



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105487072 A

(43) 申请公布日 2016. 04. 13

(21) 申请号 201511017124. 1

(22) 申请日 2015. 12. 29

(71) 申请人 武汉工程大学

地址 430074 湖北省武汉市洪山区雄楚大街
693 号

(72) 发明人 程莉 秦实宏 党晶晶 袁梦
邹连英

(74) 专利代理机构 湖北武汉永嘉专利代理有限
公司 42102

代理人 许美红

(51) Int. Cl.

G01S 13/87(2006. 01)

G01S 13/48(2006. 01)

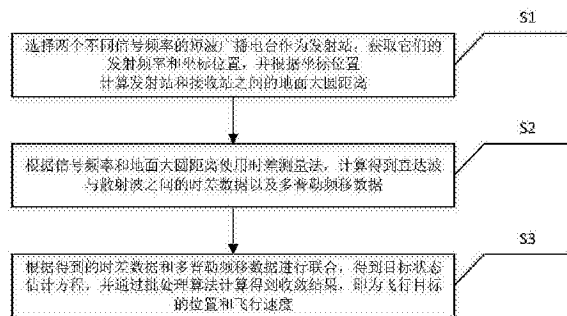
权利要求书3页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于 T^2/R 的时差与多普勒频移联合定位
方法及系统

(57) 摘要

本发明公开了一种基于 T^2/R 的时差与多普勒频移联合定位方法及系统, 该方法包括以下步骤: S1、选择两个不同信号频率的短波广播电台作为发射站, 获取它们的发射频率和坐标位置, 并根据坐标位置计算发射站和接收站之间的地面大圆距离; S2、根据信号频率和地面大圆距离使用时差测量法, 计算得到直达波与散射波之间的时差数据以及多普勒频移数据; S3、根据得到的时差数据和多普勒频移数据进行联合, 得到目标状态估计方程, 并通过批处理算法计算得到收敛结果, 即为飞行目标的位置和飞行速度。本发明仅需要两个广播电台作为辐射源, 就可以对移动的空中目标进行定位, 对匀速运动和变速运动的目标, 在位置精度和速度精度上都有了很大的提高。



1. 一种基于 T^2/R 的时差与多普勒频移联合定位方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1、选择两个不同信号频率的短波广播电台作为发射站,获取它们的发射频率和坐标位置,并根据坐标位置计算发射站和接收站之间的地面大圆距离;

S2、根据信号频率和地面大圆距离使用时差测量法,计算得到直达波与散射波之间的时差数据以及多普勒频移数据,其中,直达波为接收站直接接收的发射站信号,散射波为发射信号照射到空中飞行目标后反射到达接收站的信号;

S3、根据得到的时差数据和多普勒频移数据进行联合,得到目标状态估计方程,并通过批处理算法计算得到收敛结果,即为飞行目标的位置和飞行速度。

2. 根据权利要求1所述的基于 T^2/R 的时差与多普勒频移联合定位方法,其特征在于,步骤S1中获取短波广播电台发射频率和坐标位置的方法为:

从国际电信联盟发布的短波全频段无线电频率划分列表中,选择两个发射站,发射站不能与接收站同在一个坐标位置上,两个短波广播信号采用AM调制方式,且为不同频率短波信号。

3. 根据权利要求1所述的基于 T^2/R 的时差与多普勒频移联合定位方法,其特征在于,步骤S2具体包括以下步骤:

S21、提取直达波信号,该直达波为接收站直接接收的发射站信号;

S22、提取散射波信号,该信号为发射站发射信号照射到空中机动目标后,反射到达接收站的信号;

S23、利用时差估计算法得到连续 k 次直达波与散射波之间的时差信息;

S24、利用多普勒频移估计算法得到连续 k 次直达波与散射波之间的多普勒频移信息。

4. 根据权利要求1所述的基于 T^2/R 的时差与多普勒频移联合定位方法,其特征在于,步骤S3具体包括以下步骤:

S31、计算时差测量方程对目标初始状态向量的Jacobi矩阵;

S32、计算多普勒频移测量方程对目标初始状态向量的Jacobi矩阵;

S33、对步骤S31和步骤S32的计算结果进行联合处理,即将得到的两个矩阵进行组合得到目标状态估计方程,其公式为:

$$H_k(X_0) = \frac{\partial h(X)}{\partial X_0} = \begin{bmatrix} \frac{\partial T_{jk}}{\partial X_0} & \frac{\partial F_{jk}}{\partial X_0} \end{bmatrix}, \quad k=1,2,\dots,N$$

其中, $\frac{\partial T_{jk}}{\partial X_0}$ 表示时差测量方程对目标初始状态向量的Jacobi矩阵, $\frac{\partial F_{jk}}{\partial X_0}$ 表示多普勒频移测量方程对目标初始状态向量的Jacobi矩阵;

S34、利用批处理算法对其进行求解,当算法收敛时,最终得到机动目标位置信息和速度信息。

5. 根据权利要求4所述的基于 T^2/R 的时差与多普勒频移联合定位方法,其特征在于,步骤S31中目标初始状态向量的计算方法为:

$$X_0 = [x_0 \ y_0 \ v_x \ v_y]^T$$

其中, X_0 为目标初始状态向量, (x_0, y_0) 为目标初始位置, (v_x, v_y) 为目标速度在 x 、 y 轴上的分量, $[\cdot]^T$ 为对矩阵的转置操作;

在第k次时刻,目标匀速运动速度为 (v_x, v_y) ,则可知目标位置:

$$x_k = x_0 + k \Delta t v_x;$$

$$y_k = y_0 + k \Delta t v_y;$$

其中, Δt 为采样间隔时间。

6. 根据权利要求5所述的基于 T^2/R 的时差与多普勒频移联合定位方法,其特征在于,步骤S31中时差测量方程为:

$$\tau_{jk} = \frac{1}{c} [r_{jk} + r_{0k} - R_{bj}] \quad (k=0,1,2,\dots,N)(j=1,2)$$

其中, τ_{jk} 表示第j个发射站第k次得到的时差, c 表示光速, r_{jk}, r_{0k}, R_{bj} 分别表示发射站j与目标之间的距离,目标与接收站之间的距离以及发射站j与接收站之间的距离;

第一个发射站位于 (x_{T1}, y_{T1}) ,第二个发射站位于 (x_{T2}, y_{T2}) ,接收站位于 (x_R, y_R) ,且有:

$$r_{jk+i} = \sqrt{((x_k - x_{Tj})^2 + (y_k - y_{Tj})^2)}$$

$$r_{0k+i} = \sqrt{((x_k - x_R)^2 + (y_k - y_R)^2)}$$

$$R_{bj} = \sqrt{((x_R - x_{Tj})^2 + (y_R - y_{Tj})^2)}$$

其中, $k=0,1,2,\dots,N$ 。

7. 根据权利要求4所述的基于 T^2/R 的时差与多普勒频移联合定位方法,其特征在于,步骤S32中多普勒频移测量方程为:

$$f_{jk} = \frac{f_j}{c} \cdot \left(\frac{((x_k - x_{Tj})v_x + (y_k - y_{Tj})v_y)}{\sqrt{(x_k - x_{Tj})^2 + (y_k - y_{Tj})^2}} - \frac{((x_k - x_R)v_x + (y_k - y_R)v_y)}{\sqrt{(x_k - x_R)^2 + (y_k - y_R)^2}} \right)$$

f_j 表示第j个发射站发射信号频率。

8. 根据权利要求4所述的基于 T^2/R 的时差与多普勒频移联合定位方法,其特征在于,步骤S34中使用批处理算法的具体方法为:

令目标参数真实值为 X_0 ,参数估计值为 \hat{X} ,测量方程可写为一般形式:

$$Z = h(X) + n$$

n 为噪声,将其对 X_0 处作泰勒级数展开,并仅选取级数序列的一次项,则:

$$Z = h(X_0) + H(\hat{X} - X_0) + n$$

$$H_k(X_0) = \frac{\partial h(X)}{\partial X_0} = \begin{bmatrix} \frac{\partial T_{jk}}{\partial X_0} & \frac{\partial F_{jk}}{\partial X_0} \end{bmatrix}, \quad k=1,2,\dots,N$$

上式是关于 \hat{X} 的线性方程,可以用线性最小二乘法来处理,则有:

$$\hat{X} = X_0 + (H^T S^{-1} H)^{-1} H^T S^{-1} (Z - h(X_0))$$

其中 \hat{X} 作为收敛于最优估计值的逐次逼近法的初值;

由Gauss-Newton法,可得:

$$\hat{X}_{n+1} = \hat{X}_n - m(H^T S_k^{-1} H)^{-1} H^T S_k^{-1} (Z - h(\hat{X}_n))$$

其中 \hat{X}_{n+1} 为最新估计值, \hat{X}_n 是第n次迭代估计值,m是收敛因子,取近似于1的值;

当 $\|\hat{X}_{n+1} - \hat{X}_n\| < 10^{-10}$ 则认为算法已经收敛,则最终结果即为目标位置信息和速度信息。

9. 一种基于T²/R的时差与多普勒频移联合定位系统,其特征在于,包括:

频率和距离获取单元,用于选择两个不同信号频率的短波广播电台作为发射站,获取它们的发射频率和坐标位置,并根据坐标信息计算发射站和接收站之间的地面大圆距离;

时差和多普勒频移数据计算单元,用于根据信号频率和地面大圆距离使用时差测量法,计算得到直达波与散射波之间的时差数据以及多普勒频移数据,其中,直达波为接收站直接接收的发射站信号,散射波为发射信号照射到空中飞行目标后反射到达接收站的信号;

联合定位单元,用于根据得到的时差数据和多普勒频移数据联合定位,计算得到飞行目标的位置和飞行速度。

一种基于 T^2/R 的时差与多普勒频移联合定位方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及信号处理领域,尤其涉及一种基于 T^2/R 的时差与多普勒频移联合定位方法及系统。

背景技术

[0002] 目标定位目前在军事领域、移动通信领域、医学领域,民用领域等都具有非常重要的现实意义。而无源被动定位技术,由于系统不主动发射信号,仅依靠接收被定位目标反射的电磁信号,确定其空间位置,更是未来发展的重要方向。

[0003] 近年来,在无源被动定位系统中,一般多基于到达方向角(DOA)、到达时间(TOA)、到达时差(TDOA)、多普勒频率、信号强度(RSSI)、以及各种联合方式,对目标进行定位。由于时差只与目标位置相关,定位方程简单且位置定位精度高于目标来波方向到达角,因此多采用时差定位。但是一般来说系统大多需要3个及以上发射站,且对于随机运动目标,由于时差与运动状态关系不大,因此利用时差定位系统对目标运动速度估计会存在模糊。李万春2005年提出的基于双发射站,利用时差信息对目标进行定位,没有单独对速度定位精度和结果进行评估,且当目标在很长一段时间内($N=20$)匀速运动。而多普勒频移由于与运动状态紧密相关,能很好的对目标速度进行估计,肖扬灿2011年提出的仅采用多普勒频移对目标位置和速度信息进行定位,当发射站数目达到4个的时候,位置定位精度才有了显著的提高,而且同样假设目标在30s内是匀速运动的。然而,实际情况下目标一般并不是匀速不变的,或者说在相当长的一段时间内保持不变。因此,考虑变速运动的目标更具有实际的意义。

发明内容

[0004] 本发明要解决的技术问题在于针对现有技术中在无源被动定位系统中只考虑匀速运动的状态,且需要的发射站数量过多的缺陷,提供一种仅需要两个发射站,且对变速运动的目标能够精确定位的基于 T^2/R 的时差与多普勒频移联合定位方法及系统。

[0005] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:

[0006] 本发明提供一种基于 T^2/R 的时差与多普勒频移联合定位方法,包括以下步骤:

[0007] S1、选择两个不同信号频率的短波广播电台作为发射站,获取它们的发射频率和坐标位置,并根据坐标位置计算发射站和接收站之间的地面大圆距离;

[0008] S2、根据信号频率和地面大圆距离使用时差测量法,计算得到直达波与散射波之间的时差数据以及多普勒频移数据,其中,直达波为接收站直接接收的发射站信号,散射波为发射信号照射到空中飞行目标后反射到达接收站的信号;

[0009] S3、根据得到的时差数据和多普勒频移数据进行联合,得到目标状态估计方程,并通过批处理算法计算得到收敛结果,即为飞行目标的位置和飞行速度。

[0010] 进一步地,本发明的步骤S1中获取短波广播电台发射频率和坐标位置的方法为:

[0011] 从国际电信联盟发布的短波全频段无线电频率划分列表中,选择两个发射站,发

射站不能与接收站同在一个坐标位置上,两个短波广播信号采用AM调制方式,且为不同频率短波信号。

[0012] 进一步地,本发明的步骤S2具体包括以下步骤:

[0013] S21、提取直达波信号,该直达波为接收站直接接收的发射站信号;

[0014] S22、提取散射波信号,该信号为发射站发射信号照射到空中机动目标后,反射到达接收站的信号;

[0015] S23、利用时差估计算法得到连续k次直达波与散射波之间的时差信息;

[0016] S24、利用多普勒频移估计算法得到连续k次直达波与散射波之间的多普勒频移信息。

[0017] 进一步地,本发明的步骤S3具体包括以下步骤:

[0018] S31、计算时差测量方程对目标初始状态向量的Jacobi矩阵;

[0019] S32、计算多普勒频移测量方程对目标初始状态向量的Jacobi矩阵;

[0020] S33、对步骤S31和步骤S32的计算结果进行联合处理,即将得到的两个矩阵进行组合得到目标状态估计方程,其公式为:

$$[0021] \quad H_k(X_0) = \frac{\partial h(X)}{\partial X_0} = \begin{bmatrix} \frac{\partial T_{jk}}{\partial X_0} & \frac{\partial F_{jk}}{\partial X_0} \end{bmatrix}, \quad k=1,2,\dots,N$$

[0022] 其中, $\frac{\partial T_{jk}}{\partial X_0}$ 表示时差测量方程对目标初始状态向量的Jacobi矩阵, $\frac{\partial F_{jk}}{\partial X_0}$ 表示多普勒频移测量方程对目标初始状态向量的Jacobi矩阵;

[0023] S34、利用批处理算法对其进行求解,当算法收敛时,最终得到机动目标位置信息和速度信息。

[0024] 进一步地,本发明的步骤S31中目标初始状态向量的计算方法为:

$$[0025] \quad X_0 = [[x_0 \ y_0 \ v_x \ v_y]]^T$$

[0026] 其中, X_0 为目标初始状态向量, (x_0, y_0) 为目标初始位置, (v_x, v_y) 为目标速度在x、y轴上的分量, $[\cdot]^T$ 为对矩阵的转置操作;

[0027] 在第k次时刻,目标匀速运动速度为 (v_x, v_y) , 则可知目标位置:

$$[0028] \quad x_k = x_0 + k \Delta t v_x;$$

$$[0029] \quad y_k = y_0 + k \Delta t v_y;$$

[0030] 其中, Δt 为采样间隔时间。

[0031] 进一步地,本发明的步骤S31中时差测量方程为:

$$[0032] \quad \tau_{jk} = \frac{1}{c} [r_{jk} + r_{0k} - R_{Tj}] \quad (k=0,1,2,\dots,N)(j=1,2)$$

[0033] 其中, τ_{jk} 表示第j个发射站第k次得到的时差, c 表示光速, r_{jk} , r_{0k} , R_{Tj} 分别表示发射站j与目标之间的距离,目标与接收站之间的距离以及发射站j与接收站之间的距离;

[0034] 第一个发射站位于 (x_{T1}, y_{T1}) , 第二个发射站位于 (x_{T2}, y_{T2}) , 接收站位于 (x_R, y_R) , 且有:

$$[0035] \quad r_{jk+i} = \sqrt{((x_k - x_{Tj})^2 + (y_k - y_{Tj})^2)}$$

$$[0036] \quad r_{0k+i} = \sqrt{\left((x_k - x_R)^2 + (y_k - y_R)^2\right)}$$

$$[0037] \quad R_{Tj} = \sqrt{\left((x_R - x_{Tj})^2 + (y_R - y_{Tj})^2\right)}$$

[0038] 其中, $k=0, 1, 2, \dots, N$ 。

[0039] 进一步地, 本发明的步骤S32中多普勒频移测量方程为:

$$[0040] \quad f_{jk} = \frac{f_j}{c} \cdot \left(-\frac{\left((x_k - x_{Tj})v_x + (y_k - y_{Tj})v_y\right)}{\sqrt{\left(x_k - x_{Tj}\right)^2 + \left(y_k - y_{Tj}\right)^2}} - \frac{\left((x_k - x_R)v_x + (y_k - y_R)v_y\right)}{\sqrt{\left(x_k - x_R\right)^2 + \left(y_k - y_R\right)^2}} \right)$$

[0041] f_j 表示第j个发射站发射信号频率。

[0042] 进一步地, 本发明的步骤S34中使用批处理算法的具体方法为:

[0043] 令目标参数真实值为 X_0 , 参数估计值为 \hat{X} , 测量方程可写为一般形式:

$$[0044] \quad Z = h(X) + n$$

[0045] n 为噪声, 将其对 X_0 处作泰勒级数展开, 并仅选取级数序列的一次项, 则:

$$[0046] \quad Z = h(X_0) + H(\hat{X} - X_0) + n$$

$$[0047] \quad H_k(X_0) = \frac{\partial h(X)}{\partial X_0} = \begin{bmatrix} \frac{\partial T_{jk}}{\partial X_0} & \frac{\partial F_{jk}}{\partial X_0} \end{bmatrix}, \quad k=1, 2, \dots, N$$

[0048] 上式是关于 \hat{X} 的线性方程, 可以用线性最小二乘法来处理, 则有:

$$[0049] \quad \hat{X} = X_0 + \left(H^T S_k^{-1} H\right)^{-1} H^T S_k^{-1} (Z - h(X_0))$$

[0050] 其中 \hat{X} 作为收敛于最优估计值的逐次逼近法的初值;

[0051] 由Gauss-Newton法, 可得:

$$[0052] \quad \hat{X}_{n+1} = \hat{X}_n - m \left(H^T S_k^{-1} H\right)^{-1} H^T S_k^{-1} (Z - h(\hat{X}_n))$$

[0053] 其中 \hat{X}_{n+1} 为最新估计值, \hat{X}_n 是第n次迭代估计值, m 是收敛因子, 取近似于1的值;

[0054] 当 $\|\hat{X}_{n+1} - \hat{X}_n\| < 10^{-10}$ 则认为算法已经收敛, 则最终结果即为目标位置信息和速度信息。

[0055] 本发明提供一种基于 T^2/R 的时差与多普勒频移联合定位系统, 包括:

[0056] 频率和距离获取单元, 用于选择两个不同信号频率的短波广播电台作为发射站, 获取它们的发射频率和坐标位置, 并根据坐标信息计算发射站和接收站之间的地面大圆距离;

[0057] 时差和多普勒频移数据计算单元, 用于根据信号频率和地面大圆距离使用时差测量法, 计算得到直达波与散射波之间的时差数据以及多普勒频移数据, 其中, 直达波为接收站直接接收的发射站信号, 散射波为发射信号照射到空中飞行目标后反射到达接收站的信号;

[0058] 联合定位单元, 用于根据得到的时差数据和多普勒频移数据联合定位, 计算得到

飞行目标的位置和飞行速度。

[0059] 本发明产生的有益效果是：本发明的基于 T^2/R 的时差与多普勒频移联合定位方法，仅需要两个广播电台作为辐射源，就可以对移动的空中目标进行定位；通过采用直达波与散射波之间的时差信息，减少了发射站所需要的数目，有利于短波雷达系统的快速建立；并采用时差信息和多普勒频移信息，对匀速运动和变速运动的目标，在位置精度和速度精度上都有了很大的提高。

附图说明

[0060] 下面将结合附图及实施例对本发明作进一步说明，附图中：

[0061] 图1是本发明实施例的基于 T^2/R 的时差与多普勒频移联合定位方法的流程图；

[0062] 图2是本发明实施例的基于 T^2/R 的时差与多普勒频移联合定位方法的具体实施方法流程图；

[0063] 图3是本发明实施例的基于 T^2/R 的时差与多普勒频移联合定位方法的联合定位原理图；

[0064] 图4是本发明实施例的基于 T^2/R 的时差与多普勒频移联合定位系统的原理框图；

[0065] 图中，401-频率和距离获取单元，402-时差和多普勒频移数据计算单元。403-联合定位单元。

具体实施方式

[0066] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

[0067] 如图1所示，本发明实施例的基于 T^2/R 的时差与多普勒频移联合定位方法，包括以下步骤：

[0068] S1、选择两个不同信号频率的短波广播电台作为发射站，获取它们的发射频率和坐标位置，并根据坐标位置计算发射站和接收站之间的地面大圆距离；

[0069] S2、根据信号频率和地面大圆距离使用时差测量法，计算得到直达波与散射波之间的时差数据以及多普勒频移数据，其中，直达波为接收站直接接收的发射站信号，散射波为发射信号照射到空中飞行目标后反射到达接收站的信号；

[0070] S3、根据得到的时差数据和多普勒频移数据联合定位，计算得到飞行目标的位置和飞行速度。

[0071] 如图2所示，在本发明的另一个实施例中，该方法包括以下步骤：

[0072] (1)接收短波信号；

[0073] 利用现有短波广播电台作为外辐射源信号。

[0074] (2)筛选短波广播电台

[0075] 根据国际电信联盟发布的短波全频段无线电频率划分列表，得短波广播电台频率，发射站站址，挑选其中的任意两个。但发射站不能与接收站同在一个坐标位置上，两个短波广播信号采用AM调制方式，且为不同频率短波信号。

[0076] (3)计算收发两站间地面大圆距离；

[0077] 利用这些短波广播电台发射站经纬度,计算出收发两站之间的地面大圆距离。

[0078] (4)计算时差和多普勒频移信息;

[0079] 在已知信号频率及发射站接收站间地面大圆距离情况下,提取直达波信号,该直达波为接收站直接接收的发射站信号。提取散射波信号,该信号为发射站发射信号照射到空中机动目标后,反射到达接收站的信号。再利用时差估计算法得到连续次直达波与散射波之间的时差信息,以及利用多普勒频移估计算法得到连续次直达波与散射波之间的多普勒频移信息。

[0080] (5)联合定位;

[0081] 通过时差与多普勒频移联合定位得到飞行目标位置和飞行速度。

[0082] 如图3所示,联合定位的具体步骤为:

[0083] (5.1)计算时差测量方程对目标初始状态向量的Jacobi矩阵;

[0084] 假设目标初始状态矢量为 X_0 :

$$[0085] X_0 = [[x_0 \ y_0 \ v_x \ v_y]]^T$$

[0086] 其中 (x_0, y_0) 为目标初始位置, (v_x, v_y) 表示目标速度在 x, y 轴上的分量。 $[\cdot]^T$ 表示对矩阵转置操作。

[0087] 在第 k 次时刻,目标匀速运动速度为 (v_x, v_y) ,则可知目标位置:

$$[0088] x_k = x_0 + k \Delta t v_x;$$

$$[0089] y_k = y_0 + k \Delta t v_y;$$

[0090] 其中, Δt 表示采样间隔时间。

[0091] 时差测量方程为:

$$[0092] \tau_{jk} = \frac{1}{c} [r_{jk} + r_{0k} - R_{trj}] \quad (k=0,1,2,\dots,N)(j=1,2)$$

[0093] 其中 τ_{jk} 表示第 j 个发射站第 k 次得到的时差, c 表示光速, r_{jk}, r_{0k}, R_{trj} 分别表示发射站 j 与目标之间的距离,目标与接收站之间的距离以及发射站 j 与接收站之间的距离。

[0094] 其中,第一个发射站位于 (x_{T1}, y_{T1}) ,第二个发射站位于 (x_{T2}, y_{T2}) ,接收站位于 (x_R, y_R) 。

$$[0095] r_{jk+i} = \sqrt{((x_k - x_{Tj})^2 + (y_k - y_{Tj})^2)}$$

$$[0096] r_{0k+i} = \sqrt{((x_k - x_R)^2 + (y_k - y_R)^2)} \quad (k=0,1,2,\dots,N)$$

$$[0097] R_{trj} = \sqrt{((x_R - x_{Tj})^2 + (y_R - y_{Tj})^2)}$$

[0098] 得到时差测量方程的Jacobi矩阵为:

$$[0099] \frac{\partial \tau_{jk}}{\partial X_0} = \left[\frac{\partial \tau_{jk}}{\partial x_0} \quad \frac{\partial \tau_{jk}}{\partial y_0} \quad \frac{\partial \tau_{jk}}{\partial v_x} \quad \frac{\partial \tau_{jk}}{\partial v_y} \right]^T$$

[0100] 其中,

$$[0101] \quad \frac{\partial \tau_{jk}}{\partial x_0} = \frac{1}{c} \left(\frac{x_k - x_{Tj}}{r_{jk}} + \frac{x_k - x_R}{r_{0k}} \right)$$

$$[0102] \quad \frac{\partial \tau_{jk}}{\partial y_0} = \frac{1}{c} \left(\frac{y_k - y_{Tj}}{r_{jk}} + \frac{y_k - y_R}{r_{0k}} \right)$$

$$[0103] \quad \frac{\partial \tau_{jk}}{\partial v_x} = \frac{1}{c} \left(\frac{(x_k - x_{Tj})k\Delta t}{r_{jk}} + \frac{(x_k - x_R)k\Delta t}{r_{0k}} \right)$$

$$[0104] \quad \frac{\partial \tau_{jk}}{\partial v_y} = \frac{1}{c} \left(\frac{(y_k - y_{Tj})k\Delta t}{r_{jk}} + \frac{(y_k - y_R)k\Delta t}{r_{0k}} \right)$$

[0105] (5.2) 计算多普勒频移测量方程对目标原始状态向量的Jacobi矩阵;多普勒频移测量方程为:

$$[0106] \quad f_{jk} = \frac{f_j}{c} \left(\frac{((x_k - x_{Tj})v_x + (y_k - y_{Tj})v_y)}{\sqrt{(x_k - x_{Tj})^2 + (y_k - y_{Tj})^2}} - \frac{((x_k - x_R)v_x + (y_k - y_R)v_y)}{\sqrt{(x_k - x_R)^2 + (y_k - y_R)^2}} \right)$$

[0107] f_j 表示第j个发射站发射信号频率。

[0108] 得到多普勒频移测量方程的Jacobi矩阵为:

$$[0109] \quad \frac{\partial f_{jk}}{\partial X_0} = \left[\frac{\partial f_{jk}}{\partial x_0} \quad \frac{\partial f_{jk}}{\partial y_0} \quad \frac{\partial f_{jk}}{\partial v_x} \quad \frac{\partial f_{jk}}{\partial v_y} \right]^T$$

[0110] 其中,

$$[0111] \quad \frac{\partial f_{jk}}{\partial x_0} = \frac{f_j}{c} \left(\frac{(y_k - y_{Tj})((y_k - y_{Tj})v_x - (x_k - x_{Tj})v_y)}{r_{jk}^3} + \frac{(y_k - y_R)((y_k - y_R)v_x - (x_k - x_R)v_y)}{r_{0k}^3} \right)$$

$$[0112] \quad \frac{\partial f_{jk}}{\partial y_0} = \frac{f_j}{c} \left(\frac{(x_k - x_{Tj})((x_k - x_{Tj})v_y - (y_k - y_{Tj})v_x)}{r_{jk}^3} + \frac{(x_k - x_R)((x_k - x_R)v_y - (y_k - y_R)v_x)}{r_{0k}^3} \right)$$

$$[0113] \quad \frac{\partial f_{jk}}{\partial v_x} = \frac{f_j}{c} \left(\frac{r_{jk}^2(x_k - x_{Tj}) + (y_k - y_{Tj})k\Delta t}{r_{jk}^3} ((y_k - y_{Tj})v_x - (x_k - x_{Tj})v_y) + \frac{r_{0k}^2(x_k - x_R) + (y_k - y_R)k\Delta t}{r_{0k}^3} ((y_k - y_R)v_x - (x_k - x_R)v_y) \right)$$

$$[0114] \quad \frac{\partial f_{jk}}{\partial v_y} = \frac{f_j}{c} \left(\frac{r_{jk}^2 (y_k - y_{Tj}) + (x_k - x_{Tj}) k \Delta t ((x_k - x_{Tj}) v_y - (y_k - y_{Tj}) v_x)}{r_{jk}^3} + \frac{r_{0k}^2 y_k + (x_k - x_R) k \Delta t ((x_k - x_R) v_y - (y_k - y_R) v_x)}{r_{0k}^3} \right)$$

[0115] (5.3)将上述两计算结果进行结合,得到目标状态估计方程;

$$[0116] \quad H_k(X_0) = \frac{\partial h(X)}{\partial X_0} = \begin{bmatrix} \partial T_{jk} \\ \partial F_{jk} \end{bmatrix}, \quad k=1,2,\dots,N$$

[0117] 即将时差测量方程相对目标初始状态向量的Jacobi矩阵,和多普勒频移测量方程相对目标初始状态向量的Jacobi矩阵进行组合。

[0118] (5.4)利用Gauss-Newton批处理算法,得到机动目标位置信息和速度信息。

[0119] 令目标参数真实值为 X_0 ,参数估计值为 \hat{X} ,测量方程可写为一般形式:

$$[0120] \quad Z = h(X_0) + H(\hat{X} - X_0) + n$$

$$[0121] \quad H_k(X_0) = \frac{\partial h(X)}{\partial X_0} = \begin{bmatrix} \partial T_{jk} \\ \partial F_{jk} \end{bmatrix}, \quad k=1,2,\dots,N$$

[0122] 上式是关于 \hat{X} 的线性方程,可以用线性最小二乘法来处理,有:

$$[0123] \quad \hat{X} = X_0 + (H^T S_k^{-1} H)^{-1} H^T S_k^{-1} (Z - h(X_0))$$

[0124] 其中 \hat{X} 作为收敛于最优估计值的逐次逼近法的初值。

[0125] 由GN法,可得:

$$[0126] \quad \hat{X}_{n+1} = \hat{X}_n - m (H^T S_k^{-1} H)^{-1} H^T S_k^{-1} (Z - h(\hat{X}_n))$$

[0127] 其中 \hat{X}_{n+1} 为最新估计值, \hat{X}_n 是第n次迭代估计值,m是收敛因子,一般取近似于1的值。

[0128] 如图4所示,本发明实施例的基于 T^2/R 的时差与多普勒频移联合定位系统,用于实现本发明实施例的基于 T^2/R 的时差与多普勒频移联合定位方法,包括:

[0129] 频率和距离获取单元401,用于选择两个不同信号频率的短波广播电台作为发射站,获取它们的发射频率和坐标位置,并根据坐标信息计算发射站和接收站之间的地面大圆距离;

[0130] 时差和多普勒频移数据计算单元402,用于根据信号频率和地面大圆距离使用时差测量法,计算得到直达波与散射波之间的时差数据以及多普勒频移数据,其中,直达波为接收站直接接收的发射站信号,散射波为发射信号照射到空中飞行目标后反射到达接收站的信号;

[0131] 联合定位单元403,用于根据得到的时差数据和多普勒频移数据联合定位,计算得到飞行目标的位置和飞行速度。

[0132] 本发明能够在不建立发射站的基础上,利用现有的短波广播电台作为辐射源,通过时差和多普勒频移联合的方法实现对空中机动目标的定位。与其他被动式目标定位方法

相比,本发明具有以下特点:

[0133] (1)本发明利用现有的短波广播电台作为辐射源,自己不发射信号,因此具有距离远、隐蔽接收、不易被外方发现等优点;

[0134] (2)与一般利用时差信息定位方法不同的是,本发明采用的是直达波与散射波之间的时差信息,而不是不同发射站到接收站之间的时差信息,因此减少了发射站所需要的数目,有利于短波雷达系统的快速建立;

[0135] (3)本发明由于同时利用了时差信息和多普勒频移信息,因此相对于其他独立使用时差或者多普勒频移定位系统,在位置精度和速度精度都有了很大的提高;

[0136] (4)由于同时使用了两个测量信息,而且有两个发射站,因此对于状态参量为四个的系统来说,一直处于一个稳定状态。因此,只需要在很短的系统累积时间,即可实现对目标位置与速度信息的参数估计,非常适用于对机动目标的定位;

[0137] (5)由于本发明采用了Gauss-Newton批处理算法,因此系统定位精度能够有效接近CRLB界。

[0138] 应当理解的是,对本领域普通技术人员来说,可以根据上述说明加以改进或变换,而所有这些改进和变换都应属于本发明所附权利要求的保护范围。

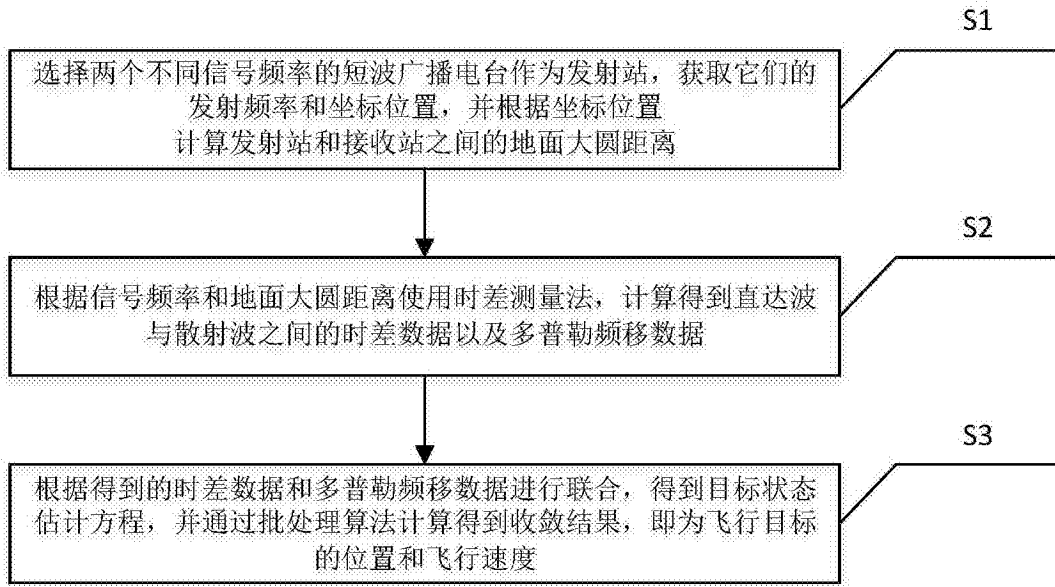


图1

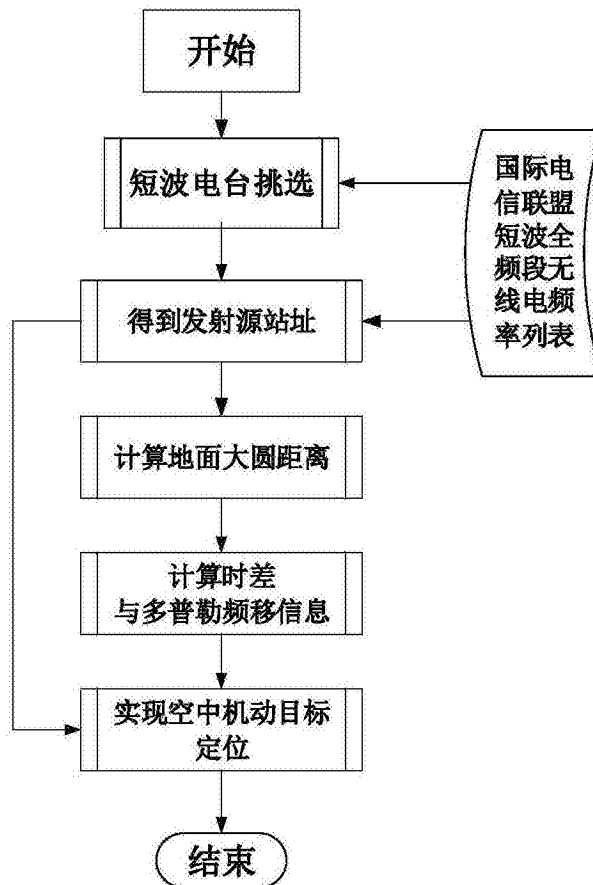


图2

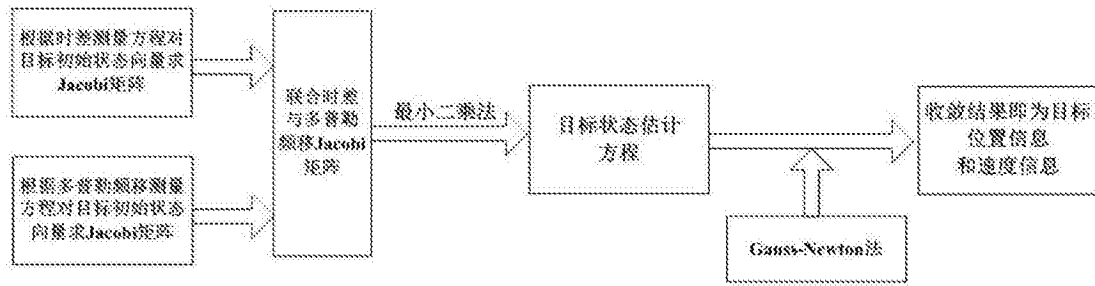


图3

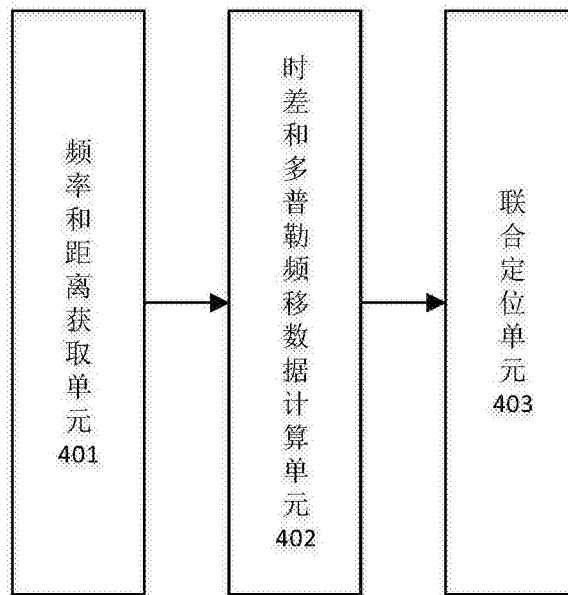


图4