。从图7可以看出目标2的轨迹有4部分的中断, 如图7目标2虚线框标注, 这是因为目标2所在部分区域由于干扰和遮挡无法被检测到。

[0096] 仿真实验3, 基于上述实验条件, 用本发明场景中的三个超宽带雷达获取周围环境的波形数据, 结果如图8所示, 其中, 图8a是第一个超宽带雷达1获取的数据, 图8b是第二个超宽带雷达2获取的数据, 图8c是第三个超宽带雷达3获取的数据。从图8可以看出, 目标回波随着距离增大而减弱。

[0097] 仿真实验4, 基于上述实验条件, 从仿真实验3中的波形数据中滤除已检测目标回波分量, 得到回波分量抑制后的波形数据, 如图9所示, 其中, 图9a是第一个超宽带雷达1经回波分量抑制后的波形数据, 图9b是第二个超宽带雷达2经回波分量抑制后的波形数据, 图9c是第三个超宽带雷达3经回波分量抑制后的波形数据。图9中各个雷达经回波分量抑制后的波形数据即对应激光雷达未能检测到的目标轨迹。

[0098] 仿真实验5, 基于上述实验条件, 对仿真实验4得到的波形数据进行成像, 生成轨迹, 结果如图10所示, 图10中虚框标出部分为利用回波抑制后的超宽带雷达波形数据所成像的轨迹, 即目标2未被激光雷达检出的轨迹。

[0099] 仿真实验6, 基于上述实验条件, 将仿真实验2中得到的激光雷达轨迹与仿真实验5中得到的超宽带雷达轨迹进行关联融合, 得到目标1融合后的轨迹和目标2融合后的轨迹, 结果如图11所示。其中图11中目标1和目标2的最终融合轨迹是由激光雷达所得轨迹与超宽

带雷达所得轨迹融合后构成的,目标2轨迹中激光雷达漏检部分由超宽带雷达检测出并补偿,可以看出融合后轨迹与真实轨迹一致。

[0100] 仿真实验7,单纯使用仿真实验3中超宽带雷达所得波形数据进行多帧联合检测生成目标1和目标2轨迹,结果如图12所示,从图12中可以看出,目标1和目标2的生成轨迹中存在一些虚假目标。

[0101] 图11和图12的结果表明,本发明可以有效减少精度稀释和多目标时的虚假目标问题,并能在检测时抑制虚警,获得更精确的目标跟踪轨迹。

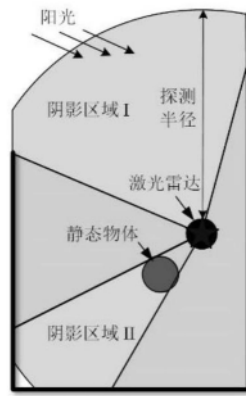


图1

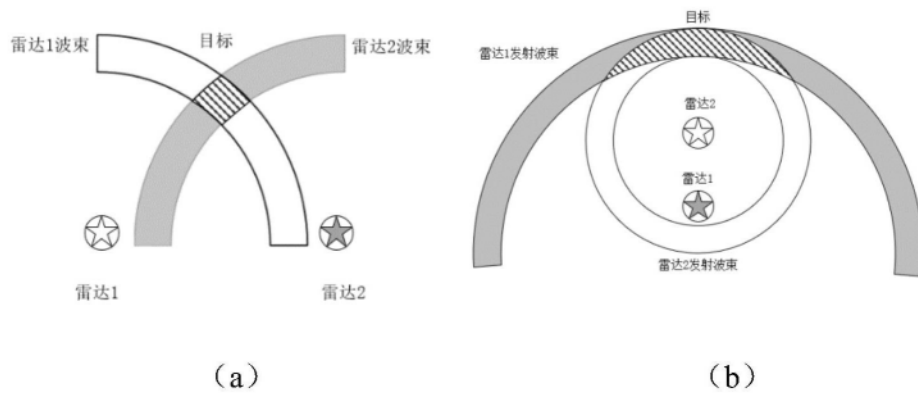


图2

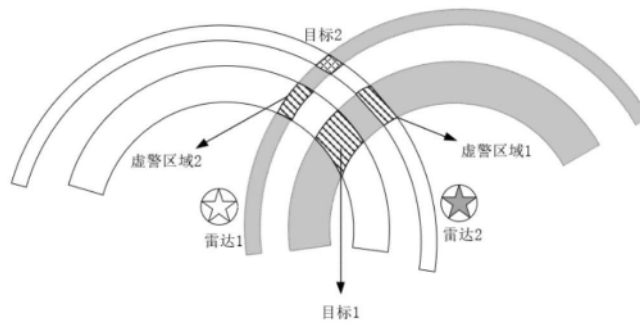


图3

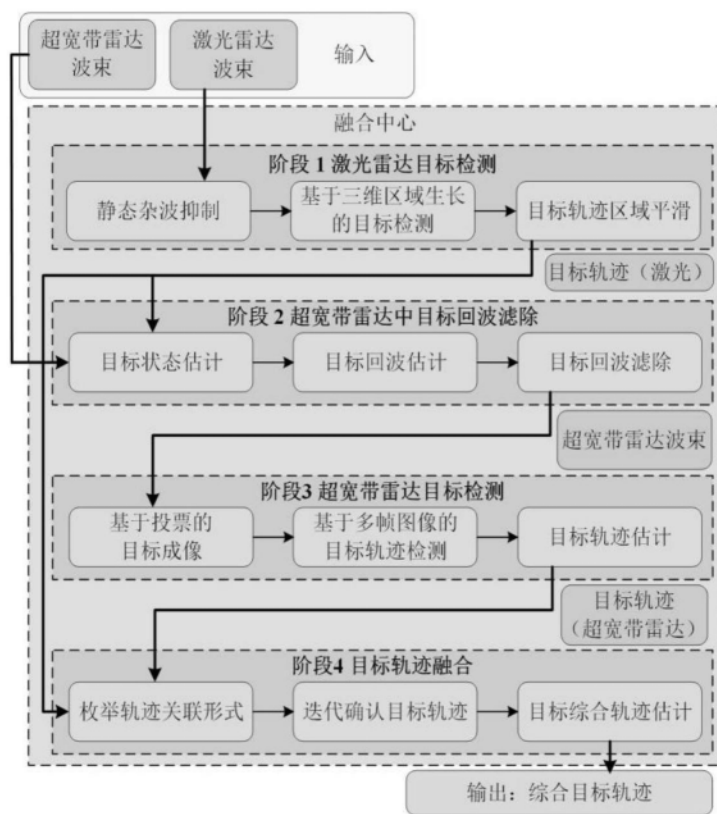


图4

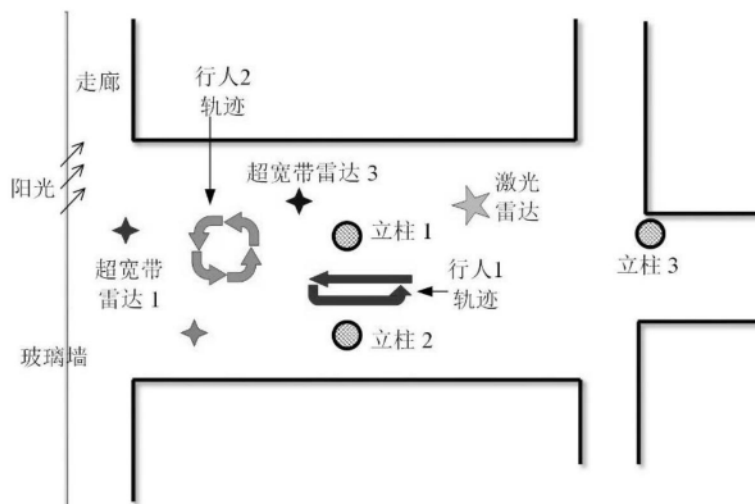


图5

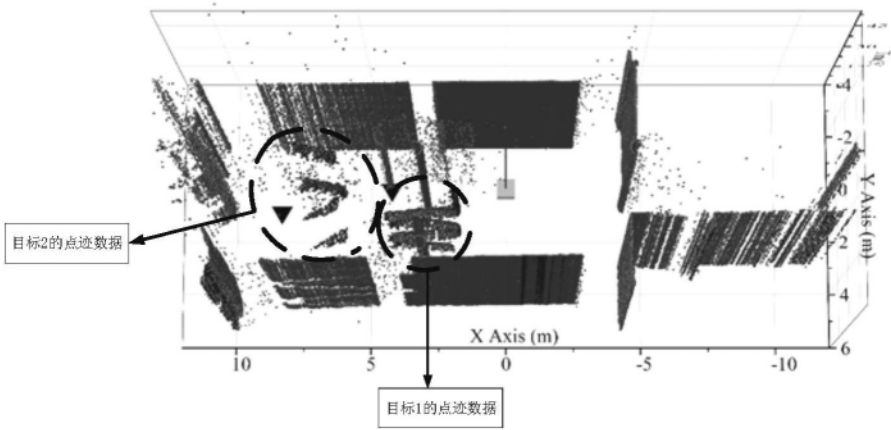


图6

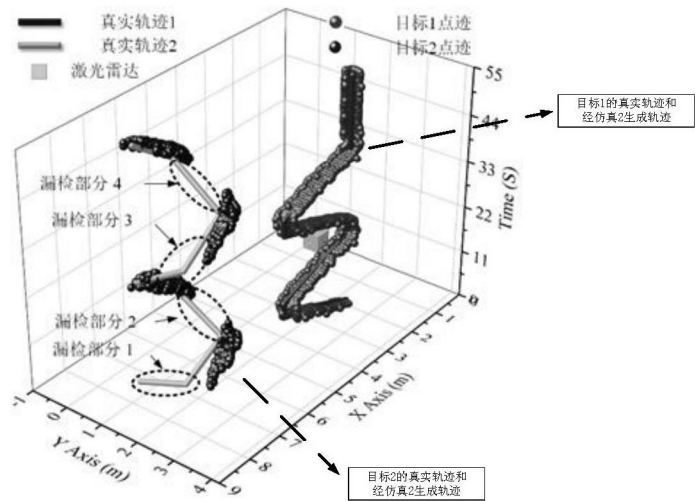


图7

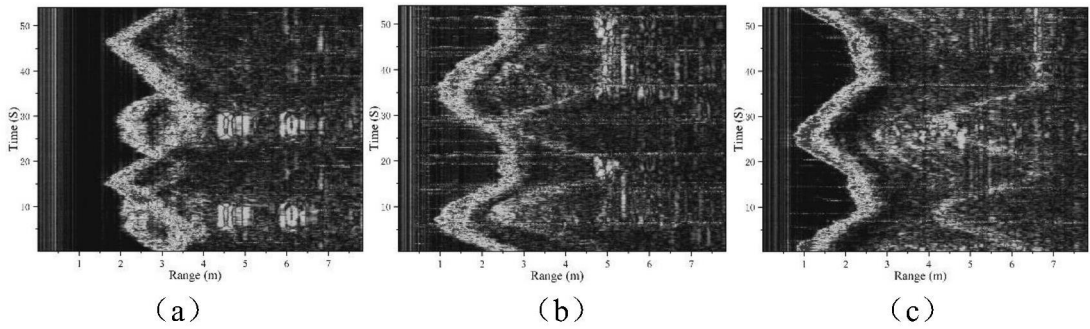


图8

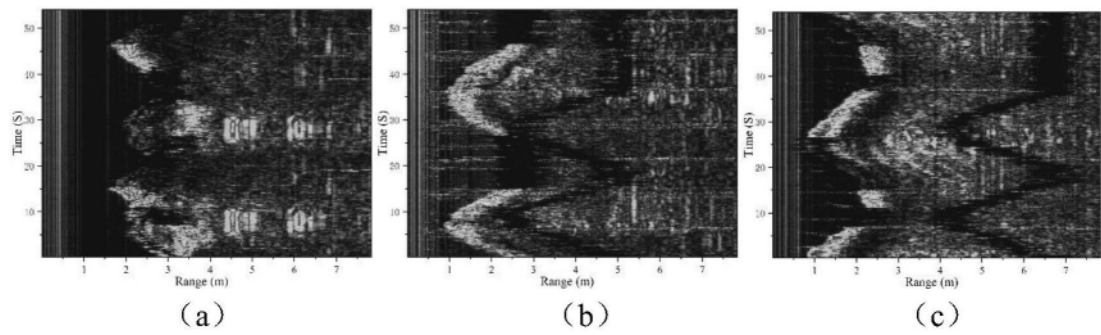


图9

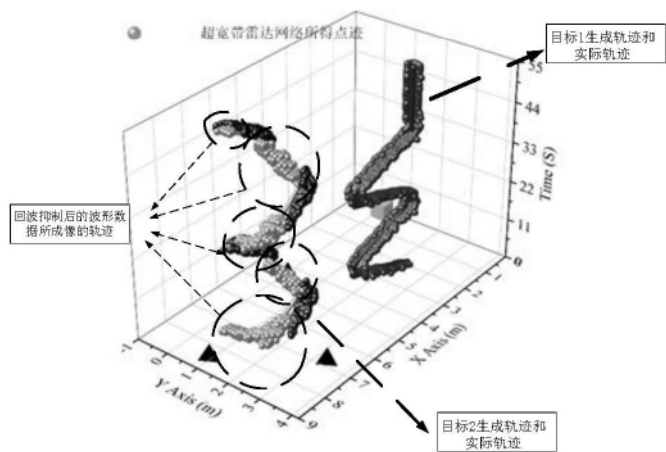


图10

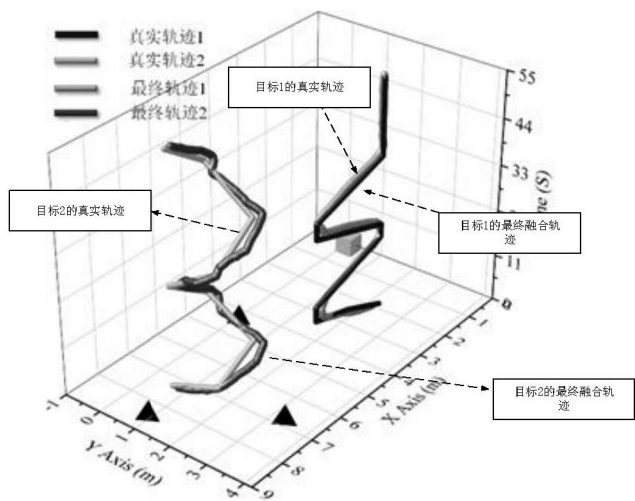


图11

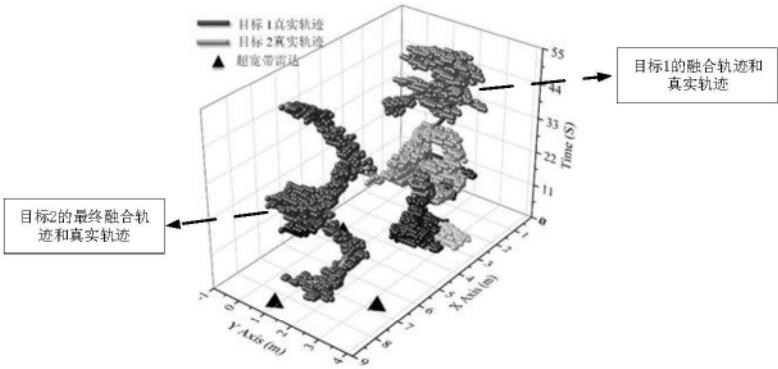


图12