

# 无线定位系统中的异步测距算法研究

邓咸奎, 李 鹏, 尹中南

(桂林电子科技大学 信息与通信学院, 广西 桂林 541004)

**摘要:** 分析了无线定位系统中传统异步测距算法节点时钟漂移对定位精度的影响, 为了减小测距误差, 提出了一种改进的伪对称双边双向测距算法(PSDS-TWR)。该算法采用多请求单确认的测距方法。仿真和分析结果表明, 该方法减小了时钟漂移所带来的测距误差, 提高了定位精度。

**关键词:** 无线定位; 异步测距; 时钟漂移; PSDS-TWR

中图分类号: TN925

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)06-0085-03

## Research of asynchronous ranging algorithm in wireless location system

Deng Xiankui, Li Peng, Yin Zhongnan

(School of Information & Communication, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

**Abstract:** The clock drift of the node which affects the precision in traditional asynchronous wireless ranging algorithm in localization system has been analyzed. In order to reduce ranging error, an improved Pseudo-symmetric double sided two way ranging (PSDS-TWR) algorithm is introduced. Multi request single acknowledgement ranging method is applied in this algorithm, the simulating result shows that this method reduces ranging error which caused by the clock drift and improves positioning accuracy.

**Key words:** wireless location; asynchronous ranging; clock drift; PSDS-TWR

实时定位系统中关键技术之一就是测距技术, 即获得两个不同节点间的距离, 依据不同节点间是否需要时钟同步, 可以将测距技术分为同步测距和异步测距。同步测距需要不同节点间时钟精确同步, 而异步测距时各节点间不需要时钟同步, 降低了实现成本。

为了估计移动节点的位置, 必须准确测量出锚节点与移动节点间的距离。由于不需要时钟同步, 在参考文献[1]、[2]中分别采用了异步测距方法双向测距(TWR)与对称双边双向测距(SDS-TWR)。参考文献[4]、[5]中也分别讨论了这两种方法的主要优点是不需要收发端的时钟同步, 但由于收发端晶体的时钟偏移会产生频率误差, 导致在测量信号无线传播时延(TOF)时产生时间误差, 最终影响测距精度, 出现定位误差。在参考文献[3]中提出了采用非对称双边双向测距方法(ADS-TWR)来降低时钟偏移所引起的定位误差, 该方法虽然降低了时钟偏移引起的定位误差, 但是在实际应用中很难实现。本文提出了改进的伪对称双边双向测距算法(PSDS-TWR), 该方法主要通过增加测距次数来降低时钟偏移的影响, 从而提高定位精度。

### 1 测距方法

#### 1.1 传统异步测距方法

传统的异步测距方法主要有 TWR 与 SDS-TWR 两种。TWR 算法测距过程如图 1 所示。

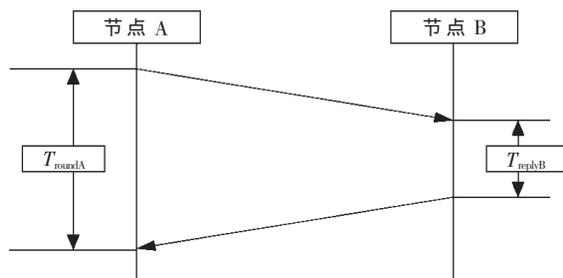


图 1 TWR 测距过程

首先节点 A 向节点 B 发送测距数据并开始计时, 节点 B 收到测距数据后回送一个确认帧给节点 A, 节点 A 收到确认帧立刻停止计时; 而节点 B 在收到节点 A 发过来的测距数据时立刻开始计时, 到节点 B 回送确认帧时立刻停止计时。设节点 A 的计时为  $T_{\text{roundA}}$ , 节点 B 的计时为  $T_{\text{replyB}}$ ,  $T_p$  为测距信号的无线传播时延(TOF)则有:

$$T_{\text{roundA}} = 2T_p + T_{\text{replyB}} \quad (1)$$

## 技术与方法 Technique and Method

则可计算出测距信号的无线传播时延：

$$T_p = \frac{1}{2} (T_{roundA} - T_{replyB}) \quad (2)$$

假设节点 A 的时钟偏移为  $e_A$ , 节点 B 的时钟偏移为  $e_B$ , 则有测距信号的实际空中传播时延为：

$$T'_p = \frac{1}{2} [T_{roundA}(1+e_A) - T_{replyB}(1+e_B)] \quad (3)$$

测距时间误差为：

$$\Delta T_p = T'_p - T_p = \frac{1}{2} (T_{roundA} \times e_A - T_{replyB} \times e_B) \quad (4)$$

将式(1)代入式(4), 则有

$$\Delta T_p = T'_p - T_p = \frac{1}{2} [2T_p \times e_A + T_{replyB} \times (e_A - e_B)] \quad (5)$$

由于  $T_{replyB} \gg T_p$ , 因此近似得到测距时间误差为：

$$\Delta T_p = \frac{1}{2} T_{replyB} \times (e_A - e_B) \quad (6)$$

由上述分析可知, 测距时间误差主要由节点 B 的响应时间和晶体的时钟偏移决定。假如响应时间为 1 ms, 时钟偏移为 80 ppm, 则测距时间误差为 40 ns, 即距离误差为 12 m。

为了减小时钟偏移对测距精度的影响, 在参考文献[5]中采用 SDS-TWR 算法测量两个节点之间的距离, SDS-TWR 算法的测距过程如图 2 所示。

SDS-TWR 即在 TWR 的基础上对节点 B 再进行一次 TWR 测量其与节点 A 的距离, 最后将两个距离的平均值作为节点 A 与 B 之间的距离。同上分析, 则有：

$$T_{roundA} = 2T_p + T_{replyB} \quad (7)$$

$$T_{roundB} = 2T_p + T_{replyA} \quad (8)$$

测距信号无线传播时延为：

$$T_p = \frac{1}{4} [(T_{roundA} - T_{replyA}) + (T_{roundB} - T_{replyB})] \quad (9)$$

受晶体的时钟偏移影响, 测距信号实际的无线传播时延为：

$$T'_p = \frac{1}{4} [(T_{roundA} - T_{replyA})(1+e_A) + (T_{roundB} - T_{replyB})(1+e_B)] \quad (10)$$

可得近似测距时间误差为：

$$\Delta T_p = T'_p - T_p = \frac{1}{4} (T_{replyB} - T_{replyA})(e_A - e_B) \quad (11)$$

比较式(6)与式(11)可知, 就时钟偏移引起的误差而言, SDS-TWR 比 TWR 有了明显的改善。

### 1.2 PSDS-TWR

基于 SDS-TWR 的思想, 提出 PSDS-TWR 测距算法。每次测距时节点 A 首先向节点 B 发送多帧测距数据, 而节点 B 收到多帧测距数据之后向节点 A 回送一个确

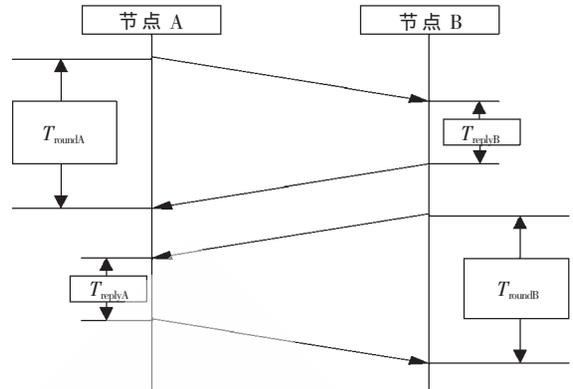


图 2 SDS-TWR 测距过程

认帧; 然后反过来节点 B 向节点 A 发送多帧测距数据, 节点 A 收到多帧测距数据之后向节点 B 回送一个确认帧, 该算法的测距过程如图 3 所示。

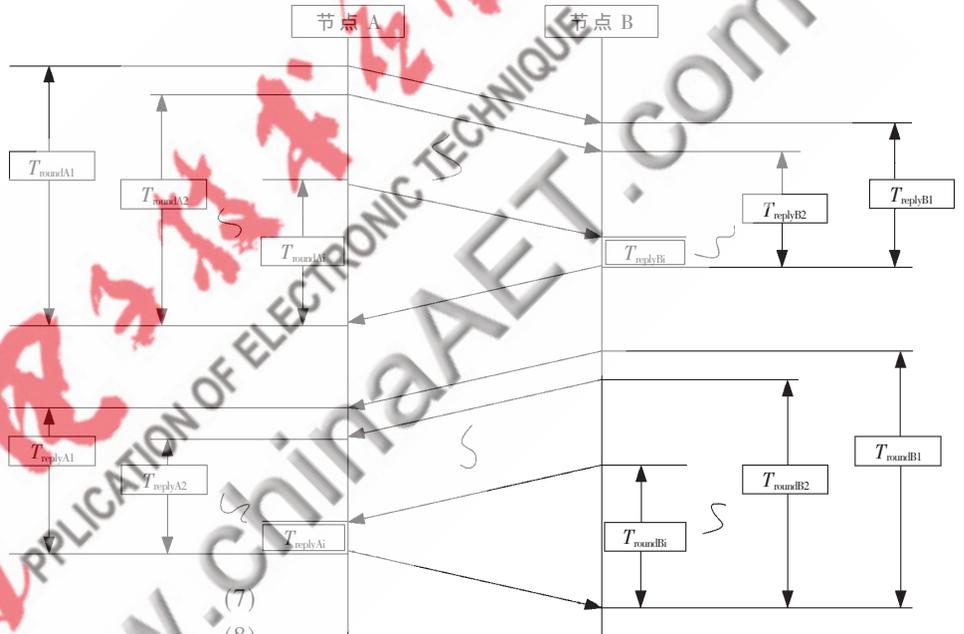


图 3 PSDS-TWR 测距过程

假设每次测距时发送  $i$  个测距数据帧, 对于每一个测距数据帧都有如下分析：

$$T_{roundAi} = 2T_p + T_{replyBi} \quad (12)$$

$$T_{roundBi} = 2T_p + T_{replyAi} \quad (13)$$

第  $i$  次测距信号无线传播时延为：

$$T_{pi} = \frac{1}{4} [(T_{roundAi} - T_{replyAi}) + (T_{roundBi} - T_{replyBi})] \quad (14)$$

由于时钟偏移影响, 第  $i$  次测距信号的实际无线传播时延为：

$$T'_{pi} = \frac{1}{4} [(T_{roundAi} - T_{replyAi})(1+e_A) + (T_{roundBi} - T_{replyBi})(1+e_B)] \quad (15)$$

则每次测距时间误差为：

$$\Delta T_{pi} = T'_{pi} - T_{pi} \quad (16)$$

将这  $i$  次测距过程取平均, 则有实际测距时间误差为：

## 技术与方法 Technique and Method

$$\Delta T_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_{pi}' - T_{pi}) = \frac{1}{4n} (e_A - e_B) \sum_{i=1}^n (T_{replyB} - T_{replyAi}) \quad (17)$$

如果不同节点的响应时间相同,则上述误差不存在,但实际上不同节点的响应时间不可能相同,经实验发现,在硬件环境大致相同的情况下两个不同节点的响应时间服从相同的正态分布,故在式(17)中 $(T_{replyB} - T_{replyAi})$ 会呈现零均值分布,所以对比式(11)与式(17)可知,随着 $n$ 的增大,PSDS-TWR可以不断的减小时钟偏移所引起的误差。

## 2 性能仿真

通过以上分析可知,SDS-TWR由于时钟偏移引起的测距时间误差为TWR的一半,而PSDS-TWR随着每次发送测距数据次数的增加可以明显地改善由于时钟偏移所引起的测距时间误差。对比式(17)与式(11),当 $n=1$ 时,PSDS-TWR与SDS-TWR等效,随着 $n$ 的增大,PSDS-TWR能够很好地减小时钟偏移的影响。

对于式(6),假定 $T_{replyB}$ 为节点的响应时间 $T_{reply}=1$  ms, $e_A - e_B$ 为时钟偏移;式(11)与式(17)中, $e_A - e_B$ 为时钟偏移。以时钟偏移为横坐标,测距绝对误差为纵坐标,可以得到三种算法的测距误差曲线如图4所示。

由图4可知,对于时钟偏移的影响而言,三种算法中TWR性能最差,当 $n=1$ 时,PSDS-TWR与SDS-TWR性能一样,随着 $n$ 的增大,PSDS-TWR的性能会明显地提高,测距误差越来越小,从而定位精度也越来越高。

定位系统中应用异步测距不需要精确的时钟同步,但是晶体的时钟偏移会导致定位误差。为了降低时钟偏移的影响,本文提出了PSDS-TWR测距方法,通过与传统的异步测距方法TWR和SDS-TWR进行比较得出,该方法对于时钟偏移的影响有了明显的改善,而且可以根据不同定位精度选择合适的 $n$ 以达到系统的要求。

## 参考文献

- [1] HACH R. Symmetric double sided two way ranging[R]. IEEE 802.15 documents, 15-05-0334-00-004a, June

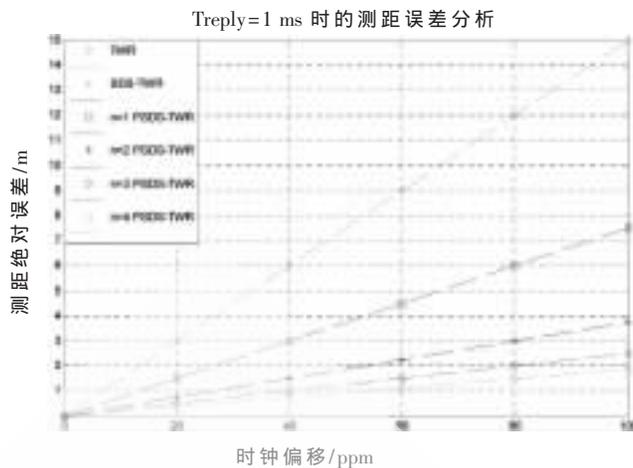


图4 三种算法的测距误差曲线

2005.

- [2] ROBERTS R. Ranging subcommittee final report[R]. IEEE 802.15 documents, 15-04-0581-07-004a, Nov. 2004.

- [3] JIAN Y, LEUNG V. An asymmetric double sided TWR for crystal offset[C]. International Symposium on Signals, Systems and Electronics (ISSSE'07), 2007(7): 525-528.

- [4] LAMPE J. DBO-CSS PHY Presentation for 802.15.4a[R]. IEEE 802.15 documents, 15-05-0126-00-004a, March 07, 2005.

- [5] YOONSEOK N, HYUNGSOO L, JAEYOUNG K, et al. Two-way ranging algorithms using estimated frequency offsets in WPAN and WBAN[C]. Third 2008 International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology, 2008.

(收稿日期:2010-10-21)

## 作者简介:

邓咸奎,男,1984年生,硕士研究生,主要研究方向:无线通信及定位技术。