

文章编号 :1001-2486(2001)02-0075-04

## 扩展时差直方图方法研究\*

徐欣, 卢启中, 周一宇

(国防科技大学电子科学与工程学院, 湖南长沙 410073)

**摘要** :论述了扩展时差直方图的原理和基本方法,以三站时差定位系统为例,介绍了基于参数分割的扩展时差直方图方法的应用,并与传统的时差定位系统信号处理方法进行了比较,指出扩展时差直方图方法实现实时处理的有效途径。

**关键词** :TOA; 时差定位; 扩展时差直方图

**中图分类号** :TN953.7 **文献标识码** :A

## Research on Extended TDOA Histogram Method

XU Xin, LU Qi-zhong, ZHOU Yi-yu

(College of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract** :The principle of extended TDOA histogram method is discussed. An application of multistation TDOA position location based on extended TDOA histogram method is illustrated. A comparison between extended TDOA histogram method and traditional TDOA position location signal processing is listed. A way to approach the real time processing is pointed out.

**Key words** :TOA; TDOA Position Location, extended TDOA histogram

近些年来,随着战场环境的变化和无源探测系统本身的技术进步,无源探测系统的地位越来越高。它最突出的优势在于其隐蔽工作,不易被敌方侦察系统所发现;由于其接收辐射源信号直达波,具有距离优势,可以争取较长的预警时间,从而大大提高了预警能力。无源时差定位系统则是无源探测系统的重要组成部分,是获取辐射源位置信息的有效手段。但在现代战场信号环境下,辐射源密度越来越高,辐射源信号形式日趋复杂,传统的基于脉冲配对、时差配对的方法已不能适应高密度的复杂信号处理的要求。针对时差定位系统信号形式特点,我们对扩展时差直方图方法进行了研究,并讨论了一种适用于实时时差定位系统的基于频率分割的扩展时差直方图方法。

## 1 扩展时差直方图数学原理

脉冲配对直方图统计在数学上可以描述为多站脉冲列之间的互相关。扩展时差直方图方法将脉冲配对一维直方图统计推广到多维直方图统计,各站脉冲集中进行配对。采用这种方法,多站间的脉冲配对是同时进行的,因此脉冲配对完成,时差配对自然也完成。

设存在  $N$  个辐射源,有三个探测站,各站接收到第  $j$  个 ( $j = 1, 2, \dots, N$ ) 辐射源发射的脉冲信号表示为  $P_k^j(t)$ ,  $k = 0, 1, 2$ 。

$$P_0^j(t) = \sum_{i=1}^{M_0^j} \delta(t - \text{TOA}_{0,i}^j) \quad (1)$$

$$P_1^j(t) = \sum_{i=1}^{M_1^j} \delta(t - \text{TOA}_{1,i}^j) \quad (2)$$

$$P_2^j(t) = \sum_{i=1}^{M_2^j} \delta(t - \text{TOA}_{2,i}^j) \quad (3)$$

\* 收稿日期:2000-09-05  
基金项目:国家科技预研基金(99J7.3.1.KG0121)  
作者简介:徐欣(1975-),男,博士生。

$TOA_{k,i}^j$  表示在观测时间内第  $j$  个辐射源发射的第  $i$  个脉冲到达接收机  $k$  的时刻,  $M_k^j$  表示在一定时间内接收机  $k$  输出的视频脉冲个数,  $k=0$  表示主站,  $k=1, 2$  分别表示两个辅站。因此多辐射源情况下三个站接收机输出的脉冲列可以表示为

$$\begin{aligned} P_0(t) &= \sum_{j=1}^N P_0^j(t) = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{M_0^j} \delta(t - TOA_{0,i}^j) \\ P_1(t) &= \sum_{j=1}^N P_1^j(t) = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{M_1^j} \delta(t - (TOA_{0,i}^j + \Delta_1^j)) \\ P_2(t) &= \sum_{j=1}^N P_2^j(t) = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{M_2^j} \delta(t - (TOA_{0,i}^j + \Delta_2^j)) \end{aligned} \quad (4)$$

式中,  $P_0(t)$  表示主站接收到的脉冲列到达时间函数,  $P_1(t)$  表示辅站 1 接收到的脉冲列到达时间函数,  $P_2(t)$  表示辅站 2 接收到的脉冲列到达时间函数,  $\Delta_1^j$  为第  $j$  个辐射源到达主站与辅站 1 之间的时间差,  $\Delta_2^j$  为第  $j$  个辐射源到达主站与辅站 2 之间的时间差。

设观测时间为  $T$ , 直方图统计在数学上描述为主站的脉冲列到达时间函数与辅站的脉冲列到达时间函数的互相关, 即作如下积分运算:

$$\begin{aligned} H(\Delta t_1, \Delta t_2) &= \int_0^T P_0(t) \cdot P_1(t - \Delta t_1) P_2(t - \Delta t_2) dt, \\ & - \frac{L_1}{c} < \Delta t_1 < \frac{L_1}{c}, - \frac{L_2}{c} < \Delta t_2 < \frac{L_2}{c} \end{aligned} \quad (5)$$

$H(\Delta t_1, \Delta t_2)$  表示主站与辅站间的脉冲列扩展时间差的直方图统计量函数,  $L_1$  与  $L_2$  为基线长度。当  $\Delta t_1$  和  $\Delta t_2$  等于脉冲到达主站与各自辅站间的真实时间差时, 直方图统计量函数会出现峰值, 任一时刻不满足要求, 均不能形成峰值。由扩展时差直方图统计量函数可以看出, 扩展时差直方图统计过程不仅完成了传统时差直方图中的脉冲配对过程, 也完成了时差配对过程。

## 2 基于扩展时差直方图的时差定位信号处理流程

在密度复杂信号环境下, 时差定位系统一般都将脉冲配对和时差配对与复杂信号分选相结合进行处理。一种方法是先配对、后分选, 这种方法在密度脉冲环境下运算量较大, 且脉冲配对直方图噪声基底较大, 容易产生虚假时差; 另一种方法是先分选、后配对, 这种方法对信号分选效果的依赖性较大, 如果分选过程不能达到预期的效果, 脉冲配对过程将不能得到时差峰或得到虚假时差峰。基于以上两方面的设计考虑, 可以选择稳定的信号参数作为预分选参数(如载频等), 对每个站接收到的信号进行预分选, 与第一种方案的信号分选不同, 这里预分选的目的不是将独立辐射源脉冲列从交迭脉冲列中分离出来, 仅是对参与脉冲配对的数据进行稀释。脉冲配对之后信号分选原理同第二种方案。图 1 给出了优化的传统时差定位信号处理流程。

扩展时差直方图方法将脉冲配对一维直方图统计推广到多维直方图统计, 从而对各站脉冲集中进行配对。采用这种方法, 多站间的脉冲配对是同时进行的, 因此脉冲配对完成, 时差配对自然也完成。多维直方图统计的工作原理与一维直方图统计的工作原理类似, 只是将直方图统计从一维时差域转化为在多维时差域作统计。由此可见, 集中式脉冲配对方法同时实现了脉冲配对与时差配对, 图 2 给出了基于扩展时差直方图的时差定位信号处理流程。

## 3 扩展时差直方图方法实现与比较

扩展二维直方图统计与一维直方图统计工作原理类似, 只是将直方图统计从一维时差域转化为在多维时差域做统计, 根据扩展时差直方图原理及统计量函数, 其处理流程可用如下逻辑语言描述。

For  $i = 1$  to 主站脉冲数

For  $j = 1$  to 辅站 1 脉冲数

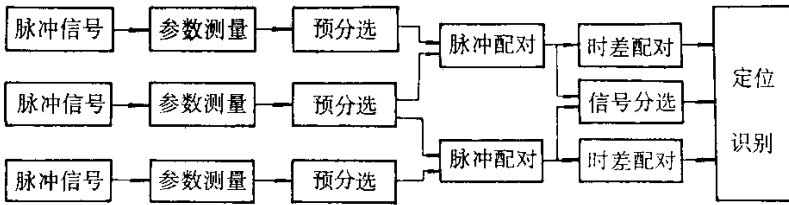


图 1 优化的时差定位信号处理流程

Fig.1 Optimized TDOA position location

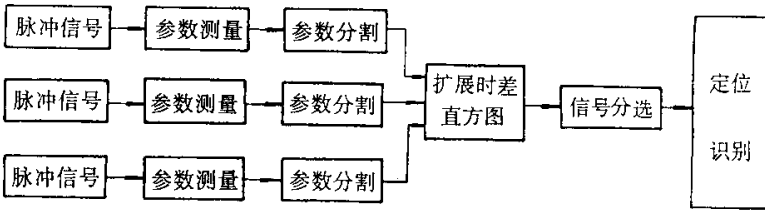


图 2 基于扩展时差直方图的时差定位信号处理流程

Fig.2 TDOA position location based on extended TDOA position histogram

For k = 1 to 辅站 2 脉冲数

$$\Delta t_1 = TOA_i - TOA_j$$

$$\Delta t_2 = TOA_i - TOA_k$$

$$if \left( -\frac{L_1}{c} < \Delta t_1 < \frac{L_1}{c} \text{ and } -\frac{L_2}{c} < \Delta t_2 < \frac{L_2}{c} \right)$$

then 对应于  $(\Delta t_1, \Delta t_2)$  的二维统计直方图单元累计量 + 1

End

End

End

扩展时差直方图的实现可以通过两种方式：一种是软件的方式，对上述逻辑语言描述进行优化，将时差窗加以限制，可大大减小运算量；另一种方式是通过硬件实现，扩展二维时差直方图的处理逻辑非常有利于基于并行流水结构的 VLSI 阵列实现，以达到实时处理的目的。图 3 给出了扩展时差直方图方法的简单仿真结果。其中图 3(a) 为单个辐射源的情况，图 3(b) 为三个辐射源的情况。

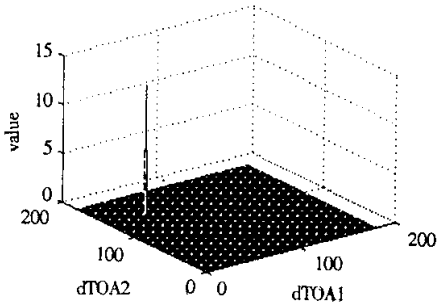


图 3(a) 单个辐射源扩时差直方图

Fig.3(a) Extended TDOA histogram of single emitter

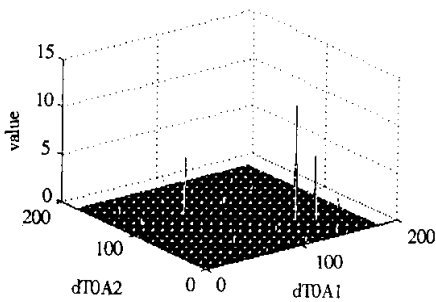


图 3(b) 多个辐射源扩时差直方图

Fig.3(b) Extended TDOA histogram of multiple emitters

与传统的基于脉冲配对、时差配对的时差定位信号处理过程比较，扩展时差直方图统计方法具有以下优点：

(1) 扩展时差直方图处理流程简单,易于实现,且软件具有较好的结构性;

(2) 扩展时差直方图方法克服了时差配对过程由于辐射源参数空间重叠、主站个别脉冲丢失等原因而造成的虚假配对问题,使得处理结果具有较高的可靠性;

(3) 扩展时差直方图处理具有较好的并行流水结构,易于采用 VLSI 阵列实现,以获取处理的实时性能。

然而,扩展时差直方图本身也存在一些目前难以克服的缺点:

(1) 算法运算量较大,在高密度脉冲环境下软件处理难以实时进行;

(2) 算法要求各观测站均能同时收到辐射源信号,若某一辅站不能收到信号时,需采用边缘检测法来提取时差峰,这又增加了处理的复杂性。

#### 4 结论

扩展时差直方图具有结构化和可靠性高等优点,但其运算量以及对各站同时存在信号的约束又制约了算法的应用,在 FPGA 器件容量的限制下,构造适合实际应用的 VLSI 阵列器件难以实现时差值和中间变量的存储。在当前环境下,一个有益的应用是将 VLSI 阵列器件嵌入时差定位系统,仅完成作二维时差直方图的功能,对传统时差定位系统信号处理流程的时差配对过程起指导作用,以提高系统的整体性能。将来一个有意义的研究是扩展时差直方图的 VLSI 器件全功能实现,以取代现有脉冲配对、时差配对处理流程。

#### 参考文献:

- [1] 杨林,周一宇,孙仲康. Passive Location Using TDOA information in Multistations[J], Chinese Journal of Aeronautics(《航空学报》英文版), February 1998, 11(1).
- [2] 杨林,周一宇,孙仲康. TDOA 被动定位方法[J], 国防科技大学学报, 1998(2).
- [3] 林象平. 雷达对抗原理[M]. 西安:西北电讯工程学院出版社, 1985.
- [4] 沈兰荪. 实时系统构成技术[M]. 合肥:中国科技大学出版社, 1993.

