

## 基于时差测量的多目标位置信息场定位方法

张奎, 罗景青, 马贤同

(解放军电子工程学院, 安徽 合肥 230037)

**摘要:**针对传统的测时差定位方法对多目标定位时时差辨识与时差配对过程比较复杂的问题, 提出基于TDOA的多目标位置信息场定位方法。该方法将位置信息场相关理论应用于多目标测时差定位中, 利用时差数据构造目标位置信息场函数, 通过网格搜索信息场函数峰值实现对多个目标位置和数目的同时估计, 并对定位精度进行了分析。该方法避免了时差辨识与时差配对的过程, 当观测站和目标较多时, 计算量不会出现组合爆炸问题。仿真结果表明, 该方法可以有效实现对多目标的测时差定位。

**关键词:**位置信息场; 时差; 多目标; 精度分析

**中图分类号:** TN911.7

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1008-1194(2014)04-0078-05

## A Method for Multi-target Information Field Location Based on TDOA

ZHANG Kui, LUO Jingqing, MA Xiantong

(Electronic Engineering Institute, Hefei 230037, China)

**Abstract:** As the TDOA identification and TDOA matching process was complicated for multi-target in traditional location algorithms based on TDOA, a location method for multi-target by position information field (PIF) based on TDOA was proposed in this paper. Firstly, the theory of PIF was applied into multi-target location problem, and the PIF function was constructed using TDOA measurements. Then, the targets' position and number were estimated simultaneously through grid search method, and the location precision was also analyzed. The proposed method avoids the TDOA identification and TDOA matching process, so the computation cost will not lead to combinational explosion when the number of the sensors and targets are large. Simulation results showed that the proposed location method could effectively locate multi-target based on TDOA.

**Key words:** position information field; TDOA; multi-target; precision analysis

## 0 引言

时差定位<sup>[1-2]</sup>是一种经典的无源定位方法, 它通过多个接收站测量目标信号到达各个接收站的时间差, 而后构建时差观测方程, 联立多个时差观测方程计算出辐射源的空间位置。由于时差测量的精度较高, 且其测量精度受接收站与辐射源之间的距离影响较小, 因此时差定位方法具有定位精度高的优点。常见的时差定位解算方法有 Taylor 展开法、两步最小二乘法、解伪线性方程组并求解二次方程法以及在它们基础上的一些改进方法<sup>[3]</sup>。文献[1]和[4]对时差定位的精度进行了分析, 表明定位精度与站址

误差及 TDOA 的测量误差的标准差有关, 目标与各被动探测站的几何位置关系对定位精度有较大影响。文献[5]利用有关相对量测误差上限和站址扰动上限的先验知识基础上, 对伪线性 TDOA 方程组进行求解, 定位效果比一般 TLS 方法<sup>[4]</sup>和 Chan 算法<sup>[6]</sup>要好, 在定位精度上有所提高。

无论是上述何种方法, 在定位计算之前, 都要确定关于某个目标的一组测量数据, 即先要把测量数据按目标进行分类, 而后利用按目标分类后的测量数据, 采用不同的算法进行定位计算<sup>[7]</sup>。对测时差定位而言, 在同时存在多个目标的情况下, 要将测量得到的时差按目标进行分类, 就需要时差辨识和时差配对等步骤, 而这些步骤往往比较复杂。尤其是

\* 收稿日期: 2014-01-13

基金项目: 国家自然科学基金资助(61171170)

作者简介: 张奎(1986—), 男, 河南项城人, 博士研究生, 研究方向: 无源定位、阵列信号处理。E-mail: zk0415027@163.com。

在多个同类辐射源目标的情况下,要完成时差辨识和时差配对是相当困难甚至是不可实现的。本文针对此问题,将位置信息场定位法<sup>[8]</sup>应用于测时差定位系统中,对测量得到的多个目标的时差,不通过时差辨识和时差配对等步骤,采用位置信息场定位方法完成对多个目标的定位,并对定位精度进行了理论分析。

# 1 目标位置信息场定位法原理

定义在指定区域内关于感兴趣的目标或目标群位置分布的函数为目标位置信息场函数,简称目标位置信息场或位置信息场。目标位置信息场是一个标量场,是关于目标或目标群位置分布特征的一个描述。在二维平面或三维空间甚至更高维空间中,关于目标和目标群的位置特征可用一个精确位置概率分布密度来表示

$$p_X^{(0)}(\mathbf{X}) = K_X \sum_{i=1}^{N_T} \alpha_i \cdot \delta(\mathbf{X} - \mathbf{X}_i) \quad (1)$$

其中,  $\mathbf{X}$  表示所关心区域可能存在目标的位置,  $N_T$  为目标的个数,  $\alpha_i$  为在位置  $\mathbf{X}_i$  存在目标的相对可靠性因子,  $K_X$  为归一化系数,而  $\delta(\cdot)$  为狄拉克函数。

由于观测的有限时域特性和有限频域特性,式(1)一般很难得到,而可以得到的只是式(1)的一个估计。当获得了一批观测(信号测量数据或测量参数集)  $\mathbf{Z}$  后,得到的位置信息场函数是式(1)中狄拉克函数与一些函数的卷积:

$$f_X(\mathbf{X}/\mathbf{Z}) = K_X \sum_{i=1}^{N_T} \alpha_i \cdot g_{X_i/\mathbf{Z}}(\mathbf{X} - \hat{\mathbf{X}}_i^{(s)}) \quad (2)$$

式(2)中,  $f_X(\mathbf{X}/\mathbf{Z})$  就是基于观测  $\mathbf{Z}$  的关于目标的位置信息场函数,  $\hat{\mathbf{X}}_i^{(s)} = \hat{\mathbf{X}}_i^{(s)}(\mathbf{Z})$ ,  $i = 1, \dots, N_T$  为当目标为单目标时  $\mathbf{X}_i$  的估计结果,是  $\mathbf{Z}$  的函数。 $g_{X_i/\mathbf{Z}}(\mathbf{X} - \hat{\mathbf{X}}_i^{(s)})$  是某个在  $\mathbf{X} = \hat{\mathbf{X}}_i^{(s)}$  处取极大值且只有一个极值的实函数。 $\mathbf{Z}$  实际上是一观测空间,它可以是任何与目标位置有关的单次观测值的集合,也可以是多次观测矢量的组合。之所以给出单目标时的估计结果,是因为在多目标情况下,由于各目标后验概率密度函数的互相影响,其估计结果可能不再具有与式(1)相对应的形式。

需要指出的是,式(1)中的  $\mathbf{Z}$  可以是多个方位、方位和距离、功率或衰减因子,也可以是到达时间、到达时间差、频差、相位差、相位差变化率、方位变化率等,当然还可以是直接时域采样数据<sup>[9]</sup>、直接频域采样数据,甚至可以是位置取样值本身。

根据  $\mathbf{Z}$ ,求得  $f_X(\mathbf{X}/\mathbf{Z})$ ,并从中分析出目标的数目和位置的方法,称之为目标位置信息场定位分析法,简称位置信息场定位法<sup>[8]</sup>。

实际上,多目标情况下,  $g_{X_i/\mathbf{Z}}(\mathbf{X} - \hat{\mathbf{X}}_i^{(s)})$  的获得是比较困难的,下面根据目标位置信息场定位的原理,研究基于时差测量数据,构建目标位置信息场函数,进而实现对多目标同时定位的方法。

# 2 基于时差测量的多目标位置信息场定位法

## 2.1 观测模型

假定在一个区域内有  $P$  个辐射源。为了建立  $P$  个辐射源时的观测数据模型,首先建立第  $p$  个辐射源的观测数据模型,其他辐射源的观测数据模型与第  $p$  个辐射源相同。假定有  $L$  个慢速运动观测站,每个观测站上安装有一个接收机,第  $l$  个观测站在  $t$  时刻位于  $\mathbf{X}_l(t)$ ,  $l = 0, 1, \dots, L-1$ 。辐射源位于  $\mathbf{X}_{E_p}$  处(地面目标),在短时观测期间可以认为目标是固定的。为了计算 TDOA,不妨假设 0 号观测站为主站,其余为副站。可以求得  $t$  时刻辐射源  $p$  到观测站  $l$  的信号传播时间为

$$\tau_{l,p}(t, \mathbf{X}_{E_p}) = \frac{1}{c} \|\mathbf{X}_l(t) - \mathbf{X}_{E_p}\| \quad (3)$$

假定第  $l$  个观测站在  $t_{bm}$  时刻测得一个时差数据  $z_{l,p}(t_{bm})$ ,时差数据测量误差为  $v_{l,p}(t_{bm})$ ,  $l = 1, 2, \dots, L-1, m = 1, 2, \dots, M_l$ ,则根据式(3),测量数据  $z_{l,p}(t_{bm})$  可以表示为

$$z_{l,p}(t_{bm}) = h_l(t_{bm}, \mathbf{X}_{E_p}) + v_{l,p}(t_{bm}) \quad (4)$$

其中,  $h_l(t_{bm}, \mathbf{X}_{E_p}) = \tau_{l,p}(t_{bm}, \mathbf{X}_{E_p}) - \tau_{0,p}(t_{bm}, \mathbf{X}_{E_p})$  为辐射源  $p$  在观测站  $l$  与观测站 0 上产生的理论时差。

为了简化式(4)的模型,假定各观测站每次观测时刻均相同,各站均对辐射源进行了  $M$  次同步观测,即  $t_{bm} = t_m, M_l = M$ ,并记

$$\begin{aligned} \mathbf{z}_{m,p} &= [z_{1,p}(t_m) \ z_{2,p}(t_m) \ \dots \ z_{L-1,p}(t_m)]^T \\ \mathbf{h}_m(\mathbf{X}_{E_p}) &= [h_1(t_m, \mathbf{X}_{E_p}) \ h_2(t_m, \mathbf{X}_{E_p}) \ \dots \ h_{L-1}(t_m, \mathbf{X}_{E_p})]^T \\ \mathbf{v}_{m,p} &= [v_{1,p}(t_m) \ v_{2,p}(t_m) \ \dots \ v_{L-1,p}(t_m)]^T \\ m &= 1, 2, \dots, M \\ \mathbf{Z}_p &= [\mathbf{Z}_{1,p}^T \ \mathbf{Z}_{2,p}^T \ \dots \ \mathbf{Z}_{M,p}^T]^T \\ \mathbf{H}_p(\mathbf{X}_{E_p}) &= [\mathbf{h}_1^T(\mathbf{X}_{E_p}) \ \mathbf{h}_2^T(\mathbf{X}_{E_p}) \ \dots \ \mathbf{h}_M^T(\mathbf{X}_{E_p})]^T \\ \mathbf{V}_p &= [\mathbf{v}_{1,p}^T \ \mathbf{v}_{2,p}^T \ \dots \ \mathbf{v}_{M,p}^T]^T \end{aligned}$$

(5)

通过式(5),式(4)可以简化为:

$$\mathbf{Z}_p = \mathbf{H}_p(\mathbf{X}_{E_p}) + \mathbf{V}_p \tag{6}$$

式(6)为单个辐射源时的观测数据模型。从式(6)可以看出,观测数据总是辐射源位置的函数。由于其他辐射源的观测数据模型与第  $p$  个辐射源相同,因此,所有辐射源总的观测数据  $\mathbf{Z}$ ,总的理论时差  $\mathbf{H}$  以及总的测量噪声  $\mathbf{V}$  可以表示为:

$$\begin{aligned} \mathbf{Z} &= [\mathbf{Z}_1^T \mathbf{Z}_2^T \cdots \mathbf{Z}_p^T]^T \\ \mathbf{H} &= [\mathbf{H}_1^T(\mathbf{X}_{E_1}) \mathbf{H}_2^T(\mathbf{X}_{E_2}) \cdots \mathbf{H}_p^T(\mathbf{X}_{E_p})]^T \\ \mathbf{V} &= [\mathbf{V}_1^T \mathbf{V}_2^T \cdots \mathbf{V}_p^T]^T \end{aligned} \tag{7}$$

则可以得到  $P$  个辐射源总的观测数据模型为

$$\mathbf{Z} = \mathbf{H} + \mathbf{V} \tag{8}$$

2.2 处理算法

考虑到时差数据的测量均是通过处理副站与主站数据得到的,因此,同一个时刻的时差数据测量误差具有一定的相关性,不同时刻的时差数据是独立的。为此,需要把总的观测数据进行划分,把不同时刻的观测数据分开。记整理之后的所有辐射源  $t_m$  时刻的观测时差数据矢量为  $\mathbf{z}'_m$ ,对应的测量误差矢量为  $\mathbf{v}'_m$ ,则

$$\begin{aligned} \mathbf{z}'_m &= [\mathbf{z}_1^T(t_m) \mathbf{z}_2^T(t_m) \cdots \mathbf{z}_{L-1}^T(t_m)]^T \\ \mathbf{v}'_m &= [\mathbf{v}_1^T(t_m) \mathbf{v}_2^T(t_m) \cdots \mathbf{v}_{L-1}^T(t_m)]^T \end{aligned} \tag{9}$$

其中,  $\mathbf{z}_i(t_m)$  为  $t_m$  时刻观测站  $i$  的时差数据矢量,

$$\begin{aligned} \mathbf{z}_i(t_m) &= [\mathbf{z}_{i,1}(t_m) \mathbf{z}_{i,2}(t_m) \cdots \mathbf{z}_{i,p}(t_m)]^T \\ \mathbf{v}_i(t_m) &= [\mathbf{v}_{i,1}(t_m) \mathbf{v}_{i,2}(t_m) \cdots \mathbf{v}_{i,p}(t_m)]^T, i = 1, \end{aligned}$$

2, ...,  $L - 1$ 。

则总的观测数据  $\mathbf{Z}$  和误差  $\mathbf{V}$  可以表示为

$$\begin{aligned} \mathbf{Z} &= [\mathbf{Z}_1^T \mathbf{Z}_2^T \cdots \mathbf{Z}_M^T J^T]^T \\ \mathbf{V} &= [\mathbf{V}_1^T \mathbf{V}_2^T \cdots \mathbf{V}_M^T]^T \end{aligned} \tag{10}$$

假定测量噪声均是零均值,则  $\mathbf{v}'_m$  的协方差矩阵为

$$\mathbf{R}_m = E\{\mathbf{v}'_m \mathbf{v}'_m^H\} \tag{11}$$

分析可知,尽管  $\mathbf{z}'_m$  中的各元素不独立,但观测  $\mathbf{z}'_m$  和  $\mathbf{z}'_n$  在  $m \neq n$  时是独立的。

由式(6)可以看出,理论时差数据在观测站位置已知的前提下总是辐射源位置的函数。因此,设辐射源位置  $\mathbf{X}$  的先验概率密度为  $p_0(\mathbf{X})$ ,则可定义目标位置信息场为:

$$f_X(\mathbf{X}/\mathbf{Z}) = \ln p_0(\mathbf{X}) - \sum_{m=1}^M C[d(\mathbf{z}'_m, \mathbf{H}'_m(\mathbf{X}))] \tag{12}$$

其中,  $C[\cdot]$  为一核函数,而  $d(\mathbf{z}'_m, \mathbf{H}'_m(\mathbf{X}))$  是观测矢量  $\mathbf{z}'_m$  与场内点  $\mathbf{X}$  处目标响应  $\mathbf{H}'_m(\mathbf{X})$  的标称化距离(欧氏距离),计算如下

$$\begin{aligned} d(\mathbf{z}'_m, \mathbf{H}'_m(\mathbf{X})) &= \\ &= \{[\mathbf{z}'_m - \mathbf{H}'_m(\mathbf{X})]^T \mathbf{R}_m^{-1} [\mathbf{z}'_m - \mathbf{H}'_m(\mathbf{X})]\}^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \tag{13}$$

式(13)中,

$$\begin{aligned} \mathbf{H}'_m(\mathbf{X}) &= [\mathbf{h}_1^T(t_m, \mathbf{X}) \mathbf{h}_2^T(t_m, \mathbf{X}) \cdots \\ &\mathbf{h}_{L-1}^T(t_m, \mathbf{X})]^T \\ \mathbf{h}_i(t_m, \mathbf{X}) &= [\mathbf{h}_{i,1}(t_m, \mathbf{X}) \mathbf{h}_{i,2}(t_m, \mathbf{X}) \cdots \mathbf{h}_{i,p}(t_m, \mathbf{X})]^T, \text{且} \\ &\mathbf{h}'_i(t_m, \mathbf{X}) \text{ 向量的长度均为 } P. \end{aligned}$$

对测量得到的每一个时差,计算

$$\begin{aligned} d_{m,l}^2 &= \frac{1}{\sigma_r^2} [\mathbf{z}_l(t_m) - \mathbf{h}_l(t_m, \mathbf{X})]^2 \\ m &= 1, 2, \cdots, M; l = 1, \cdots, L - 1 \end{aligned} \tag{14}$$

核函数  $C[\cdot]$  定义如下:

$$\begin{aligned} C[d] &= \sum_{l=1}^{L-1} \Delta_{m,l}^2 \\ \Delta_{m,l}^2 &= \begin{cases} d_{m,l}^2/2, d_{m,l}^2 < \gamma^2 \\ \gamma^2/2, d_{m,l}^2 \geq \gamma^2 \end{cases} \end{aligned} \tag{15}$$

式(15)中,  $\gamma$  为一门限。

在多站测时差定位系统中,当同时存在多个辐射源目标时,在求取时差的过程中势必会存在大量的虚假时差。通过式(12)中核函数的选取,在一定程度上突出了有价值信息(真实时差)对定位结果的“贡献”,对不可靠的或者价值小的信息(虚假时差)的“贡献”进行了弱化。

2.3 处理流程

运用位置信息场定位法对多个目标进行测时差定位的基本处理流程可以总结如下:

- 1) 获得  $M$  次测量的时差测量数据  $\mathbf{Z} = [\mathbf{z}_1^T \mathbf{z}_2^T \cdots \mathbf{z}_M^T]^T$ ;
- 2) 在区域  $\mathbf{X}$  内设置网格点  $\mathbf{X}_E(i), i = 1, 2, \cdots, I$ , 其中  $i$  表示划分的网格点的序号;
- 3) 根据核函数计算  $f_X(\mathbf{X}_E(i)/\mathbf{Z}), i = 1, 2, \cdots, I$ ;
- 4) 寻找使  $f_X(\mathbf{X}_E(i)/\mathbf{Z})$  取得极大值的  $i = i_0$ ,

令  $\hat{\mathbf{X}}_E = \mathbf{X}_E(i_0)$ ,极大值的个数为目标的个数,极大值对应的位置即是目标的位置。

通过上述四个步骤可以不通过时差辨识和时差配对实现对多个目标的数目和位置的同时确定。

3 性能分析

3.1 运算量分析

本文研究的是多个同类辐射源同时存在时的时差定位问题,且各个辐射源的信号参数非常相近,因此,无法通过信号参数来对时差进行辨识。这种情况

下用的最多的时差配对方法是多假设检验方法。假定  $P$  个辐射源, 1 个主站,  $L-1$  个副站, 则各个副站与主站测得的理论时差个数为  $P$ 。此时,  $L-1$  个副站的时差配对组合共有  $P^{L-1}$  个, 当观测站个数或者目标个数增多时, 此时的时差配对组合呈现指数增长的现象, 这在实际处理中是难以接受的。

从 2.2 节的处理算法可以看出, 假定  $x$  轴向和  $y$  轴向的网格搜索点数分别为  $N_x$  和  $N_y$ , 则本文方法仅需计算  $P \cdot (L-1) \cdot N_x \cdot N_y$  个核函数值即可。当观测站或者目标个数增多时, 计算量是线性变化的。

### 3.2 定位精度分析

通常采用目标的定位误差协方差矩阵来度量定位误差, 但工程上常用误差椭圆 (EEP) 来表示定位误差, 主要是为了更为直观地表示定位的不确定性。它不但可以从数值上度量定位精度, 而且可以直观地表示定位不确定性的分布方向。椭圆概率误差是指包括目标在内的概率为  $P = 0.5$  的椭圆参数, 对应的椭圆称为误差椭圆。下面推导协方差矩阵  $P_{X_E}$  的计算公式。

位置  $X_E$  的估计是使式 (12) 最大的估计, 结合核函数, 在目标附近区域内, 可以推出, 使式 (12) 最大的估计也是使式 (16) 取最小值的估计。

$$\Phi(X) = \sum_{m=1}^M [z'_m - H'_m(X)]^T R_m^{-1} [z'_m - H'_m(X)] \quad (16)$$

假定当  $X = \hat{X}_E$  时,  $\Phi(X)$  取最小值, 则  $\Phi(X)$  关于  $X$  的导数在  $X = \hat{X}_E$  处应为零矢量, 有

$$\begin{aligned} \Phi'(X) \big|_{X=\hat{X}_E} = \\ -2 \cdot \sum_{m=1}^M G_m(\hat{X}_E) R_m^{-1} [z'_m - H'_m(\hat{X}_E)] = 0 \end{aligned} \quad (17)$$

式 (17) 中:

$$G_m(\hat{X}_E) = \frac{\partial}{\partial X} H_m'^T(X) \bigg|_{X=\hat{X}_E} \quad (18)$$

当  $X_E = (x_E, y_E)^T$  时, 对  $H'_m(\hat{X}_E)$  作近似处理得  $H'_m(\hat{X}_E) = H'_m(X_E) + G_m^T(\hat{X}_E)(\hat{X}_E - X_E)$  (19)  
假定

$$G_m(\hat{X}_E) \approx G_m(X_E) \quad (20)$$

再考虑到

$$z'_m = H'_m(X_E) + v'_m \quad (21)$$

将式 (19)、式 (20)、式 (21) 代入式 (17), 整理可以得到

$$\sum_{m=1}^M G_m(\hat{X}_E) R_m^{-1} [v'_m - G_m^T(X_E)(\hat{X}_E - X_E)] = 0 \quad (22)$$

即

$$\begin{aligned} \left( \sum_{m=1}^M G_m(X_E) R_m^{-1} G_m^T(X_E) \right) (\hat{X}_E - X_E) = \\ \sum_{m=1}^M G_m(X_E) R_m^{-1} v'_m \end{aligned} \quad (23)$$

对式 (23) 两边分别求均值, 可得

$$E(\hat{X}_E - X_E) = 0 \quad (24)$$

对式 (23) 两边分别求协方差矩阵, 可得

$$\begin{aligned} \left( \sum_{m=1}^M G_m(X_E) R_m^{-1} G_m^T(X_E) \right) P_{X_E} \cdot \\ \left( \sum_{m=1}^M G_m(X_E) R_m^{-1} G_m^T(X_E) \right)^T = \\ \sum_{m=1}^M G_m(X_E) R_m^{-1} R_m R_m^{-1} G_m^T(X_E) \end{aligned} \quad (25)$$

式 (25) 中,  $P_{X_E}$  为定位误差协方差矩阵, 化简式 (25) 可得

$$P_{X_E} = \left( \sum_{m=1}^M G_m(X_E) R_m^{-1} G_m^T(X_E) \right)^{-1} \quad (26)$$

令最终计算得到的定位误差协方差矩阵为

$$P_{X_E} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{21} & p_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & \rho \sigma_x \sigma_y \\ \rho \sigma_x \sigma_y & \sigma_y^2 \end{bmatrix} \quad (27)$$

根据协方差矩阵  $P_{X_E}$  可以确定定位误差椭圆关于  $x, y$  的方程为:

$$\frac{1}{(1-\rho^2)} \left[ \frac{(x-x_E)^2}{\sigma_x^2} + \frac{(y-y_E)^2}{\sigma_y^2} - \frac{2\rho(x-x_E)(y-y_E)}{\sigma_x \sigma_y} \right] = D^2 \quad (28)$$

其中,  $D^2 = -2\ln(1-P)$ ;  $x_E, y_E$  为目标辐射源坐标值。定位误差椭圆的半长轴  $a$ 、半短轴  $b$  和长轴方向  $\theta$  的计算参见文献 [9]。

## 4 仿真与分析

仿真实验 1: 不同时差测量误差时位置信息场分布图

假定观测平台由一个主站 0 和三个副站 1, 2, 3 组成, 观测主站 0 的坐标为 (0, 0, 0)m, 三个副站坐标分别为 (500, 0, 500)m、(0, 0, 500)m 和 (-500, 0, 500)m。两个目标的坐标分别为 (100, 1000, 0)m 和

$(-100,1000,0)\text{m}$ 。两个目标同时辐射信号,观测站测量时差后对时差测量结果不区分,时差测量误差服从均值为0,方差为 $\sigma_t^2$ 的高斯分布,假定目标位置先验信息无法获得,在观测区域内均匀分布,搜索网格大小为 $2\text{ m}\times 2\text{ m}$ ,则当 $\sigma_t$ 分别为10 ns和20 ns时,4站对目标进行一次观测时,目标位置信息场分布如图1所示。

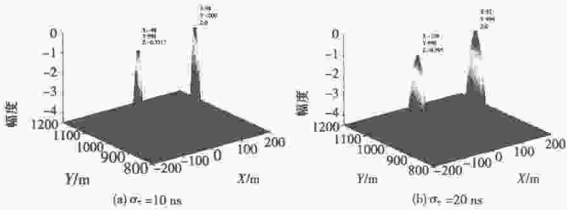


图1 目标位置信息场分布  
Fig. 1 Distribution of target PIF

由图1可以看出,目标位置信息场定位法对多目标测时差定位的有效性,由目标位置信息场分布可以直接估计出目标的位置和数目。由图1(a)可以看出,估计的两个目标位置分别为 $(-98, 998)\text{m}$ 和 $(98, 1000)\text{m}$ ,与真实目标的位置距离分别为2.8 m和2 m;由图1(b)可见看出,估计的两个目标的位置分别为 $(-108, 990)\text{m}$ 和 $(92, 994)\text{m}$ ,与真实目标位置的距离分别为12.8 m和10 m。对比图1(a)和图1(b)还可以看出,当时差测量误差较小时,位置信息场分布图形较瘦,定位精度较高。

仿真实验2:不同时差测量误差下定位椭圆误差分布

仿真条件同仿真实验1,根据式(28)可以得到椭圆定位误差分布如图2所示。

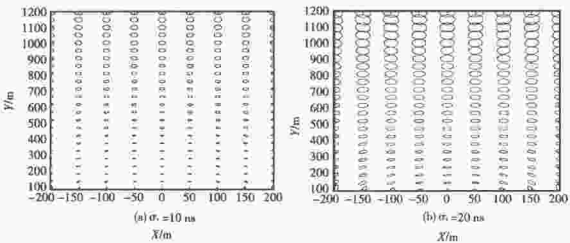


图2 定位椭圆误差分布  
Fig. 2 Distribution of location ellipse error

由图2可以看出,定位椭圆误差分布和观测站布置有关,由于观测站布置关于 $x=0$ 对称,因此,椭圆误差分布也关于 $x=0$ 对称分布。对比图2(a)和图2(b)可以看出,随着时差测量精度的提高,定位椭圆误差的面积也变小,目标的定位精度提高。

5 结论

本文提出了基于时差测量的多目标位置信息场定位法。该方法将位置信息场的相关理论应用于多目标测时差定位中,通过核函数的选取,有效突出了有用时差的贡献,对不可靠或价值小的虚假时差的贡献进行了弱化,从而实现对多目标的定位。该方法避免了时差辨识与时差配对过程,且其运算量与目标个数、观测站个数和搜索网格点个数成正比,当目标个数或者观测站个数增多时不会出现组合爆炸现象。仿真结果表明,该方法可以有效实现对多目标的测时差定位。

参考文献:

[1]Chan Y T, Ho K C. Joint time-scale and TDOA estimation: analysis and fast approximation [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2005, 53(8):2625-2630.

[2]Yang L, Ho K C. An Approximately Efficient TDOA localization algorithm in closed-form for locating multiple disjoint sources with erroneous sensor positions [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2009, 57(12): 4598-4615.

[3]Huang Z, Lu J. Total least squares and equilibration algorithm for range difference location[J]. Electronics Letters, 2004, 40(5):121-122.

[4]Aarabi P, Mavandadi S. Multi-source time delays of arrival estimation using conditional time-frequency histograms [J]. Int J Inf Fusion, 2003, 4(2): 111-122.

[5]李万春,魏平,肖先赐. 一种新的稳健的 TDOA 定位算法 [J]. 电子与信息学报, 2006, 28(11):2019-2021.

[6]HO K C, Chan Y T. Geolocation of a known altitude object from TDOA and FDOA measurements [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1997, 3:33-36.

[7]Yang B, Li J, Zhou Y. The target location study of multi-static radar base on non-cooperative emitter illuminating [C]//Processing of the IEEE International Conference on Information and Automation, 2008:1433-1436.

[8]Luo J Q, Ma X T, Wang J G, et al. Location by position observing information tolerance synthesize [C]//2012 IET International Conference on Information Science and Control Engineering, 2012, 2:1247-1250.

[9]Don J T. Statistical theory of passive location systems [J]. IEEE Transactions on Signal Aerospace and Electronic Systems, 1984, 20(2):183-198.