

文章编号: 1671-6833(2023)03-0050-06

一种基于加权质心的 TOF 与 TDOA 联合定位算法

朱春华^{1 2 3}, 杨锦民^{1 2 3}

(1.河南工业大学 粮食信息处理与控制教育部重点实验室,河南 郑州 450001; 2.河南工业大学 信息科学与工程学院,河南 郑州 450001; 3.河南工业大学 河南省粮食光电探测和控制重点实验室,河南 郑州 450001)

摘要:在大噪声环境或者标签位于基站附近等定位场景中, UWB TDOA 定位模式下的定位算法存在精度低且发散等问题。针对此问题, 引入飞行时间差(TOF) 测距和加权质心算法, 构建了一种新的 TOF 与到达时间差(TDOA) 联合定位算法。首先, 利用 TOF 测距, 得到 TDOA 双曲线定位方程, 与传统的 TOA 测距相比, 所提算法不需要严格的时间同步; 其次, 为解决大噪声环境多个定位圆不相交而无法定位的问题, 引入 TOF 加权质心算法得到标签的初始粗定位置, 并代入 TDOA 双曲线方程组; 最后, 采用 Taylor 迭代思想计算出标签坐标。仿真实验对比分析其他方法和所提算法在不同噪声环境和不同标签位置下的定位精度、算法复杂度以及标签定位散点图, 结果表明: 与 TOF、TOF-TDOA、TOA-TDOA 算法相比, 本文算法能够在高噪声环境下提供较高的定位精度和定位范围; 当噪声方差等于 0.75 时, 本文算法定位精度分别提升了 30.1%、25.6% 和 25.8%; 不管标签远离双曲渐近线或者靠近基站, 本文算法均能够提供稳定的定位性能, 且满足 UWB 实时定位的需求。

关键词:超宽带(UWB); 加权质心; 飞行时间差(TOF); 到达时间差(TDOA); Taylor 迭代

中图分类号: TN925

文献标志码: A

doi: 10.13705/j.issn.1671-6833.2023.03.004

在超宽带(UWB) 定位系统中, 亟待解决的问题是提高测距精度和测量范围以满足具体应用场景的需要。在视距(LOS) 信号场景, 目前常采用的 UWB 定位模式一般基于飞行时间差(TOF) ^[1-2]、到达时间(TOA) ^[3-4] 或到达时间差(TDOA) ^[5-6], 通过测量的距离构建非线性方程, 采用 Fang 算法^[5]、Chan 算法^[6] 或 Taylor 算法^[7-13] 求解非线性方程组, 得到标签坐标。其中 Taylor 迭代定位算法具有精度高、计算收敛快等优点, 但该方法需要一个初始粗定位置, 因此, 测距与 Taylor 迭代联合定位成为目前 UWB 定位技术的研究热点。姜志鹏等^[6] 利用 TOA 测距得到 TDOA 双曲线方程, 然后采用 Chan-Taylor 算法求解标签坐标; 由于传统的 TOA 需要严格的时钟同步, 因此, Liu 等^[7]、高健等^[8] 分别通过一次和三次 TOF 测距得到 TDOA 双曲线方程, 提高了定位精度, 尤其是文献[8]的定位精度比文献[6]的定位精度提升了 20%。由于 TDOA 双曲线的性质, 靠近双曲

线渐近线的点误差小, 反之误差大^[13], 因此王磊等^[9] 采用全质心-TDOA 联合定位, 该方法利用了质心算法对距离误差敏感度小的优势, 改善了部分初始粗定位置的坐标; 任晓奎等^[14] 提出一种加权质心定位算法用于 WSN 网络中的 RSSI 测距; 祖明浩等^[15] 对质心定位引入修正因子从而改善了粗定位精度。然而上述质心定位算法都忽略了多个圆不相交的情况, 因此, 本文将在 TOF 测距的基础上, 引入加权质心算法计算标签的初始值, 并采用 TDOA Taylor 迭代得到标签的最终位置。与现有 UWB 定位算法相比, 本文所提方法避免了传统 TOA 测距需要的严格时钟同步, 而且能够处理标签位于某个基站边缘或者大噪声环境带来的定位坐标求解问题。

1 算法描述

TOF-LOS 定位方程为

收稿日期: 2022-11-09; 修订日期: 2022-12-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61871176); 河南省高等学校重点科研项目应用研究计划(22A510013); 河南工业大学创新基金资助项目(2020ZKCJ02)

作者简介: 朱春华(1976—), 女, 河南南阳人, 河南工业大学教授, 博士, 博士生导师, 主要从事宽带无线通信系统及技术、智能信号与信息处理技术、无线传感器网络技术及应用、新型探测技术与异常识别等研究, E-mail: zhuchunhua@haut.edu.cn。

引用本文: 朱春华, 杨锦民. 一种基于加权质心的 TOF 与 TDOA 联合定位算法[J]. 郑州大学学报(工学版), 2023, 44(3): 50-55. (ZHU C H, YANG J M. A joint positioning algorithm of TOF and TDOA based on weighted centroid[J]. Journal of Zhengzhou University (Engineering Science), 2023, 44(3): 50-55.)

$$(x_n - x)^2 + (y_n - y)^2 = R_n^2. \quad (1)$$

式中: x_n 为第 n 个基站的横坐标; y_n 为第 n 个基站的纵坐标; R_n 为第 n 个基站到标签的距离。为提高测距精度, 本文采用 TOF 双向测距法

测距时, 标签向基站发送测距请求信号, 到达基站反应一段时间, 再给标签反馈测距信号, 最终得到标签到基站的测距时间为

$$T = \frac{T_1 - T_2}{2}. \quad (2)$$

式中: T_1 为总的测距时间; T_2 为基站反应时间。则标签到基站的距离为

$$R_n = C \times T. \quad (3)$$

式中: C 为光速。

已知 R_n , 求解式(1)常采用质心算法。图1给出了三基站 TOF 质心定位示意图, 以每一个基站为圆心, 以基站到标签距离为半径可以得到3个圆。理论上3个圆的交点就是所求的标签坐标, 但是噪声的存在导致3个圆不一定会相交于一点。图1中圆A、圆B、圆C共有6个交点, 其中交点E、F、G覆盖区域的质心记为点O, 该质心坐标等于E、F、G三点坐标的横坐标和纵坐标的平均值。在上述计算过程中, 圆B和圆C有2个交点, 而圆A到交点E的距离最小, 从而可确定用于计算质心的交点E, 同理确定交点F和G。

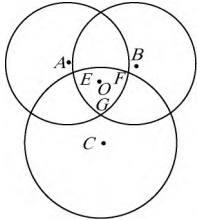


图1 TOF 质心定位

Figure 1 TOF centroid location

当噪声较为严重时, 会出现3个圆无法两两相交的情况, 如图2所示。图2中圆C与另外2个圆没有交点, 此时需采用加权质心算法, 将3个圆的圆心依次连接, 在 $\triangle ABC$ 的AB边上选取一点D, 使其满足

$$\frac{AD}{DB} = \frac{R_A}{R_B}. \quad (4)$$

式中: R_A 、 R_B 分别为圆A、圆B的半径。同理可得E、F的坐标位置。由此可以构建 $\triangle DEF$, 其质心即为标签坐标O。

以O点作为标签粗定位置, 对TDOA双曲线方程组进行Taylor级数展开, 保留展开式前两项, 从而将非线性方程组转变为线性方程组, 其最优解即为

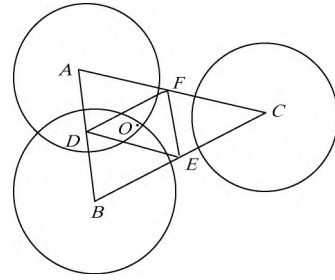


图2 TOF 加权质心定位

Figure 2 TOF weighted centroid location

标签坐标。假设标签粗定位置O点坐标为 (x_l, y_l) , 经过Taylor算法迭代求得的最优标签坐标为 (x_o, y_o) , 它们满足关系式:

$$\begin{cases} x_o = x_l + \Delta x; \\ y_o = y_l + \Delta y. \end{cases} \quad (5)$$

式中: Δx 和 Δy 分别为横纵方向的误差。

构建以第1个基站为参考的双曲线方程:

$$\sqrt{(x_n - x)^2 + (y_n - y)^2} + \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2} = R_{n,1}. \quad (6)$$

在 (x_l, y_l) 处将式(6)进行泰勒级数展开, 可得

$$\sqrt{(x_n - x)^2 + (y_n - y)^2} + \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2} + \left(\frac{x_1 - x_l}{R_1} - \frac{x_n - x_l}{R_n} \right) \Delta x + \left(\frac{y_1 - y_l}{R_1} - \frac{y_n - y_l}{R_n} \right) \Delta y = R_n - R_1 = R_{n,1}. \quad (7)$$

式(7)用矩阵形式描述为

$$\mathbf{Z} - \mathbf{A}\boldsymbol{\varphi} = \mathbf{r}. \quad (8)$$

式中: \mathbf{r} 为误差矢量; \mathbf{Z} 为关于 $R_{n,i}$ 的标量矩阵; \mathbf{A} 为关于 R_n 和 x_l 的标量矩阵; $\boldsymbol{\varphi}$ 为位置偏差。采用最小二乘法可求得位置偏差:

$$\boldsymbol{\varphi} = [\Delta x, \Delta y]^T = (\mathbf{A}^T \mathbf{Q}^{-1} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{Q}^{-1} \mathbf{Z}. \quad (9)$$

其中 \mathbf{Q} 为 TDOA 测量误差的协方差矩阵, 每次递归求解时目标节点不断更新:

$$\begin{cases} x_{l+1} = x_l + \Delta x; \\ y_{l+1} = y_l + \Delta y. \end{cases} \quad (10)$$

设置阈值 ε , 满足

$$|\Delta x| + |\Delta y| \leq \varepsilon. \quad (11)$$

当误差满足式(11)时, 停止迭代, 输出最终的标签估计位置。

2 仿真实验

在LOS条件下选择4个UWB基站, 坐标分别为A(0,0)、B(100,0)、C(0,100)、D(100,100), 其示意图如图3所示。标签真实坐标为 (x, y) , 标签接收来自各个基站的信号, 信道噪声服从 $N(0, \sigma^2)$ 。为验证所提联合定位算法的可

行性,仿真实验对比分析了基于 TOF 的加权质心定位算法(记为 TOF)、Qin 等^[4]提出的 TDOA 定位算法(记为 TOA-TDOA)、Zhang 等^[5]提出的 TOF-TDOA 联合定位算法(记为 TOF-TDOA),评估指标包括均方根误差(RMSE)、算法复杂度、定位散点图等。

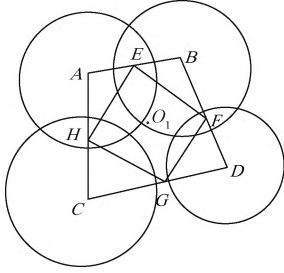


图3 四基站加权质心定位

Figure 3 Four base station weighted centroid location

(1) 基于 TOF 的加权质心定位算法(TOF)。利用 TOF 测距,得到标签到基站的距离 R_n ,代入式(1)所示的 TOF-LOS 定位方程,可得定位方程组:

$$\begin{cases} (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 = R_1^2; \\ (x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 = R_2^2; \\ (x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 = R_3^2; \\ (x_4 - x)^2 + (y_4 - y)^2 = R_4^2. \end{cases} \quad (12)$$

式中: R_1, R_2, R_3, R_4 分别为基站 A、B、C、D 到标签的距离。

以每一个基站为圆心,基站到标签距离为半径可以得到 4 个圆。理论上 4 个圆的交点就是所求的标签坐标。当存在噪声时,这 4 个圆不一定会相交于一点(图 3)。将圆心 A、B、C、D 依次连接,得到四边形 ABCD,在边 AB 上选取一点 E,使其满足

$$\frac{AE}{EB} = \frac{R_1}{R_2}. \quad (13)$$

由此可得 E 的坐标位置。同理可得 F、G、H 的坐标位置。基于此构建新的四边形 EFGH,其质心 O_1 即为标签坐标。 O_1 记为 (x_{o1}, y_{o1}) ,则

$$\begin{cases} x_o = \frac{x_e + x_f + x_g + x_h}{4}; \\ y_o = \frac{y_e + y_f + y_g + y_h}{4}. \end{cases} \quad (14)$$

式中: x_e, x_f, x_g, x_h 分别为 E、F、G、H 的横坐标; y_e, y_f, y_g, y_h 分别为 E、F、G、H 的纵坐标。

(2) TOA-TDOA 定位算法(TOA-TDOA)^[4]。TDOA 定位算法利用 TOA 测距,得到基站到标签的

距离 r_i ;以基站 A 作为参考基站,将基站 B、C、D 到标签的距离与基站 A 到标签的距离作差,得到 TDOA 双曲线方程组:

$$\begin{cases} \sqrt{(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2} - \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2} = r_2 - r_1; \\ \sqrt{(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2} - \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2} = r_3 - r_1; \\ \sqrt{(x_4 - x)^2 + (y_4 - y)^2} - \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2} = r_4 - r_1. \end{cases} \quad (15)$$

式中: r_1, r_2, r_3, r_4 分别为基站 A、B、C、D 到标签的距离。

将式(15)平方并展开可得

$$x_{n,1}x + y_{n,1}y + r_{n,1}r_1 = \frac{1}{2}(K_n - K_1 - r_{n,1}^2). \quad (16)$$

式中: $x_{n,1} = x_n - x_1; y_{n,1} = y_n - y_1; r_{n,1} = r_n - r_1; K_n = x_n^2 + y_n^2$ 。

将式(16)转换为矩阵形式可得

$$HV = L. \quad (17)$$

式中: $H = [x \ y \ r_1]^T$; V 为与 $x_{n,1}, y_{n,1}, r_{n,1}$ 有关的标量矩阵; L 为与 $r_{n,1}$ 和 K_n 有关的标量矩阵。

采用 Chan 算法^[16]求解式(17),即采用 2 次加权最小二乘法(WLS)求解,得到标签的初始粗定位,记为 (x_h, y_h) ,其中第 1 次 WLS 可得

$$H = (V^T \varphi^{-1} V)^{-1} V \varphi^{-1} L. \quad (18)$$

式中: φ 为测量误差的协方差矩阵。

第 2 次 WLS 可得

$$H' = (V^T W^{-1} V)^{-1} V W^{-1} L'. \quad (19)$$

式中: $V' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}^T$; $W = 4B \cdot \text{cov}(H)$; $L' = [(H_1 - x_1)^2 \ (H_2 - y_1)^2 \ H_3^2]^T$; B 为 L' 元素的对角矩阵。

则 (x_h, y_h) 为

$$\begin{bmatrix} x_h \\ y_h \end{bmatrix} = \pm \sqrt{H'} + \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix}. \quad (20)$$

将该坐标代入式(7)进行 Taylor 迭代得到最终的标签坐标位置 O_2 ,记为 (x_{o2}, y_{o2}) 。

(3) TOF-TDOA 定位算法(TOF-TDOA)^[5]。通过 TOF 测距得到基站到标签的距离,再以基站 A 作为参考基站, B、C、D 基站到标签的距离与 A 基站到标签的距离作差,得到式(15)所示的 TDOA 双曲线方程组,最后采用 Chan-Taylor 算法求解得到最终的标签坐标位置 O_3 ,记为 (x_{o3}, y_{o3}) 。

根据以上 3 种算法的标签最终估计位置 (x_{oi}, y_{oi}) ,

$y_{oi})$ $i=1, 2, 3$, 可计算定位标签位置估计均方根误差 $RMSE$:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(x - x_o)^2 + (y - y_o)^2]} \quad (21)$$

式中: n 为实验仿真次数。

2.1 噪声对定位性能的影响

为验证本文算法在大噪声环境下的性能,将噪声方差分别设置为 0.10、0.25、0.50、0.75 和 1.00, 标签真实坐标为 (87, 35), 实验仿真 1 000 次, 迭代阈值设置为 0.001。图 4 为本文算法和 TOF、TOA-TDOA^[4]、TOF-TDOA^[5] 的定位均方根误差 $RMSE$ 。

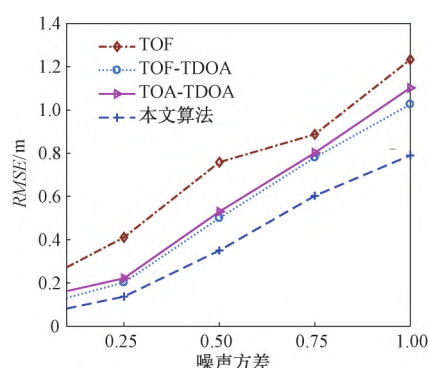


图 4 不同噪声下的定位精度

Figure 4 Positioning accuracy with different noises

由图 4 可知, 4 种算法的定位精度随噪声方差成正比变化, 且本文算法定位精度最高。当噪声方差等于 0.75 时, 本文算法的定位精度比 TOF、TOF-TDOA 和 TOA-TDOA 分别提升了 30.1%、25.6% 和 25.8%, 此时, TOF、TOF-TDOA 和 TOA-TDOA 算法的定位误差已经超过 0.6 m。

2.2 标签位置对定位性能的影响

将噪声方差设置为 0.4, 随机生成 5 个标签位置: (50, 49)、(90, 99)、(89, 72)、(3, 12)、(68, 63), 其中 (50, 49)、(68, 63) 为远离双曲渐近线的标签, (90, 99)、(89, 72)、(3, 12) 为靠近基站的标签。理论上, 在上述标签位置定位性能会受到限制。与 TOF、TOF-TDOA 和 TOA-TDOA 相比, 本文算法的 $RMSE$ 如图 5 所示。本文算法与 TOF-TDOA、TOA-TDOA 的单次定位时间如图 6 所示。

由图 5 可知, 不管标签远离双曲渐近线还是靠近基站, 本文算法均能够提供稳定的定位性能, 其定位均方误差曲线随标签位置变化的波动最小。当标签位于基站边缘时, 与 TOF-TDOA 相比, 本文算法的定位精度平均提高 26%, 而 TOA-TDOA 的定位误差已经超过 1.6 m。当标签远离

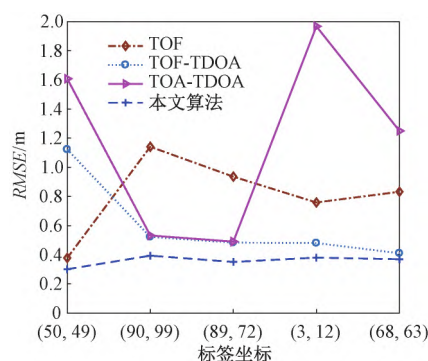


图 5 不同标签坐标对应的定位精度

Figure 5 Positioning accuracy with different tag coordinates

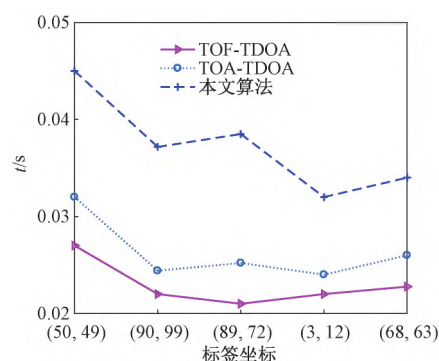


图 6 定位算法运行时间对比分析

Figure 6 Positioning time of the proposed algorithm

双曲线渐近线时, 本文算法的定位误差在 0.4 m 以内。

由图 6 可知, 在算法复杂度方面, 本文算法与 TOA-TDOA、TOF-TDOA 的迭代次数相同, 但本文算法的平均定位时间为 0.036 s, 比 TOF-TDOA 增加了 0.013 s, 这是由于增加初始标签坐标计算导致的, 但是仍满足 UWB 室内实时定位的需求。

2.3 标签定位散点图分析

由上述实验可知, 本文算法的优势是能够在高噪声环境以及标签位于基站附近或者偏离双曲线渐近线的位置保证较好的定位性能。

为进一步验证本文所提算法估计的标签位置分布情况, 本文算法与 TOF、TOF-TDOA、TOA-TDOA 的标签位置估计散点图如图 7 所示。实验中选取偏离双曲线渐近线位置的标签, 其真实位置为 (60, 35), 噪声方差为 0.8, 实验仿真 200 次。

由图 7 可知, 在大噪声条件下, 本文算法计算得到的标签位置坐标基本分布在同一区域, 围绕真实坐标呈现较好的聚集性, 而 TOF、TOF-TDOA、TOA-TDOA 标签定位坐标分布较为发散, 有部分定位坐标已经严重失真。

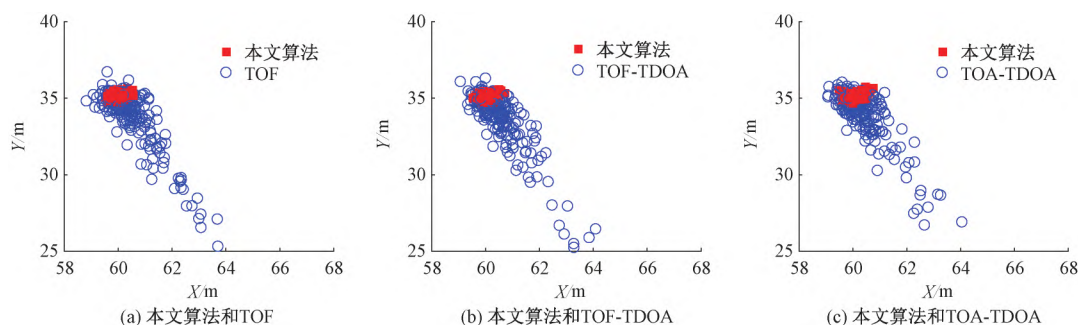


图7 本文所提算法与其他方法的标签定位散点图对比分析

Figure 7 Positioning tag scatter of the proposed algorithm compared with others

3 结论

(1) 针对大噪声环境或者标签位于基站边缘的情况,以不同基站为圆心的定位圆两两不相交导致的 TOF 非线性定位方程无法求解的问题,引入加权质心算法求解标签初始位置。

(2) 以标签初始位置为定位方程解的初值,采用 Taylor 迭代求解标签最终坐标。仿真实验表明,本文算法对噪声强度变化并不敏感,其定位精度保持在 0.4 m 以内;与其他算法相比,本文算法能够有效改善定位精度,尤其是在大噪声环境或者标签位于基站边缘或偏离双曲线渐近线的场景。

参考文献:

- [1] MOON S, YOUN W. A novel movable UWB localization system using UAVs[J]. IEEE Access, 2022, 10: 41303-41312.
- [2] JANG B J. Principles and trends of UWB positioning technology[J]. The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, 2022, 33(1): 1-11.
- [3] ZHANG S, YANG J, ZHANG L, et al. A research on UWB precise positioning algorithm using TOA algorithm of two-way ranging[J]. Journal of Aeronautics, Astronautics and Aviation, 2022, 54(4): 375-391.
- [4] QIN X F, XIA B, DING T, et al. An improved Cuckoo search localization algorithm for UWB sensor networks[J]. Wireless Networks, 2021, 27(1): 527-535.
- [5] ZHANG F Y, YANG L, LIU Y H, et al. Design and implementation of real-time localization system (RTLS) based on UWB and TDoA algorithm[J]. Sensors, 2022, 22(12): 1-23.
- [6] 姜志鹏, 陈正宇, 刘影, 等. TOA 定位算法非线性优化问题研究[J]. 传感技术学报, 2015, 28(11): 1716-1719.
- JIANG Z P, CHEN Z Y, LIU Y, et al. Study on nonlinear optimization for TOA location algorithm[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2015, 28(11): 1716-1719.
- [7] LIU C, BAI F, WU C. A joint positioning algorithm of TDOA and TOF based on ultra-wideband[J]. Journal of Physics, 2021, 2031(1): 1-8.
- [8] 高健, 陆阳, 李庆巧, 等. 采用三次通信的 TOF 与 TDOA 联合定位算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2020, 34(3): 66-73.
- GAO J, LU Y, LI Q Q, et al. TOF and TDOA joint positioning algorithm using three communications[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2020, 34(3): 66-73.
- [9] 王磊, 李鹏涛, 贾宗璞. 基于全质心-Taylor 的 UWB 室内定位算法[J]. 传感器与微系统, 2017, 36(6): 146-149.
- WANG L, LI P T, JIA Z P. UWB indoor localization algorithm based on full centroid and Taylor[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2017, 36(6): 146-149.
- [10] WANG N, YUAN X L, MA L X, et al. Research on indoor positioning technology based on UWB[C]//2020 Chinese Control and Decision Conference (CCDC). Piscataway: IEEE, 2020: 2317-2322.
- [11] 陈小斯, 沈重, 周群, 等. 基于 TDOA 算法的差分 UWB 室内定位系统研究[J]. 现代电子技术, 2018, 41(6): 45-49.
- CHEN X S, SHEN C, ZHOU Q, et al. Research on differential UWB indoor positioning system based on TDOA algorithm[J]. Modern Electronics Technique, 2018, 41(6): 45-49.
- [12] 张勇, 高光辉, 郭一楠, 等. 融合差分进化和 Taylor 级数的超宽带定位解算方法[J]. 郑州大学学报(工学版), 2020, 41(1): 70-74, 82.
- ZHANG Y, GAO G H, GUO Y N, et al. Ultra-wideband positioning solution method based on differential evolution and Taylor series[J]. Journal of Zhengzhou University (Engineering Science), 2020, 41(1): 70-74, 82.
- [13] MAZRAANI R, SAEZ M, GOVONI L, et al. Experimental results of a combined TDOA/TOF technique for UWB based localization systems[C]//2017 IEEE In-

- ternational Conference on Communications Workshops (ICC Workshops). Piscataway: IEEE, 2017: 1043–1048.
- [14] 任晓奎, 于百川, 李岩. 基于 RSSI 的加权质心定位算法的改进[J]. 传感器与微系统, 2021, 40(11): 150–153.
- REN X K, YU B C, LI Y. Improvement of weighted centroid localization algorithm based on RSSI[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2021, 40(11): 150–153.
- [15] 祖明浩, 荣宪伟. 基于内三角形质心修正——Taylor 的 UWB 室内定位算法[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2018, 34(6): 42–47.
- ZU M H, RONG X W. UWB indoor localization algorithm based on inner triangle centroid correction and Taylor[J]. Natural Science Journal of Harbin Normal University, 2018, 34(6): 42–47.
- [16] 郑飞, 郑继禹. 基于 TDOA 的 CHAN 算法在 UWB 系统 LOS 和 NLOS 环境中的应用研究[J]. 电子技术应用, 2007, 33(11): 110–113, 132.
- ZHENG F, ZHENG J Y. Application research of TDOA based CHAN algorithm under the circumstances of LOS and NLOS in UWB system[J]. Application of Electronic Technique, 2007, 33(11): 110–113, 132.

A Joint Positioning Algorithm of TOF and TDOA Based on Weighted Centroid

ZHU Chunhua^{1 2 3}, YANG Jinmin^{1 2 3}

(1. Key Laboratory of Grain Information Processing and Control of Ministry of Education, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China; 2. College of Information Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China; 3. Henan Key Laboratory of Grain Photoelectric Detection and Control, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Aiming at the problem of low accuracy and positioning divergence in the UWB TDOA positioning mode with the positioning scenarios such as severe noise environments or tags near the base stations, a new TOF and TDOA joint positioning method was constructed by introducing TOF ranging and a weighted centroid algorithm. Firstly, using TOF ranging, the TDOA hyperbolic positioning equation was obtained, which did not require strict time synchronization compared with the traditional TOA ranging. In order to solve the problem that multiple positioning circles did not intersect and hence the positioning equation has no solution in severe noise environment, the TOF weighted centroid was introduced to obtain the tag initial rough position, which would be substituted into the TDOA hyperbolic equation. Finally, the Taylor iteration was adapted to calculate the tag final coordinates. Besides, the positioning accuracy, complexity and tag positioning scatter plot were analyzed and compared with the existing methods by simulation experiment, the corresponding simulation results have shown that the proposed positioning algorithm could provide the higher positioning accuracy and the larger positioning range even in severe noise environment, for the noise of variance 0.75, the positioning accuracy of the proposed algorithm was improved by 30.1%, 25.6% and 25.8%, respectively, compared with the existing TOF, TOF-TDOA and TOA-TDOA. For the tags away from hyperbolic asymptotes or near the base stations, the proposed algorithm could provide more stable positioning performance and meet the needs of real-time positioning in UWB systems.

Keywords: ultra-wideband (UWB); weighted centroid; time-of-flight (TOF); time-different-of-arrival (TDOA); Taylor iteration