



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 111948643 A

(43) 申请公布日 2020.11.17

(21) 申请号 202010815365.5

(22) 申请日 2020.08.13

(71) 申请人 中国科学院空天信息创新研究院
地址 100190 北京市海淀区北四环西路19号

(72) 发明人 李超 李宏伟 吴世有 郑深
方广有

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任
公司 11021

代理人 刘歌

(51) Int. Cl.

G01S 13/72 (2006.01)

G01S 7/41 (2006.01)

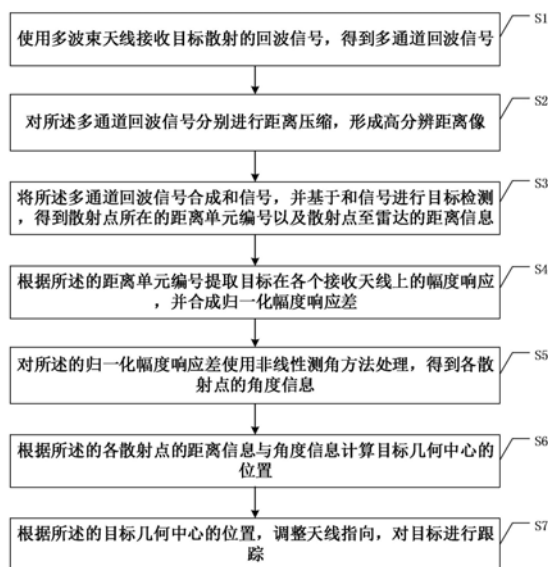
权利要求书2页 说明书8页 附图6页

(54) 发明名称

基于多波束非线性鉴角的目标跟踪方法

(57) 摘要

本公开提供一种基于多波束非线性鉴角的目标跟踪方法,包括:操作S1:使用多波束天线接收目标散射的回波信号,得到多通道回波信号;操作S2:对多通道回波信号分别进行距离压缩,形成高分辨距离像;操作S3:将多通道回波信号合成和信号,并基于和信号进行目标检测,得到散射点所在的距离单元编号以及散射点至雷达的距离信息;操作S4:根据所述的距离单元编号提取目标在各个接收天线上的幅度响应,并合成归一化幅度响应差;操作S5:对所述的归一化幅度响应差使用非线性测角方法处理,得到各散射点的角度信息;操作S6:根据所述的各散射点的距离信息与角度信息计算目标几何中心的位置;操作S7:根据的目标几何中心的位置,调整天线指向,对目标进行跟踪。



1. 一种基于多波束非线性鉴角的目标跟踪方法,包括:

操作S1:使用多波束天线接收目标散射的回波信号,得到多通道回波信号;

操作S2:对所述多通道回波信号分别进行距离压缩,形成高分辨距离像;

操作S3:将所述多通道回波信号合成和信号,并基于和信号进行目标检测,得到散射点所在的距离单元编号以及散射点至雷达的距离信息;

操作S4:根据所述的距离单元编号提取目标在各个接收天线上的幅度响应,并合成归一化幅度响应差;

操作S5:对所述的归一化幅度响应差使用非线性测角方法处理,得到各散射点的角度信息;

操作S6:根据所述的各散射点的距离信息与角度信息计算目标几何中心的位置;以及

操作S7:根据所述的目标几何中心的位置,调整天线指向,对目标进行跟踪。

2. 根据权利要求1所述的基于多波束非线性鉴角的目标跟踪方法,操作S1中所述多通道回波信号的公式为:

$$s_k(m, n) = \sum_i F_{ki} \sigma_i e^{-j \frac{4\pi}{c} (f_c + f_n) R_{im}}$$

其中, $c=3e8\text{m/s}$ 为电磁波的传播速度, j 表示复数单位; k 表示多波束天线的通道序号, k 为正整数; m 表示脉冲编号, m 为正整数; n 表示每一个脉冲中的第 n 个采样点, n 为正整数; i 为目标上散射点的序号, i 为正整数; 其散射强度为 σ_i ; F_{ki} 为第 i 个散射点回波信号被第 k 个通道接收时的天线幅度响应系数; 在第 m 个脉冲时刻, 第 i 个散射点距雷达的距离为 R_{im} , f_c 为信号中心频率; f_n 表示第 n 个采样点的频率, 每个脉冲总共采 N 个采样点, 则 $f_n = (n - \frac{N}{2}) \frac{B}{N}$; 其中 B 为信号带宽。

3. 根据权利要求1所述的基于多波束非线性鉴角的目标跟踪方法,操作S2中,所述的高分辨距离像的表达式为:

$$Y(m, l) = \sum_i A(m, i) \text{sinc}(\frac{l}{L} - \frac{1}{N} \frac{2B}{c} R_{im});$$

其中, L 表示高分辨距离像上距离单元的总数, l 表示距离单元的编号, $A(m, i)$ 表示第 m 个脉冲时刻第 i 个散射点在高分辨距离像上的幅度响应。

4. 根据权利要求1所述的基于多波束非线性鉴角的目标跟踪方法,所述操作S3包括:

操作S31:对所述的多通道回波信号进行数字信号处理,合成和信号;

操作S32:对所述和信号进行距离压缩,得到和信号的高分辨距离像;

操作S33:计算所述和信号的高分辨距离像上功率的中值,并将该中值乘以门限因子作为阈值;以及

操作S34:检测功率大于阈值的距离单元,记录存在散射点的距离单元序号,以及对应的散射点到雷达之间的距离。

5. 根据权利要求1所述的基于多波束非线性鉴角的目标跟踪方法,操作S4中,归一化幅度响应差 ε 的表达式满足:

$$\varepsilon = \frac{|Y_1(l)| - |Y_2(l)|}{|Y_1(l)| + |Y_2(l)|};$$

其中, $Y_1(l)$ 表示第1个通道的高分辨距离像上距离单元编号为1的距离单元上的幅度响应, $Y_2(l)$ 表示第2个通道的高分辨距离像上距离单元编号为1的距离单元上的幅度响应。

6. 根据权利要求1所述的基于多波束非线性鉴角的目标跟踪方法, 操作S5中, 各散射点的角度信息为散射点偏离天线的角度 $\Delta\theta$, 其对应的非线性计算公式为:

$$\Delta\theta = \frac{\alpha\varepsilon}{1 + \beta\varepsilon^q}$$

其中, α 称为测角灵敏度系数, 其值由天线标定过程确定; q 表示非线性指数, β 表示非线性系数, 根据跟踪精度需要调节; ε 表示表示合成的归一化幅度响应差。

7. 根据权利要求1所述的基于多波束非线性鉴角的目标跟踪方法, 所述操作S6包括:

操作S61: 根据散射点的距离信息与角度信息计算每个散射点在雷达坐标系中的直角坐标;

操作S62: 根据所述散射点在雷达坐标系中的直角坐标, 合成目标几何中心的直角坐标; 以及

操作S63: 根据所述的目标几何中心的直角坐标, 计算目标几何中心的位置。

8. 根据权利要求7所述的基于多波束非线性鉴角的目标跟踪方法, 所述操作S61中, 所述散射点在雷达坐标系中的直角坐标的计算公式满足:

$$x(l) = R(l) \cos(\theta_a + \Delta\theta(l));$$

$$y(l) = R(l) \sin(\theta_a + \Delta\theta(l));$$

其中, θ_a 表示天线轴的方位角; $\Delta\theta(l)$ 表示第1个距离单元上的散射点偏离天线的角度; $x(l)$ 表示第1个距离单元上的散射点的横坐标, $y(l)$ 表示其纵坐标。

9. 根据权利要求7所述的基于多波束非线性鉴角的目标跟踪方法, 所述操作S62中, 所述目标几何中心的直角坐标计算公式满足:

$$x_c = \frac{1}{N_l} \sum_l x(l);$$

$$y_c = \frac{1}{N_l} \sum_l y(l);$$

其中, x_c 表示目标几何中心的横坐标, y_c 表示目标几何中心的纵坐标, N_l 表示检测到的散射点数目。

10. 根据权利要求7所述的基于多波束非线性鉴角的目标跟踪方法, 所述操作S63中, 所述的目标几何中心的位置包括目标几何中心距离与角度, 其中目标几何中心距离的计算公式满足:

$$R_c = \sqrt{x_c^2 + y_c^2}$$

目标几何中心角度的计算公式满足:

$$\theta = \arccos \frac{x_c}{\sqrt{x_c^2 + y_c^2}}.$$

基于多波束非线性鉴角的目标跟踪方法

技术领域

[0001] 本公开涉及雷达技术领域,尤其涉及一种基于多波束非线性鉴角的目标跟踪方法。

背景技术

[0002] 随着雷达技术的发展,跟踪雷达的应用日益广泛,不仅用于各种火炮控制、导弹制导、外弹道测量、卫星跟踪、突防技术研究等领域;而且,在气象、交通、科学研究等领域的应用也日益扩大。

[0003] 然而,在实际应用中,由于电路元件的不匹配性与天线加工误差等因素,常常导致进行目标跟踪时误差高、稳定性差、甚至目标丢失,因此,如何解决上述问题是一个亟待解决的课题。

[0004] 公开内容

[0005] (一)要解决的技术问题

[0006] 基于上述问题,本公开提供了一种基于多波束非线性鉴角的目标跟踪方法,以缓解现有技术中进行目标跟踪时误差高、稳定性差、甚至目标丢失等技术问题。

[0007] (二)技术方案

[0008] 本公开提供一种基于多波束非线性鉴角的目标跟踪方法,包括:操作S1:使用多波束天线接收目标散射的回波信号,得到多通道回波信号;操作S2:对所述多通道回波信号分别进行距离压缩,形成高分辨距离像;操作S3:将所述多通道回波信号合成和信号,并基于和信号进行目标检测,得到散射点所在的距离单元编号以及散射点至雷达的距离信息;操作S4:根据所述的距离单元编号提取目标在各个接收天线上的幅度响应,并合成归一化幅度响应差;操作S5:对所述的归一化幅度响应差使用非线性测角方法处理,得到各散射点的角度信息;操作S6:根据所述的各散射点的距离信息与角度信息计算目标几何中心的位置;以及操作S7:根据所述的目标几何中心的位置,调整天线指向,对目标进行跟踪。

[0009] 根据本公开实施例,操作S1中所述多通道回波信号的公式为:

$$[0010] \quad s_k(m, n) = \sum_i F_{ki} \sigma_i e^{-j \frac{4\pi}{c} (f_c + f_n) R_{im}}$$

[0011] 其中, $c=3e8m/s$ 为电磁波的传播速度, j 表示复数单位; k 表示多波束天线的通道序号, k 为正整数; m 表示脉冲编号, m 为正整数; n 表示每一个脉冲中的第 n 个采样点, n 为正整数; i 为目标上散射点的序号, i 为正整数;其散射强度为 σ_i ; F_{ki} 为第 i 个散射点回波信号被第 k 个通道接收时的天线幅度响应系数;在第 m 个脉冲时刻,第 i 个散射点距雷达的距离为 R_{im} , f_c 为信号中心频率; f_n 表示第 n 个采样点的频率,每个脉冲总共采 N 个采样点,则

$$f_n = (n - \frac{N}{2}) \frac{B}{N};$$

其中 B 为信号带宽。

[0012] 根据本公开实施例,操作S2中,所述的高分辨距离像的表达式为:

$$[0013] \quad Y(m, l) = \sum_i A(m, i) \operatorname{sinc}\left(\frac{l}{L} - \frac{1}{N} \frac{2B}{c} R_{im}\right);$$

[0014] 其中, L 表示高分辨距离像上距离单元的总数, l 表示距离单元的编号, $A(m, i)$ 表示第 m 个脉冲时刻第 i 个散射点在高分辨距离像上的幅度响应。

[0015] 根据本公开实施例, 所述操作 S3 包括: 操作 S31: 对所述的多通道回波信号进行数字信号处理, 合成和信号; 操作 S32: 对所述和信号进行距离压缩, 得到和信号的高分辨距离像; 操作 S33: 计算所述和信号的高分辨距离像上功率的中值, 并将该中值乘以门限因子作为阈值; 以及操作 S34: 检测功率大于阈值的距离单元, 记录存在散射点的距离单元序号, 以及对应的散射点到雷达之间的距离。

[0016] 根据本公开实施例, 操作 S4 中, 归一化幅度响应差 ε 的表达式满足:

$$[0017] \quad \varepsilon = \frac{|Y_1(l)| - |Y_2(l)|}{|Y_1(l)| + |Y_2(l)|};$$

[0018] 其中, $Y_1(l)$ 表示第 1 个通道的高分辨距离像上距离单元编号为 l 的距离单元上的幅度响应, $Y_2(l)$ 表示第 2 个通道的高分辨距离像上距离单元编号为 l 的距离单元上的幅度响应。

[0019] 根据本公开实施例, 操作 S5 中, 各散射点的角度信息为散射点偏离天线的角度 $\Delta\theta$, 其对应的非线性计算公式为:

$$[0020] \quad \Delta\theta = \frac{\alpha\varepsilon}{1 + \beta\varepsilon^q}$$

[0021] 其中, α 称为测角灵敏度系数, 其值由天线标定过程确定; q 表示非线性指数, β 表示非线性系数, 根据跟踪精度需要调节; ε 表示表示合成的归一化幅度响应差。

[0022] 根据本公开实施例, 所述操作 S6 包括: 操作 S61: 根据散射点的距离信息与角度信息计算每个散射点在雷达坐标系中的直角坐标; 操作 S62: 根据所述散射点在雷达坐标系中的直角坐标, 合成目标几何中心的直角坐标; 以及操作 S63: 根据所述的目标几何中心的直角坐标, 计算目标几何中心的位置。

[0023] 根据本公开实施例, 所述操作 S61 中, 所述散射点在雷达坐标系中的直角坐标的计算公式满足:

$$[0024] \quad x(l) = R(l) \cos(\theta_a + \Delta\theta(l));$$

$$[0025] \quad y(l) = R(l) \sin(\theta_a + \Delta\theta(l));$$

[0026] 其中, θ_a 表示天线轴的方位角; $\Delta\theta(l)$ 表示第 l 个距离单元上的散射点偏离天线的角度; $x(l)$ 表示第 l 个距离单元上的散射点的横坐标, $y(l)$ 表示其纵坐标。

[0027] 根据本公开实施例, 所述操作 S62 中, 所述目标几何中心的直角坐标计算公式满足:

$$[0028] \quad xc = \frac{1}{N_l} \sum_l x(l);$$

$$[0029] \quad yc = \frac{1}{N_l} \sum_l y(l);$$

[0030] 其中, x_c 表示目标几何中心的横坐标, y_c 表示目标几何中心的纵坐标, N_1 表示检测到的散射点数目。

[0031] 根据本公开实施例, 所述操作 S63 中, 所述的目标几何中心的位置包括目标几何中心距离与角度, 其中目标几何中心距离的计算公式满足:

$$[0032] \quad R_c = \sqrt{x_c^2 + y_c^2}$$

[0033] 目标几何中心角度的计算公式满足:

$$[0034] \quad \theta = \arccos \frac{x_c}{\sqrt{x_c^2 + y_c^2}} \circ$$

[0035] (三) 有益效果

[0036] 从上述技术方案可以看出, 本公开基于多波束非线性鉴角的目标跟踪方法至少具有以下有益效果其中之一或其中一部分:

[0037] (1) 消除了使用和差电路引起的噪声与误差;

[0038] (2) 消除了由于多波束天线之间的不平衡性;

[0039] (3) 消除了干涉效应引起的异常测量值对测角精度与跟踪性能的影响。

附图说明

[0040] 图1为本公开实施例的基于多波束非线性鉴角的目标跟踪方法的流程示意图。

[0041] 图2为本公开实施例中操作 S3 的流程示意图。

[0042] 图3为本公开实施例中操作 S6 的流程示意图。

[0043] 图4为本公开实施例中一种运动目标的模型示意图。

[0044] 图5为本公开实施例中对高分辨距离像进行非相干积累得到的距离功率像。

[0045] 图6A为本公开实施例中散射点在两个通道中的幅度响应示意图。

[0046] 图6B为本公开实施例中散射点在两个通道中的归一化幅度响应差异示意图。

[0047] 图7为本公开实施例的非线性鉴角曲线与传统的线性鉴角曲线的对比示意图。

[0048] 图8为本公开实施例的根据各散射点的距离信息与角度信息计算目标几何中心的位置示意图。

[0049] 图9为本公开实施例的基于多波束非线性鉴角的目标跟踪方法得到的目标跟踪角度和目标真实角度的对比示意图。

具体实施方式

[0050] 本公开提供了一种基于多波束非线性鉴角的目标跟踪方法, 能够消除由信号合成电路引起的误差, 以及由于天线通道不平衡与干涉效应引起的测角误差, 提高测角精度与跟踪稳定性。

[0051] 在实现本公开的过程中发明人发现, 传统的跟踪雷达主要采用单脉冲技术, 在天线接收端使用特有的电路器件对单脉冲天线不同通道接收到的信号合成和差信号, 通过对和差信号处理, 得到目标的角度信息。然而, 微波合成电路会对信号的合成带来误差, 引起测角误差。而使用多波束天线接收目标回波, 通过天线定标获取不同角度下各个波束之间的响应差异, 利用目标在不同波束中的响应差异进行角度测量, 实现对目标的跟踪时, 由于

电路元件的不匹配性与天线加工误差,天线各个通道之间存在不可避免的幅度与相位不平衡性。同时,雷达的工作频率提高后,散射点之间的干涉作用更加明显。由于系统误差与干涉效应的影响,波束之间的响应差异会出现异常值,若使用常规的线性鉴角方法,会使测角结果出现异常偏离,引起测量误差,导致目标跟踪不稳定甚至丢失。因此,本公开根据多波束天线用于目标跟踪中存在的问题,对多波束天线各个通道独立接收,采用数字技术进行信号处理,消除由信号合成电路引起的误差。此外,由于电路元件的不匹配性与天线加工误差,以及复杂目标上各个散射点的干涉影响,天线各个波束之间的响应差异会出现异常值。进而根据多波束天线用于目标跟踪中存在的问题,提出了一种非线性鉴角的技术方案,消除由于天线通道不平衡与干涉效应引起的测角误差,提高测角精度与跟踪稳定性。

[0052] 为使本公开的目的、技术方案和优点更加清楚明白,以下结合具体实施例,并参照附图,对本公开进一步详细说明。

[0053] 在本公开实施例中,提供一种基于多波束非线性鉴角的目标跟踪方法,如图1所示,所述基于多波束非线性鉴角的目标跟踪方法,包括:

[0054] 操作S1:使用多波束天线接收目标散射的回波信号,得到多通道回波信号;

[0055] 操作S2:对所述的多通道回波信号分别进行距离压缩,形成高分辨距离像;

[0056] 操作S3:将所述的多通道回波信号合成和信号,并基于和信号进行目标检测,得到散射点所在的距离单元编号以及对应的距离信息;

[0057] 操作S4:根据所述的距离单元编号提取目标在各个接收天线上的幅度响应,并合成归一化的幅度响应差;

[0058] 操作S5:对所述的归一化幅度响应差使用非线性测角方法处理,得到各散射点的角度信息;

[0059] 操作S6:根据所述的各散射点的距离信息与角度信息计算目标几何中心的位置;

[0060] 操作S7:根据所述的目标几何中心的位置,调整天线指向,对目标进行跟踪。

[0061] 在本公开的一些实施例中,操作S1中所述多通道回波信号 $s_k(m,n)$ 的公式为:

$$[0062] \quad s_k(m,n) = \sum_i F_{ki} \sigma_i e^{-j \frac{4\pi}{c} (f_c + f_n) R_{im}}$$

[0063] 其中, $c=3e8m/s$ 为电磁波的传播速度, j 表示复数单位; k 表示多波束天线的通道序号, k 为正整数; m 表示脉冲编号, m 为正整数; n 表示每一个脉冲中的第 n 个采样点, n 为正整数; i 为目标上散射点的序号, i 为正整数;其散射强度为 σ_i ; F_{ki} 为第 i 个散射点回波信号被第 k 个通道接收时的天线幅度响应系数;在第 m 个脉冲时刻,第 i 个散射点距雷达的距离为 R_{im} , f_c 为信号中心频率; f_n 表示第 n 个采样点的频率,每个脉冲总共采 N 个采样点,则

$$f_n = (n - \frac{N}{2}) \frac{B}{N}; \text{其中} B \text{为信号带宽。}$$

[0064] 在本公开的一些实施例中,操作S2中,对所述的多通道回波信号分别进行距离压缩,形成高分辨距离像。所述的高分辨距离像的简化形式为:

$$[0065] \quad Y(m,l) = \sum_i A(m,i) \text{sinc}(\frac{l}{L} - \frac{1}{N} \frac{2B}{c} R_{im});$$

[0066] 其中, L 表示高分辨距离像上距离单元的总数, l 表示距离单元的编号, $A(m,i)$ 表示

第m个脉冲时刻第i个散射点在高分辨距离像上的幅度响应。

[0067] 在本公开的一些实施例中,如图3所示,所述操作S3包括:

[0068] 操作S31:对所述的多通道回波信号进行数字信号处理,合成和信号;

[0069] 操作S32:对所述合成的和信号进行距离压缩,得到和信号的高分辨距离像;

[0070] 操作S33:计算所述的高分辨距离像上功率的中值,并将该中值乘以门限因子 η 作为阈值;以及

[0071] 操作S34:检测功率大于阈值的距离单元,记录存在散射点的距离单元序号1,以及对应的散射点到雷达之间的距离R(1)。

[0072] 在本公开的一些实施例中,操作S4中,根据所述的距离单元序号提取目标在各个接收天线上的幅度响应,并合成归一化的幅度响应差;其表达式满足:

$$[0073] \quad \varepsilon = \frac{|Y_1(l)| - |Y_2(l)|}{|Y_1(l)| + |Y_2(l)|};$$

[0074] 其中, ε 表示合成的归一化幅度响应差, $Y_1(1)$ 表示第1个通道的高分辨距离像上距离单元编号为1的距离单元上的幅度响应, $Y_2(1)$ 表示第2个通道的高分辨距离像上距离单元编号为1的距离单元上的幅度响应。

[0075] 在本公开的一些实施例中,操作S5中,对所述的归一化幅度响应差使用非线性测角方法处理,得到各散射点偏离天线的角度 $\Delta\theta$;对应的非线性计算公式为:

$$[0076] \quad \Delta\theta = \frac{\alpha\varepsilon}{1 + \beta\varepsilon^q}$$

[0077] 其中, α 称为测角灵敏度系数,其值由天线标定过程确定; q 表示非线性指数, β 表示非线性系数,可根据跟踪精度需要调节; ε 表示表示合成的归一化幅度响应差。

[0078] 在本公开的一些实施例中,所述操作S6包括:

[0079] 操作S61:根据散射点的距离信息与角度信息计算每个散射点在雷达坐标系中的直角坐标;

[0080] 操作S62:根据所述散射点在雷达坐标系中的直角坐标,合成目标几何中心的直角坐标;以及

[0081] 操作S63:根据所述的目标几何中心的直角坐标,计算目标几何中心的位置。

[0082] 所述操作S61中,所述散射点在雷达坐标系中的直角坐标的计算公式满足:

$$[0083] \quad x(1) = R(1) \cos(\theta_a + \Delta\theta(1));$$

$$[0084] \quad y(1) = R(1) \sin(\theta_a + \Delta\theta(1));$$

[0085] 其中, θ_a 表示天线轴的方位角; $\Delta\theta(1)$ 表示第1个距离单元上的散射点偏离天线的角度; $x(1)$ 表示第1个距离单元上的散射点的横坐标, $y(1)$ 表示其纵坐标。

[0086] 所述操作S62中,所述目标的几何中心的直角坐标计算公式满足:

$$[0087] \quad xc = \frac{1}{N_l} \sum_l x(l);$$

$$[0088] \quad yc = \frac{1}{N_l} \sum_l y(l);$$

[0089] 其中, xc 表示目标几何中心的横坐标, yc 表示目标几何中心的纵坐标, N_l 表示检测

到的散射点数目。

[0090] 所述操作S63中,所述的目标几何中心的位置包括距离与角度信息,其中目标几何中心距离的计算公式满足:

$$[0091] \quad R_c = \sqrt{xc^2 + yc^2}$$

[0092] 目标几何中心角度的计算公式满足:

$$[0093] \quad \theta = \arccos \frac{xc}{\sqrt{xc^2 + yc^2}};$$

[0094] 在本公开的一些实施例中,操作S7中,根据所述的目标几何中心的位置,调整天线指向,对目标进行跟踪。

[0095] 以下以一具体实施例验证本公开提供的基于多波束非线性鉴角的目标跟踪方法的有效性:

[0096] 在本公开实施例中,将本公开所提出的多波束非线性鉴角方法用于实际的运动目标跟踪过程,所处理的数据来源于目标运动中跟踪雷达采集到的数据。所使用的雷达系统的具体参数为:载频 $f_c=200\text{GHz}$,带宽 $B=15\text{GHz}$,采样点数 $N=4096$,脉冲积累数目 $M=25$,雷达使用两个独立的通道接收回波数据。跟踪对象为一个由19个角反射器构成的飞机模型,如图4所示,目标的尺寸为 $0.25\text{m}\times 0.20\text{m}$ 。雷达位于坐标原点,目标仅在方位向上存在运动,初始坐标为 $(-1.5, 22.52)$,沿X轴匀速运动,速度为 $V_x=0.052\text{m/s}$ 。

[0097] 本实施例提供的基于多波束非线性鉴角的目标跟踪方法的具体操作为:

[0098] 操作100:使用多波束天线接收目标散射的回波信号,得到多通道回波信号;

[0099] 操作200:对所述的多通道回波信号分别进行距离压缩,形成高分辨距离像;

[0100] 操作300:将所述的多通道回波信号合成和信号,并基于和信号进行目标检测,得到散射点所在的距离单元编号以及对应的距离信息;具体包括:

[0101] 操作301:对所述的多通道回波信号进行数字信号处理,合成和信号;

[0102] 操作302:对所述合成的和信号进行距离压缩,得到和信号的高分辨距离像;

[0103] 操作303:计算所述的高分辨距离像上功率的中值,并将该中值乘以门限因子 η 作为阈值;在本实施例中, $\eta=3.98$;

[0104] 操作304:检测功率大于阈值的距离单元,记录存在散射点的距离单元序号 l ,以及对应的距离 $R(l)$;

[0105] 在本公开实施例中,如图5所示,为对高分辨距离像进行非相干积累后得到距离功率像。

[0106] 操作400:根据所述的距离单元编号提取目标在各个接收天线上的幅度响应,并合成归一化的幅度响应差(如图6A和图6B所示);

[0107] 操作500:对所述的归一化幅度响应差使用非线性测角方法处理,得到各散射点的角度信息;在本实施例中,灵敏度系数 $\alpha=0.0105$,非线性指数 $q=4$,非线性系数 $\beta=15.8$ 。本公开实施例中,如图7所示,为非线性鉴角方法曲线和传统的线性鉴角方法曲线对比情况。

[0108] 操作600:根据所述的各散射点的距离信息与角度信息计算目标几何中心的位置;具体包括:

[0109] 操作601:根据所述的散射点的距离信息与角度信息计算每个散射点在雷达坐标

系中的直角坐标；

[0110] 操作602:根据所述的散射点的直角坐标,合成目标的几何中心的直角坐标;如图8中星号标识即为所合成的目标的几何中心。

[0111] 操作603:根据所述的目标几何中心的直角坐标,计算目标的角度;

[0112] 操作700:根据所述的目标几何中心的位置,调整天线指向,对目标进行跟踪。如图9所示,采用本公开实施例的目标跟踪方法得到的目标跟踪角度与目标真实角度几乎无差异。

[0113] 至此,已经结合附图对本公开实施例进行了详细描述。需要说明的是,在附图或说明书正文中,未绘示或描述的实现方式,均为所属技术领域中普通技术人员所知的形式,并未进行详细说明。此外,上述对各元件和方法的定义并不仅限于实施例中提到的各种具体结构、形状或方式,本领域普通技术人员可对其进行简单地更改或替换。

[0114] 依据以上描述,本领域技术人员应当对本公开基于多波束非线性鉴角的目标跟踪方法有了清楚的认识。

[0115] 综上所述,本公开提供了一种基于多波束非线性鉴角的目标跟踪方法,采用多波束天线进行测角,各个天线通道独立接收,采用数字技术进行信号处理,免除了使用和差电路引起的噪声与误差;使用非线性鉴角方法,消除由于多波束天线之间的不平衡性以及干涉效应引起的异常测量值对测角精度与跟踪性能的影响。

[0116] 还需要说明的是,实施例中提到的方向用语,例如“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”等,仅是参考附图的方向,并非用来限制本公开的保护范围。贯穿附图,相同的元素由相同或相近的附图标记来表示。在可能导致对本公开的理解造成混淆时,将省略常规结构或构造。

[0117] 并且图中各部件的形状和尺寸不反映真实大小和比例,而仅示意本公开实施例的内容。另外,在权利要求中,不应将位于括号之间的任何参考符号构造成对权利要求的限制。

[0118] 除非有所知名为相反之意,本说明书及所附权利要求中的数值参数是近似值,能够根据通过本公开的内容所得的所需特性改变。具体而言,所有使用于说明书及权利要求中表示组成的含量、反应条件等等的数字,应理解为在所有情况中是受到「约」的用语所修饰。一般情况下,其表达的含义是指包含由特定数量在一些实施例中 $\pm 10\%$ 的变化、在一些实施例中 $\pm 5\%$ 的变化、在一些实施例中 $\pm 1\%$ 的变化、在一些实施例中 $\pm 0.5\%$ 的变化。

[0119] 再者,单词“包含”不排除存在未列在权利要求中的元件或操作。位于元件之前的单词“一”或“一个”不排除存在多个这样的元件。

[0120] 说明书与权利要求中所使用的序数例如“第一”、“第二”、“第三”等的用词,以修饰相应的元件,其本身并不意味着该元件有任何的序数,也不代表某一元件与另一元件的顺序、或是制造方法上的顺序,该些序数的使用仅用来使具有某命名的一元件得以和另一具有相同命名的元件能做出清楚区分。

[0121] 此外,除非特别描述或必须依序发生的步骤,上述步骤的顺序并无限制于以上所列,且可根据所需设计而变化或重新安排。并且上述实施例可基于设计及可靠度的考虑,彼此混合搭配使用或与其他实施例混合搭配使用,即不同实施例中的技术特征可以自由组合形成更多的实施例。

[0122] 本领域那些技术人员可以理解,可以对实施例中的设备中的模块进行自适应性地改变并且把它们设置在与该实施例不同的一个或多个设备中。可以把实施例中的模块或单元或组件组合成一个模块或单元或组件,以及此外可以把它分成多个子模块或子单元或子组件。除了这样的特征和/或过程或者单元中的至少一些是相互排斥之外,可以采用任何组合对本说明书(包括伴随的权利要求、摘要和附图)中公开的所有特征以及如此公开的任何方法或者设备的所有过程或单元进行组合。除非另外明确陈述,本说明书(包括伴随的权利要求、摘要和附图)中公开的每个特征可以由提供相同、等同或相似目的的替代特征来代替。并且,在列举了若干装置的单元权利要求中,这些装置中的若干个可以是通过同一个硬件项来具体体现。

[0123] 类似地,应当理解,为了精简本公开并帮助理解各个公开方面中的一个或多个,在上面对本公开的示例性实施例的描述中,本公开的各个特征有时被一起分组到单个实施例、图、或者对其的描述中。然而,并不应将该公开的方法解释成反映如下意图:即所要求保护的本公开要求比在每个权利要求中所明确记载的特征更多的特征。更确切地说,如下面的权利要求书所反映的那样,公开方面在于少于前面公开的单个实施例的所有特征。因此,遵循具体实施方式的权利要求书由此明确地并入该具体实施方式,其中每个权利要求本身都作为本公开的单独实施例。

[0124] 以上所述的具体实施例,对本公开的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本公开的具体实施例而已,并不用于限制本公开,凡在本公开的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本公开的保护范围之内。

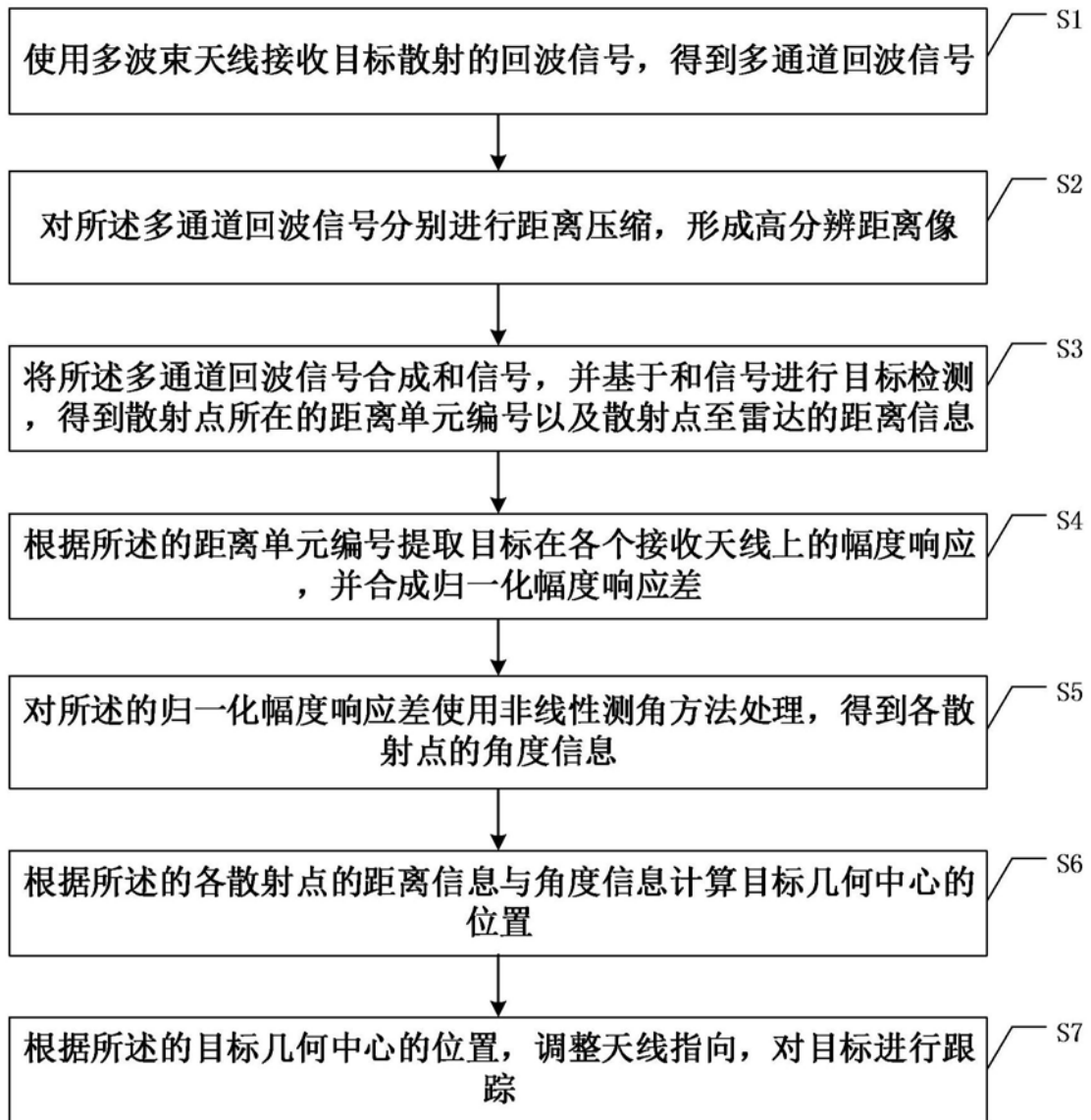


图1

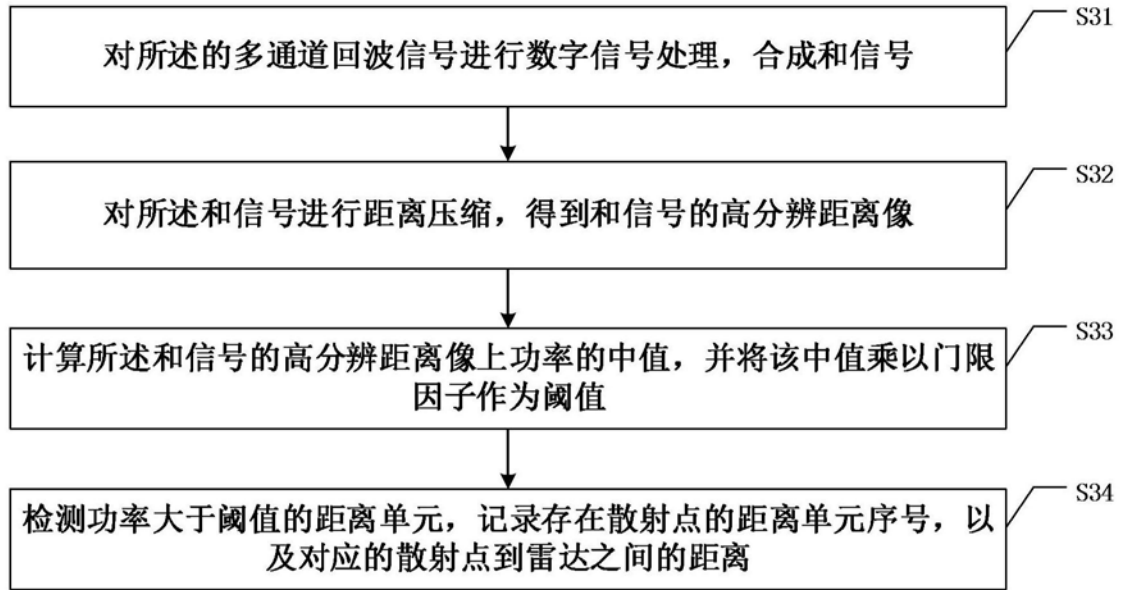


图2

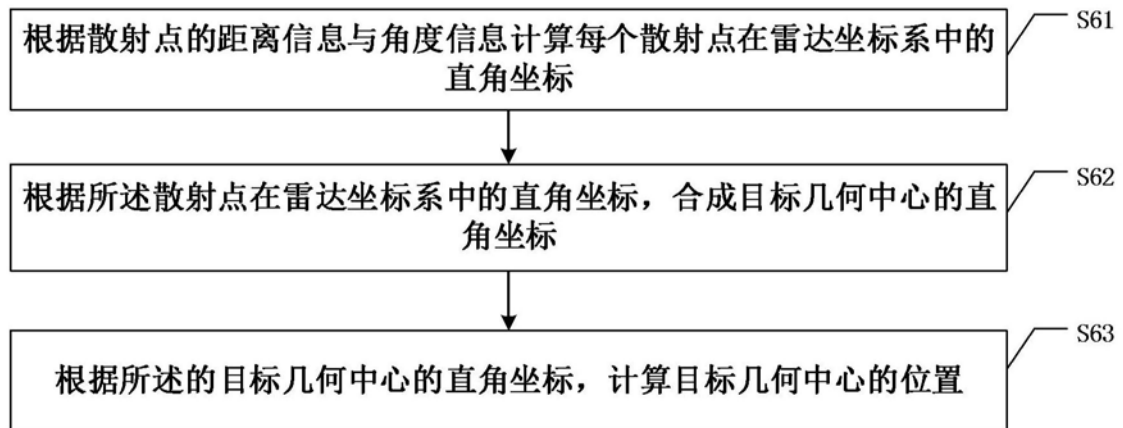


图3

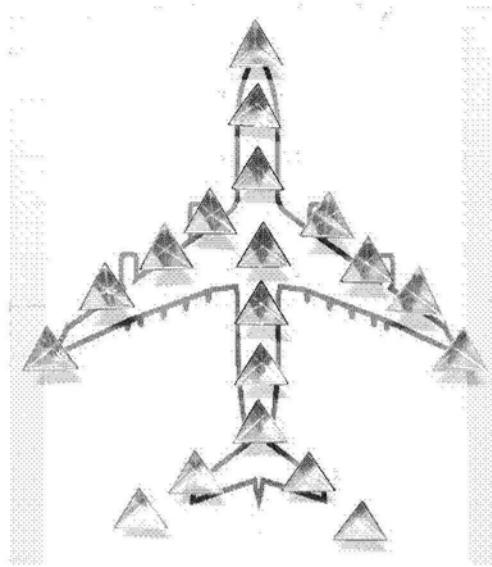


图4

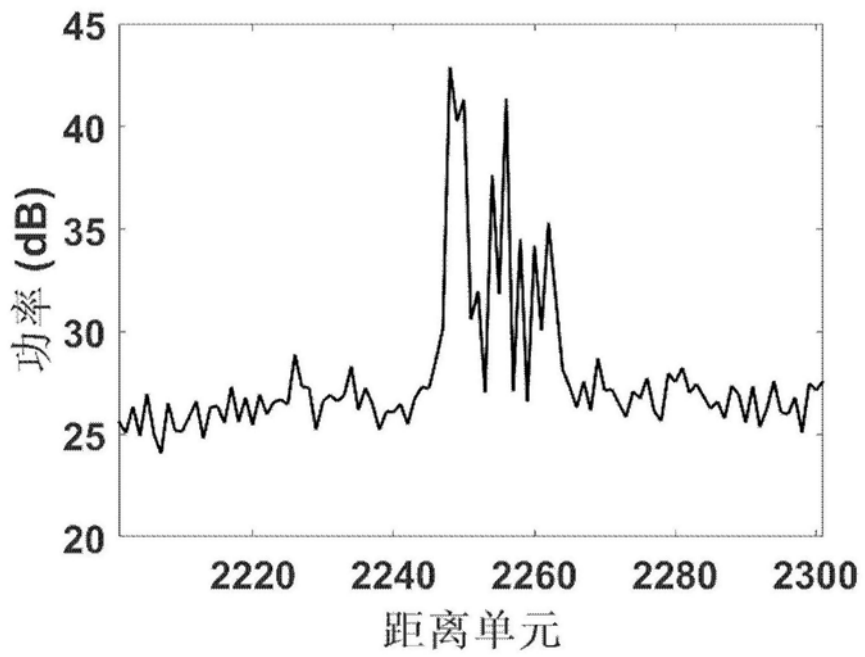


图5

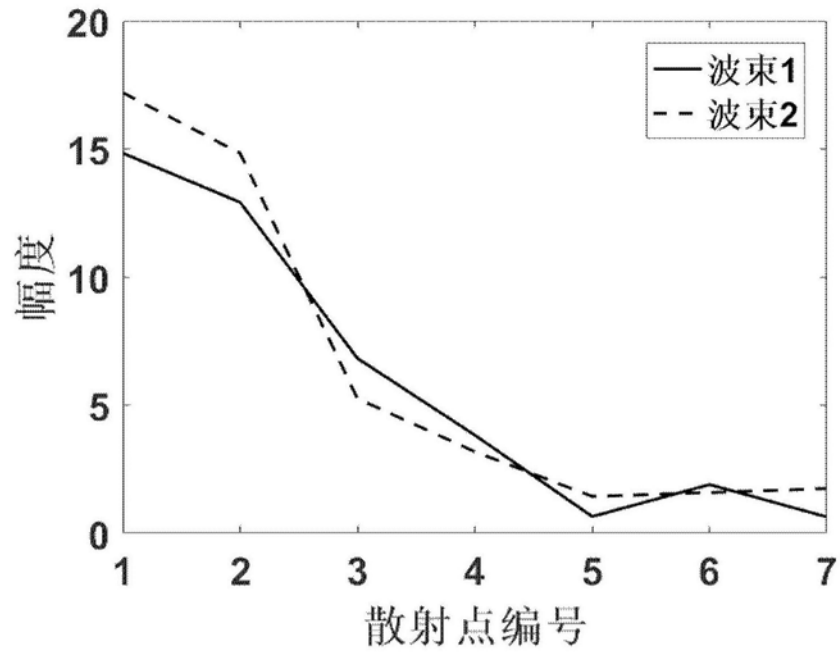


图6A

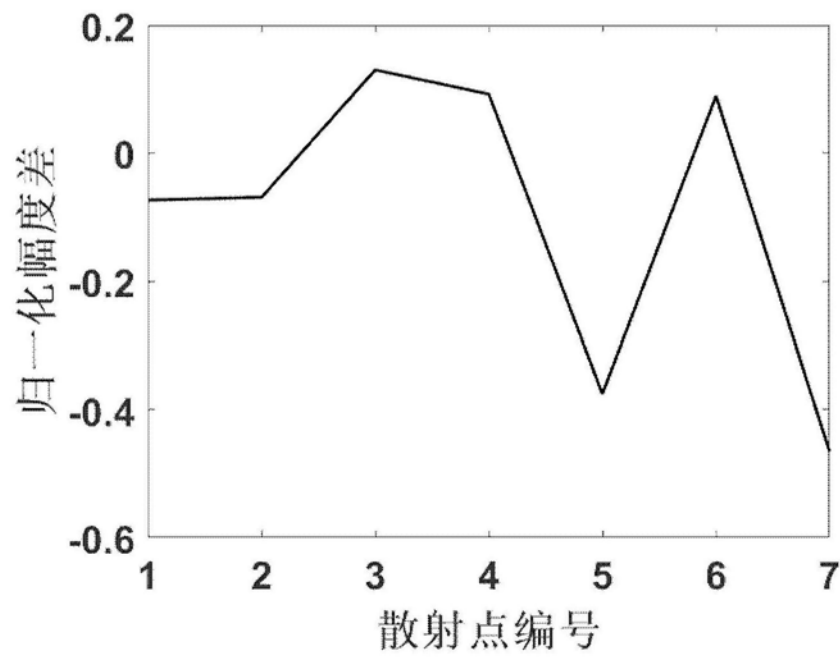


图6B

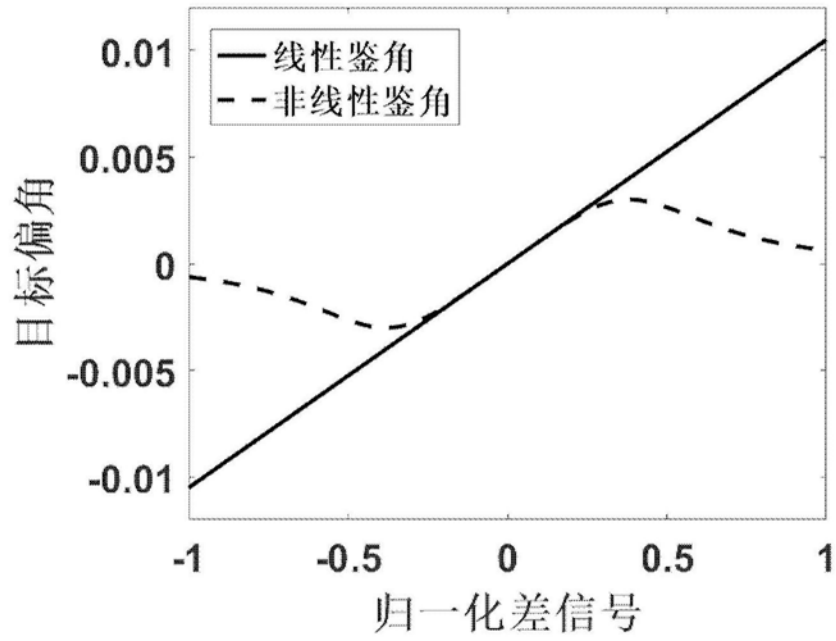


图7

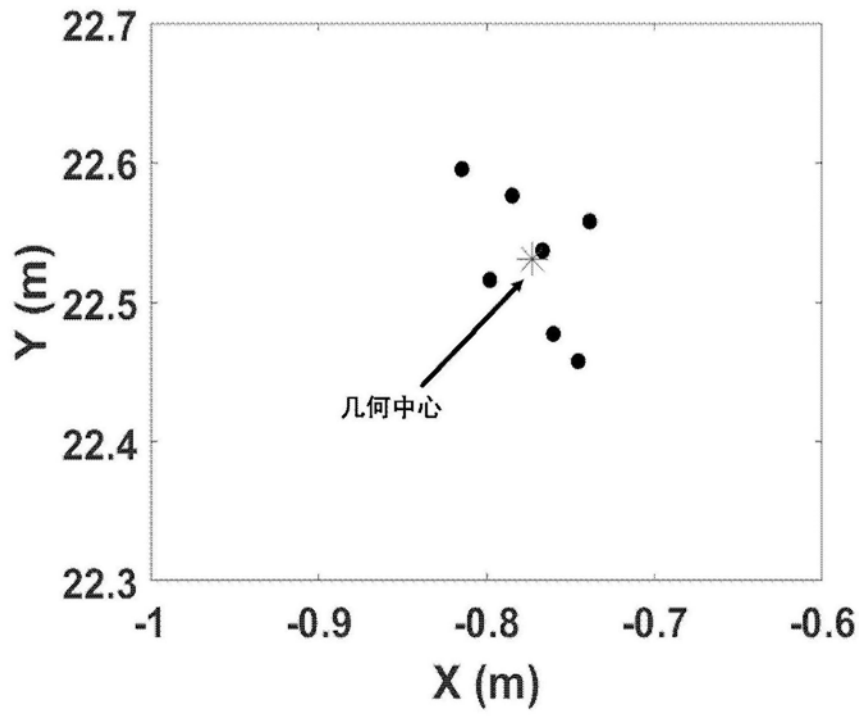


图8

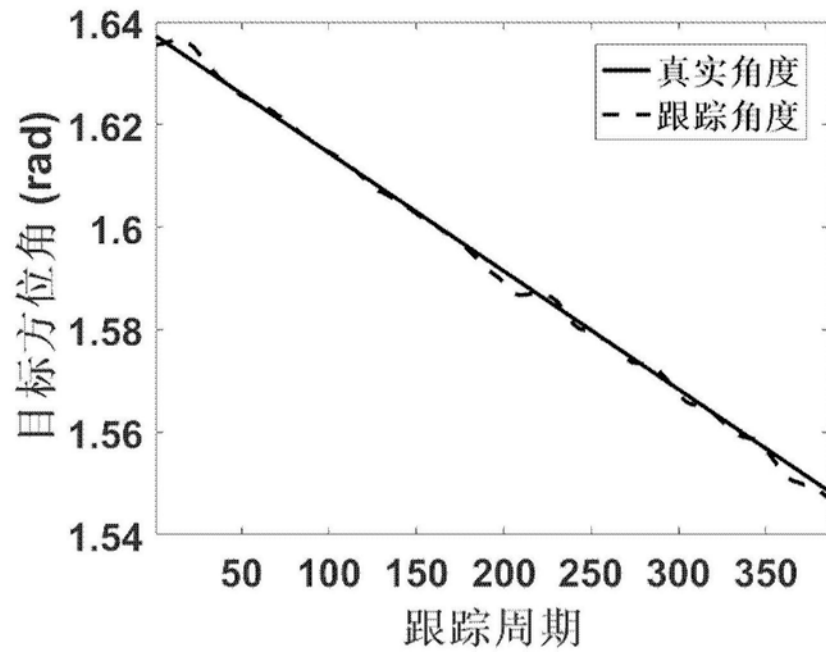


图9