



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108828568 A

(43)申请公布日 2018. 11. 16

(21)申请号 201810798510.6

(22)申请日 2018.07.19

(71)申请人 中国人民解放军战略支援部队信息工程大学

地址 450052 河南省郑州市高新区科学大道62号109信箱

(72)发明人 吴迪 李春奇 訾琳滢 胡涛
赵拥军 蒋腾

(74)专利代理机构 郑州睿信知识产权代理有限公司 41119

代理人 韩天宝

(51)Int. Cl.

G01S 11/02(2010.01)

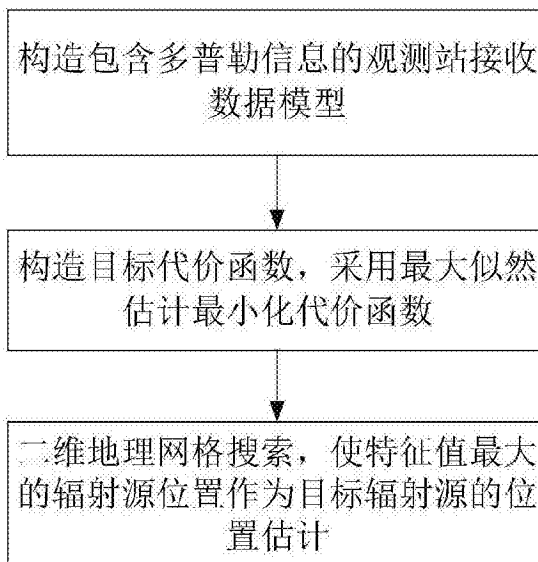
权利要求书3页 说明书7页 附图3页

(54)发明名称

一种运动单站的直接定位方法和系统

(57)摘要

本发明提供一种运动单站的直接定位方法和系统,定位方法包括如下步骤:建立包含多普勒效应的目标源数据接收模型,并对目标源进行数据采集;根据目标源的数据接收模型和对目标源采集到的数据,结合目标源位置的均方误差,构造运动单站定位的代价函数;根据代价函数选择出均方误差最小的坐标,该坐标所对应的位置即为目标源的位置。本发明所提供的技术方案,根据目标源位置的均方误差构造运动单站定位的代价函数,均方误差最小的位置即为目标源所在的位置。本发明所提供的技术方案不需预先估计目标源的参数,能够减少了参数估计过程中的目标信息的损失,提高对目标源定位的精度。



1. 一种运动单站的直接定位方法,其特征在于,包括如下步骤:

(1) 建立包含多普勒效应的目标源数据接收模型,并对目标源进行数据采集;

(2) 根据目标源的数据接收模型和对目标源采集到的数据,结合目标源位置的均方误差,构造运动单站定位的代价函数;

(3) 根据代价函数选择出均方误差最小的坐标,该坐标所对应的位置即为目标源的位置。

2. 根据权利要求1所述的一种运动单站的直接定位方法,其特征在于,所述代价函数为:

$$Q(p) = \sum_{k=0}^{K-1} \|r_k - b_k F_k s_k\|^2$$

其中

$$r_k = [r_k(0), r_k(1), \dots, r_k(N_s-1)]^T$$

$$n_k = [n_k(0), n_k(1), \dots, n_k(N_s-1)]^T$$

$$F_k = \text{diag} [1, e^{j2\pi f_k T_s}, \dots, e^{j2\pi f_k (N_s-1)T_s}]^T$$

$$s_k = [s_k(0), s_k(1), \dots, s_k(N_s-1)]^T$$

K为观测间隙的总数量, f_k 为第k个观测间隙内结合多普勒效应的载频, b_k 表示在第k个观测间隙内目标源所发射信号到达观测站的信道传播衰减参数, N_s 为 F_k 的维度, T_s 各观测间隙内的采样时间间隔, $r_k(t)$ 表示目标源第k个观测间隙的数据接收模型, $s_k(t)$ 为目标源在第k个观测间隙的发射信号, $n_k(t)$ 表示第k个观测间隙内均值为0、方差为 σ^2 的高斯白噪声;所述步骤(3)中当代价函数最小时,所对应的坐标为目标源的位置坐标。

3. 根据权利要求2所述的一种运动单站的直接定位方法,其特征在于,对所述代价函数进行转换,得到函数:

$$\tilde{Q}(p) = \sum_{k=0}^{K-1} s_k^H V_k s_k$$

$$\text{其中 } V_k \triangleq v_k v_k^H, \quad v_k \triangleq (F_k)^H r_k$$

当函数 $\tilde{Q}(p)$ 取最大值时,在对应的坐标即为目标源的位置坐标。

4. 根据权利要求1所述的一种运动单站的直接定位方法,其特征在于,所述步骤(1)中得到的目标源数据模型为:

$$r_k(t) = b_k s_k(t) e^{j2\pi f_k t} + n_k(t)$$

其中 b_k 表示第k个观测间隙内目标源所发射信号在到达观测站的信道传播衰减参数, $n_k(t)$ 表示均值为0、方差为 σ^2 的高斯白噪声, f_k 为第k个观测间隙内结合多普勒效应的载频, $s_k(t)$ 为目标源在第k个观测间隙的发射信号。

5. 根据权利要求4所述的一种运动单站的直接定位方法,其特征在于,所述第k个观测间隙内结合多普勒效应的载频 f_k 为:

$$f_k = f_c \mu_k(p)$$

所述 f_c 为目标源发射信号 $s(t)$ 的载频, $\mu_k(p)$ 表示目标源与运动观测站由于相对运动而产生的多普勒效应,表示为:

$$\mu_k(\mathbf{p}) = \frac{1}{c} \frac{\mathbf{v}_k^T (\mathbf{p}_0 - \mathbf{p}_k)}{\|\mathbf{p}_0 - \mathbf{p}_k\|}$$

其中 c 表示电磁波的传播速度, T 为一个观测间隙的观测时间, \mathbf{p}_0 为假设目标源为静止目标源时的位置向量, \mathbf{p}_k 和 \mathbf{v}_k 分别表示在第 k 个观测间隙内目标源的位置与速度。

6. 根据权利要求1所述的一种运动单站的直接定位方法,其特征在于,所述步骤(3)中,首先进行地理网格划分,然后根据代价函数选择出均方误差最小的地理网格,该地理网格所对应的位置即为目标源所在的位置。

7. 一种运动单站的直接定位系统,包括处理器和存储器,存储器上存储有用于在处理器上执行的计算机程序;其特征在于,当处理器执行所述计算机程序时,执行如下步骤:

(1) 建立包含多普勒效应的目标源数据接收模型,并对目标源进行数据采集;

(2) 根据目标源的数据接收模型和对目标源采集到的数据,结合目标源位置的均方误差,构造运动单站定位的代价函数;

(3) 根据代价函数选择出均方误差最小的坐标,该坐标所对应的位置即为目标源的位置。

8. 根据权利要求7所述的一种运动单站的直接定位系统,其特征在于,所述代价函数为:

$$Q(\mathbf{p}) = \sum_{k=0}^{K-1} \|\mathbf{r}_k - b_k \mathbf{F}_k \mathbf{s}_k\|^2$$

其中

$$\mathbf{r}_k = [r_k(0), r_k(1), \dots, r_k(N_s-1)]^T$$

$$\mathbf{n}_k = [n_k(0), n_k(1), \dots, n_k(N_s-1)]^T$$

$$\mathbf{F}_k = \text{diag} [1, e^{j2\pi f_k T_s}, \dots, e^{j2\pi f_k (N_s-1)T_s}]^T$$

$$\mathbf{s}_k = [s_k(0), s_k(1), \dots, s_k(N_s-1)]^T$$

K 为观测间隙的总数量, f_k 为第 k 个观测间隙内结合多普勒效应的载频, b_k 表示在第 k 个观测间隙内目标源所发射信号到达观测站的信道传播衰减参数, N_s 为 \mathbf{F}_k 的维度, T_s 各观测间隙内的采样时间间隔, $r_k(t)$ 表示目标源第 k 个观测间隙的数据接收模型, $s_k(t)$ 为目标源在第 k 个观测间隙的发射信号, $n_k(t)$ 表示第 k 个观测间隙内均值为0、方差为 σ^2 的高斯白噪声;所述步骤(3)中当代价函数最小时,所对应的坐标为目标源的位置坐标。

9. 根据权利要求8所述的一种运动单站的直接定位系统,其特征在于,对所述代价函数进行转换,得到函数:

$$\tilde{Q}(\mathbf{p}) = \sum_{k=0}^{K-1} \mathbf{s}_k^H \mathbf{V}_k \mathbf{s}_k$$

$$\text{其中 } \mathbf{V}_k \triangleq \mathbf{v}_k \mathbf{v}_k^H, \quad \mathbf{v}_k \triangleq (\mathbf{F}_k)^H \mathbf{r}_k;$$

当函数 $\tilde{Q}(\mathbf{p})$ 取最大值时,在对应的坐标即为目标源的位置坐标。

10. 根据权利要求7所述的一种运动单站的直接定位系统,其特征在于,所述步骤(1)中得到的目标源数据模型为:

$$\mathbf{r}_k(t) = b_k s_k(t) e^{j2\pi f_k t} + \mathbf{n}_k(t)$$

其中 b_k 表示第 k 个观测间隙内目标源所发射信号在到达观测站的信道传播衰减参数, n_k

(t) 表示均值为0、方差为 σ^2 的高斯白噪声, f_k 为结合多普勒效应的载频, $s_k(t)$ 为目标源在第k个观测间隙的发射信号。

一种运动单站的直接定位方法和系统

技术领域

[0001] 本发明属于无源定位技术领域,具体涉及一种运动单站的直接定位方法和系统。

背景技术

[0002] 运动单站定位方法,是通过一个单独的运动观测站对目标源所发射的信息进行截获、测量,并根据得到的信息计算出目标源的位置信息。运动单站定位系统与多站无源定位系统相比,不仅不需要大量的通信数据传输,而且具有结构简单、设备灵活等优点,在航海和航空、卫星定位预警、引导反辐射武器、电子侦察等许多民用、军用领域都有着广阔的发展前景。

[0003] 目前,无源定位系统一般采用的是两步定位法,即首先对目标源参数进行估计,如估计目标源的到达角度、到达时间、到达时间差、多普勒频差、接收信号强度等,然后再通过对获取的参数进行位置解算,最后估算得到目标源的位置信息。

[0004] 但是在采用这种两步定位法对目标源进行定位时需要采集多种数据,并通过定位方程计算目标的位置,这就使得参数估计与位置解算相分离,计算结果与目标源的实际位置之间存在较大的误差,造成定位结果不准确的问题。

发明内容

[0005] 本发明提供一种运动单站的直接定位方法和系统,用于解决现有技术中在对目标源定位时,由于参数估计与位置计算相分离而造成的定位不准确的问题。

[0006] 为实现上述目的,本发明提供的技术方案是:

[0007] 一种运动单站的直接定位方法,包括如下步骤:

[0008] (1) 建立包含多普勒效应的目标源数据接收模型,并对目标源进行数据采集;

[0009] (2) 根据目标源的数据接收模型和对目标源采集到的数据,结合目标源位置的均方误差,构造运动单站定位的代价函数;

[0010] (3) 根据代价函数选择出均方误差最小的坐标,该坐标所对应的位置即为目标源的位置。

[0011] 本发明所提供的技术方案,根据目标源位置的均方误差构造运动单站定位的代价函数,均方误差最小的位置即为目标源所在的位置。本发明所提供的技术方案不需预先估计目标源参数,能够减少了参数估计过程中的目标信息的损失,提高对目标源定位的精度。

[0012] 作为对代价函数的进一步改进,所述代价函数为:

$$[0013] \quad Q(\mathbf{p}) = \sum_{k=0}^{K-1} \|\mathbf{r}_k - b_k \mathbf{F}_k \mathbf{s}_k\|^2$$

[0014] 其中

$$[0015] \quad \mathbf{r}_k = [r_k(0), r_k(1), \dots, r_k(N_s-1)]^T$$

$$[0016] \quad \mathbf{n}_k = [n_k(0), n_k(1), \dots, n_k(N_s-1)]^T$$

[0017]
$$F_k = \text{diag} [1, e^{j2\pi f_k T_s}, \dots, e^{j2\pi f_k (N_s - 1) T_s}]^T$$

[0018]
$$s_k = [s_k(0), s_k(1), \dots, s_k(N_s - 1)]^T$$

[0019] K 为观测间隙的总数量, f_k 为第 k 个观测间隙内结合多普勒效应的载频, b_k 表示在第 k 个观测间隙内目标源所发射信号到达观测站的信道传播衰减参数, N_s 为 F_k 的维度, T_s 各观测间隙内的采样时间间隔, $r_k(t)$ 表示目标源第 k 个观测间隙的数据接收模型, $s_k(t)$ 为目标源在第 k 个观测间隙的发射信号, $n_k(t)$ 表示第 k 个观测间隙内均值为0、方差为 σ^2 的高斯白噪声;所述步骤(3)中当代价函数最小时,所对应的坐标为目标源的位置坐标。

[0020] 作为对代价函数的进一步改进,对所述代价函数进行转换,得到函数:

[0021]
$$\tilde{Q}(p) = \sum_{k=0}^{K-1} s_k^H V_k s_k$$

[0022] 其中 $V_k \triangleq v_k v_k^H$, $v_k \triangleq (F_k)^H r_k$;

[0023] 当函数 $\tilde{Q}(p)$ 取最大值时,在对应的坐标即为目标源的位置坐标。

[0024] 作为对目标源数据模型的进一步改进,所述步骤(1)中的得到的目标源数据模型为:

[0025]
$$r_k(t) = b_k s_k(t) e^{j2\pi f_k t} + n_k(t)$$

[0026] 其中 b_k 表示第 k 个观测间隙内目标源所发射信号在到达观测站的信道传播衰减参数, $n_k(t)$ 表示均值为0、方差为 σ^2 的高斯白噪声, f_k 为第 k 个观测间隙内结合多普勒效应的载频, $s_k(t)$ 为目标源在第 k 个观测间隙的发射信号。

[0027] 作为对目标源发射信号载频的进一步改进,所述第 k 个观测间隙内结合多普勒效应的载频 f_k 为:

[0028]
$$f_k = f_c \mu_k(p)$$

[0029] 所述 f_c 为目标源发射信号 $s(t)$ 的载频, $\mu_k(p)$ 表示目标源与运动观测站由于相对运动而产生的多普勒效应,表示为:

[0030]
$$\mu_k(p) = \frac{1}{c} \cdot \frac{v_k^T (p_0 - p_k)}{\|p_0 - p_k\|}$$

[0031] 其中 c 表示电磁波的传播速度, T 为一个观测间隙的观测时间, p_0 为假设目标源为静止目标源时的位置向量, p_k 和 v_k 分别表示在第 k 个观测间隙内目标源的位置与速度。

[0032] 作为对步骤(3)中确定目标源所在位置方式的进一步改进,所述步骤(3)中,首先进行地理网格划分,然后根据代价函数选择出均方误差最小的地理网格,该地理网格所对应的位置即为目标源所在的位置。

[0033] 一种运动单站的直接定位系统,包括处理器和存储器,存储器上存储有用于在处理器上执行的计算机程序;当处理器执行所述计算机程序时,执行如下步骤:

[0034] (1) 建立包含多普勒效应的目标源数据接收模型,并对目标源进行数据采集;

[0035] (2) 根据目标源的数据接收模型和对目标源采集到的数据,结合目标源位置的均方误差,构造运动单站定位的代价函数;

[0036] (3) 根据代价函数选择出均方误差最小的坐标,该坐标所对应的位置即为目标源的位置。

[0037] 本发明所提供的技术方案,根据目标源位置的均方误差构造运动单站定位的代价

函数,均方误差最小的位置即为目标源所在的位置。本发明所提供的技术方案不需预先估计目标源的参数,能够减少了参数估计过程中的目标信息的损失,提高对目标源定位的精度。

[0038] 作为对代价函数的进一步改进,所述代价函数为:

$$[0039] \quad Q(p) = \sum_{k=0}^{K-1} \|r_k - b_k F_k s_k\|^2$$

[0040] 其中

$$[0041] \quad r_k = [r_k(0), r_k(1), \dots, r_k(N_s-1)]^T$$

$$[0042] \quad n_k = [n_k(0), n_k(1), \dots, n_k(N_s-1)]^T$$

$$[0043] \quad F_k = \text{diag}[1, e^{j2\pi f_k T_s}, \dots, e^{j2\pi f_k (N_s-1) T_s}]^T$$

$$[0044] \quad s_k = [s_k(0), s_k(1), \dots, s_k(N_s-1)]^T$$

[0045] K为观测间隙的总数量, f_k 为第k个观测间隙内结合多普勒效应的载频, b_k 表示在第k个观测间隙内目标源所发射信号到达观测站的信道传播衰减参数, N_s 为 F_k 的维度, T_s 各观测间隙内的采样时间间隔, $r_k(t)$ 表示目标源第k个观测间隙的数据接收模型, $s_k(t)$ 为目标源在第k个观测间隙的发射信号, $n_k(t)$ 表示第k个观测间隙内均值为0、方差为 σ^2 的高斯白噪声;所述步骤(3)中当代价函数最小时,所对应的坐标为目标源的位置坐标。

[0046] 作为对代价函数的进一步改进,对所述代价函数进行转换,得到函数:

$$[0047] \quad \tilde{Q}(p) = \sum_{k=0}^{K-1} s_k^H V_k s_k$$

$$[0048] \quad \text{其中 } V_k \triangleq v_k v_k^H, \quad v_k \triangleq (F_k)^H r_k;$$

[0049] 当函数 $\tilde{Q}(p)$ 取最大值时,在对应的坐标即为目标源的位置坐标。

[0050] 作为对目标源数据模型的进一步改进,所述步骤(1)中的得到的目标源数据模型为:

$$[0051] \quad r_k(t) = b_k s_k(t) e^{j2\pi f_k t} + n_k(t)$$

[0052] 其中 b_k 表示第k个观测间隙内目标源所发射信号在到达观测站的信道传播衰减参数, $n_k(t)$ 表示均值为0、方差为 σ^2 的高斯白噪声, f_k 为第k个观测间隙内结合多普勒效应的载频, $s_k(t)$ 为目标源在第k个观测间隙的发射信号。

[0053] 作为对目标源发射信号载频的进一步改进,所述第k个观测间隙内结合多普勒效应的载频 f_k 为:

$$[0054] \quad f_k = f_c \mu_k(p)$$

[0055] 所述 f_c 为目标源发射信号 $s(t)$ 的载频, $\mu_k(p)$ 表示目标源与运动观测站由于相对运动而产生的多普勒效应,表示为

$$[0056] \quad \mu_k(p) = \frac{1}{c} \frac{v_k^T (p_0 - p_k)}{\|p_0 - p_k\|}$$

[0057] 其中 c 表示电磁波的传播速度, T 为一个观测间隙的观测时间, p_0 为假设目标源为静止目标源时的位置向量, p_k 和 v_k (分 $k=1, \dots, K$)在第k个观测间隙内目标源的位置与速度。

[0058] 作为对步骤(3)中确定目标源所在位置方式的进一步改进,所述步骤(3)中,首先进行地理网格划分,然后根据代价函数选择出均方误差最小的地理网格,该地理网格所对应的位置即为目标源所在的位置。

附图说明

- [0059] 图1是方法实施例中运动单站的直接定位方法的流程示意图;
 [0060] 图2是方法实施例中运动单站定位示意图;
 [0061] 图3是方法实施例中目标源与观测站间的地理位置关系示意图;
 [0062] 图4是方法实施例中不同信噪比下与其他方法的定位误差曲线比较;
 [0063] 图5是方法实施例中不同样本点数下与其他方法的定位误差曲线比较;
 [0064] 图6是方法实施例中不同载波频率变化下与其他方法的定位误差曲线比较。

具体实施方式

[0065] 本发明提供一种运动单站的直接定位方法和系统,用于解决现有技术中在对目标源定位时,由于参数估计与位置计算相分离而造成的定位不准确的问题。

[0066] 为实现上述目的,本发明提供的技术方案是:

[0067] 一种运动单站的直接定位方法,包括如下步骤:

- [0068] (1) 建立包含多普勒效应的目标源数据接收模型,并对目标源进行数据采集;
 [0069] (2) 根据目标源的数据接收模型和对目标源采集到的数据,结合目标源位置的均方误差,构造运动单站定位的代价函数;
 [0070] (3) 根据代价函数选择出均方误差最小的坐标,该坐标所对应的位置即为目标源的位置。

[0071] 下面结合附图对本发明的技术方案作进一步说明。

[0072] 本实施例提供一种运动单站的直接定位方法,其具体流程如图1所示,包括如下步骤:

[0073] (1) 建立目标源的数据接收模型,并对目标源进行数据采集;

[0074] 在建立目标源的数据模型时,需要考虑多普勒效应的影响;假设待定位的目标辐射源为静止的目标辐射源,其位置向量为 p_0 ,发射信号为 $s(t)$,发射信号的带宽为 W ,载频为 f_c ;运动观测站在 K 个观测间隙内对辐射源的数据进行采样,每个观测间隙的观测时间为 T ,用 p_k 和 v_k (分 $k=1, \dots, K$)运动观测站在第 k 个观测间隙内的位置与速度,则运动观测站在 t 时刻接收到的目标源的数据模型为:

$$[0075] \quad r_k(t) = b_k s_k(t - \tau_k) e^{j2\pi f t} + n_k(t)$$

[0076] 式中: b_k 表示目标源所发射信号在第 k 个观测间隙到达观测站的信道传播衰减参数; $n_k(t)$ 表示均值为0、方差为 σ^2 的高斯白噪声; τ_k 表示目标源所发射信号在第 k 个观测间隙到达观测站的传播时延; f 表示运动观测站在第 k 个观测间隙接收到的信号频率,可以表示为:

$$[0077] \quad f = f_c \cdot (1 + \mu_k(p))$$

[0078] 式中, $\mu_k(p)$ 表示目标源与运动观测站由于相对运动而产生的多普勒效应,表示为

$$[0079] \quad \mu_k(\mathbf{p}) = \frac{1}{c} \frac{\mathbf{v}_k^T(\mathbf{p}_0 - \mathbf{p}_k)}{\|\mathbf{p}_0 - \mathbf{p}_k\|}$$

[0080] 式中c表示电磁波的传播速度;由于载频 f_c 为已知量,因此通过数字下变频处理后,可得到目标源信号的频率为:

$$[0081] \quad \tilde{f} = f_k = f_c \mu_k(\mathbf{p})$$

[0082] 式中: f_k 为运动观测站与目标源由于相对位移引起的多普勒频移,因此考虑到观测站运动产生的多普勒效应,接收数据模型可表示为:

$$[0083] \quad \mathbf{r}_k(t) = b_k s_k(t) e^{j2\pi f_k t} + \mathbf{n}_k(t)$$

[0084] 假设运动观测站在第k个观测间隙内采样时间间隔为 T_s ,采样快拍次数为 N_s ,则上式可用向量形式表示为:

$$[0085] \quad \mathbf{r}_k = b_k \mathbf{F}_k \mathbf{s}_k + \mathbf{n}_k$$

[0086] 其中

$$[0087] \quad \begin{cases} \mathbf{r}_k = [r_k(0), r_k(1), \dots, r_k(N_s - 1)]^T \\ \mathbf{n}_k = [n_k(0), n_k(1), \dots, n_k(N_s - 1)]^T \\ \mathbf{F}_k = \text{diag} [1, e^{j2\pi f_k T_s}, \dots, e^{j2\pi f_k (N_s - 1) T_s}]^T; \\ \mathbf{s}_k = [s_k(0), s_k(1), \dots, s_k(N_s - 1)]^T \end{cases}$$

[0088] (2) 根据接收数据模型构造目标代价函数,并采用最大似然估计,将从接收数据模型中获取目标源位置信息的问题转化为求解包含目标源位置信息的共轭矩阵的最大特征值问题;

[0089] 在运动单站直接定位的接收数据模型下,对目标源的定位可以视为利用接收数据 \mathbf{r}_k 求解目标源位置坐标 \mathbf{p} ,如此便将对目标源定位的问题转化为对构造代价函数求解的问题;目标源位置的均方误差最小时,对目标源的定位最准确,因此根据接收数据模型,构造关于目标源位置均方误差的代价函数,可得:

$$[0090] \quad Q(\mathbf{p}) = \sum_{k=0}^{K-1} \|\mathbf{r}_k - b_k \mathbf{F}_k \mathbf{s}_k\|^2$$

[0091] 上式中:

$$[0092] \quad \begin{aligned} b_k &= [(\mathbf{F}_k \mathbf{s}_k)^H (\mathbf{F}_k \mathbf{s}_k)]^{-1} \times (\mathbf{F}_k \mathbf{s}_k)^H \mathbf{r}_k \\ &= (\mathbf{F}_k \mathbf{s}_k)^H \mathbf{r}_k \end{aligned}$$

[0093] 对任意的k,假设:

$$[0094] \quad \|s\|^2 = 1$$

[0095] 则上述函数可以表示为:

$$[0096] \quad Q(\mathbf{p}) = \sum_{k=0}^{K-1} \|\mathbf{r}_k\|^2 - |(\mathbf{F}_k \mathbf{s}_k)^H \mathbf{r}_k|^2$$

[0097] 设:

$$[0098] \quad \begin{aligned} \tilde{Q}(\mathbf{p}) &= \sum_{k=0}^{K-1} \left| (\mathbf{F}_k \mathbf{s}_k)^H \mathbf{r}_k \right|^2 \\ &= \sum_{k=0}^{K-1} \mathbf{s}_k^H \mathbf{V}_k \mathbf{s}_k \end{aligned}$$

[0099] 式中:

$$[0100] \quad \mathbf{V}_k \triangleq \mathbf{v}_k \mathbf{v}_k^H, \quad \mathbf{v}_k \triangleq (\mathbf{F}_k)^H \mathbf{r}_k$$

[0101] 由于中 $\|\mathbf{r}_k\|^2$ 与参量无关, 则求 $Q(\mathbf{p})$ 的最小值, 即为求 $\tilde{Q}(\mathbf{p})$ 的最大值;

[0102] 当传输信号是未知时, 可通过选择与 \mathbf{s}_k 对应的 \mathbf{V}_k 的最大特征值将函数 $\tilde{Q}(\mathbf{p})$ 最大化, 此时:

$$[0103] \quad Q_{\text{unknown}}(\mathbf{p}) = \sum_{k=0}^{K-1} \lambda_{\max}(\mathbf{V}_k)$$

[0104] 式中, \mathbf{V}_k 的维度是 $N_s \times N_s$, 当对目标源的采样率增大时, 对特征值进行分解、求取特征值所需的计算量也将快速增大; 对于一个矩阵 \mathbf{A} , 其表达式 $\mathbf{A}\mathbf{A}^H$ 与 $\mathbf{A}^H\mathbf{A}$ 的非零特征值是等价的, 因此设:

$$[0105] \quad \bar{\mathbf{V}}_k \triangleq \mathbf{v}_k \mathbf{v}_k^H$$

[0106] 通过维度变换, $N_s \times N_s$ 的矩阵 \mathbf{V}_k 可以用 $L \times L$ 维矩阵 $\bar{\mathbf{V}}_k$ 代替, 其中 L 为观测站数目; 由于本实施例中是采用运动单站进行检测, 因此本实施例中 $L=1$; 当 $L \ll N_s$ 时, 采用上式会大幅降低计算量;

[0107] 当传输信号是已知时, 可以得到:

$$[0108] \quad Q_{\text{known}}(\mathbf{p}) = \sum_{k=0}^{K-1} \left| \mathbf{r}_k^H \mathbf{F}_k \mathbf{s}_k \right|^2$$

[0109] 其中:

$$[0110] \quad \mathbf{S}_k = \text{diag}\{\mathbf{s}_k\}$$

[0111] 进一步简化可得:

$$[0112] \quad Q_{\text{known}}(\mathbf{p}) = \sum_{k=0}^{K-1} \left| \mathbf{v}_k^H \mathbf{S}_k \right|^2$$

[0113] (3) 通过二维地理网格搜索得到特征值最大的辐射源位置作为目标辐射源的位置估计。

[0114] 当传输信号已知时, 通过二维格网型进行空间索引, 求出 $Q_{\text{known}}(\mathbf{p})$ 的最大值, 其对应的坐标值即为辐射源的位置坐标; 当传输信号未知时, 通过二维格网型进行空间索引, 求出 Q_{unknown} 的最大值, 其对应的坐标值即为辐射源的位置坐标, 如图2和图3所示, 即有:

[0115] 当传输信号未知时, 得到的结果为 $\hat{\mathbf{p}}_0 = \arg \max \{Q_{\text{unknown}}(\mathbf{p})\}$;

[0116] 当传输信号已知时, 得到的结果为 $\hat{\mathbf{p}}_0 = \arg \max \{Q_{\text{known}}(\mathbf{p})\}$ 。

[0117] 具体过程为: 依据已知条件划分网格, 按照场景的广域范围 $x \in [x_{\min}, x_{\max}]$, $y \in [y_{\min}, y_{\max}]$ 分成均匀 M 等份, 共计 M^2 个网格点; 在每一个网格点 (x_m, y_n) 处, 计算在每一个点所需的多普勒频差参数, 其中 $m, n \leq M$; 根据定位模型构造网格点的代价函数, 并将第二步计算

得出的参数代入代价函数,计算该网格点的最大特征值;通过 x, y 两个维度的搜索,求得代价函数的最大特征值,其所对应的坐标值 (x, y) 即为目标的位置坐标。

[0118] 下面对本实施例所提供的运动单站的直接定位方法进行验证;

[0119] 定义均方根误差为:

$$[0120] \quad \text{RMSE} = \sqrt{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \|\hat{p}_0(i) - p\|^2\right)}$$

[0121] 仿真参数设置:假设存在一个静态发射源,发射载频 $f_c=0.5\text{GHz}$,带宽为 300kHz 的高斯信号,其传播速度 c 为光速。运动观测站与目标位置分布如图3所示,辐射源位置为 $(2500\text{m}, 2500\text{m})$,观测站沿 $y=500\text{m}$ 向 x 轴正方向移动,其速度为 300m/s ,观测间隔为 3.33s ,且观测次数设定为10次。将本实施例所提供的运动单站的直接定位方法与迭代频差两步定位方法(DD)进行仿真对比。图4是本实施例所提供的技术方案与其他方法在不同信噪比下的定位误差曲线比较;图5是实施例所提供的技术方案与其他方法在不同样本点数下的定位误差曲线比较;图6是实施例所提供的技术方案与其他方法在不同载波频率变化下定位误差曲线比较;由图4、图5和图6可知,本实施例所提供的技术方案,其定位性能要明显优于两步定位方法,能够较好地逼近CRLB;随着信噪比、样本数据量与载波频率的提高,不同方法的RMSE均有所降低,并且与CRLB的下降趋势一致。相比于两步定位方法,在低信噪比、低样本数据量与相对低频条件下,本实施例所提供的技术方案具有更高的定位精度。

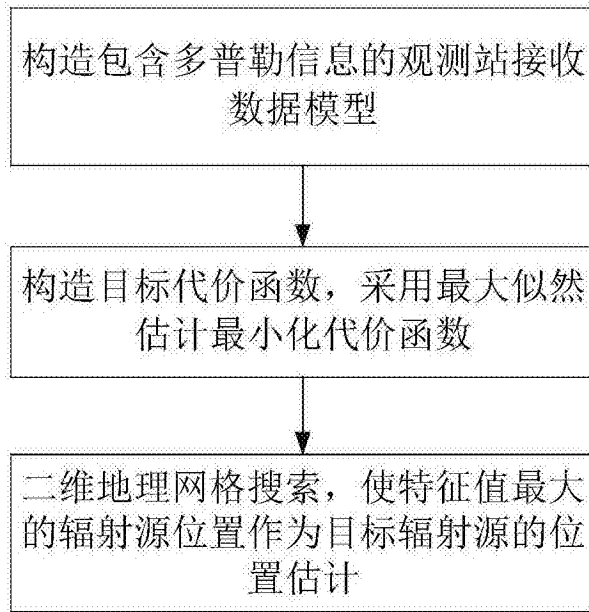


图1

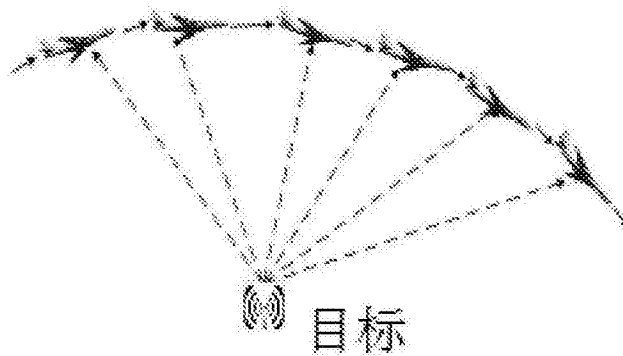


图2

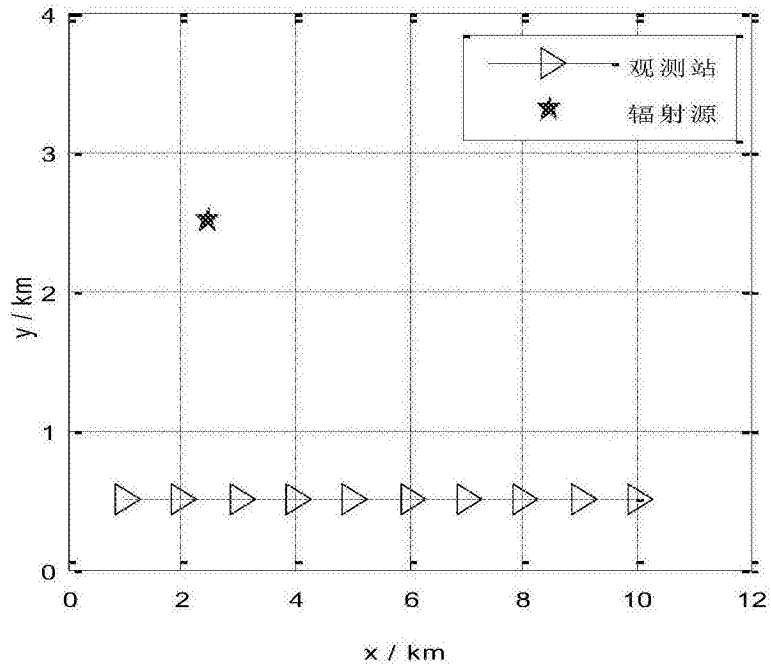


图3

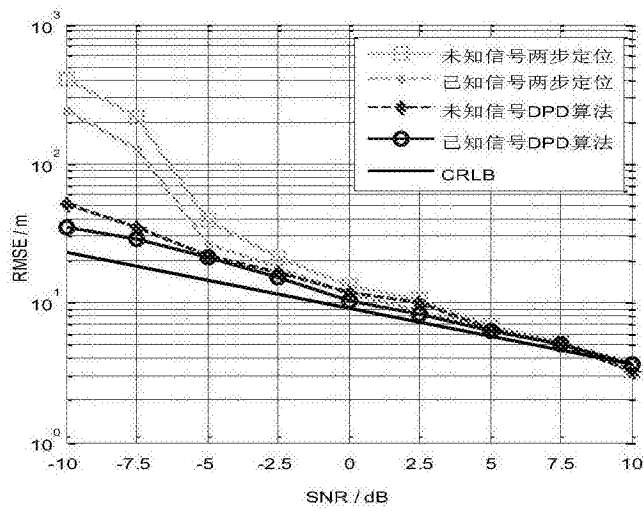


图4

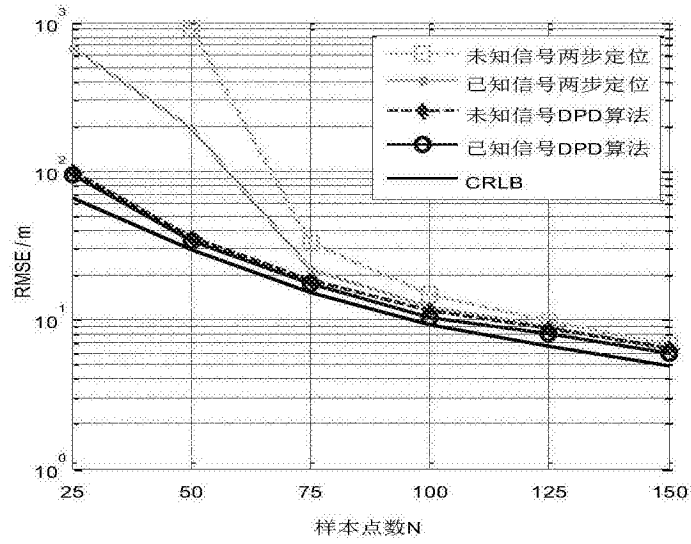


图5

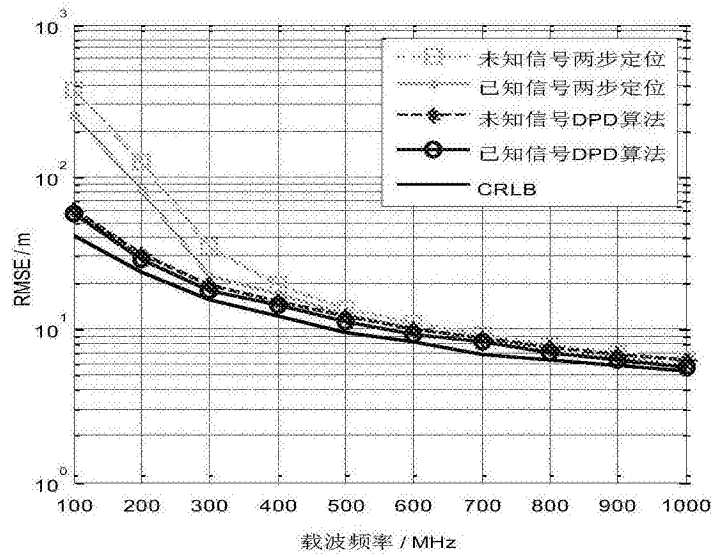


图6