

文章编号: 2095-4980(2017)05-0752-04

基于 Fang 算法的 TDOA 室内定位技术

陈思翰

(中国移动通信集团 广东有限公司, 广东 广州 510000)

摘要: 传统基于全球定位系统(GPS)的定位技术应用, 已在室外环境下为人们提供了许多便利。随着近年来人们生活水平的不断提高, 大众对定位的诉求已不仅限于室外, 在智慧商场、企业人员智能管理、校园智能管理等场景, 要求对室内用户进行定位监测, 而传统的 GPS 定位精度有限, 在室内已无法应用。目前室内定位常用的技术有红外线、蓝牙、Wi-Fi 以及基于室内移动网络的无线定位等, 无线定位则是其中的热点。本文介绍了一种基于室内分布式基站, 运用 Fang 算法实现到达时间差(TDOA)定位的技术研究, 并对其定位精确度进行了探索。

关键词: 到达时间差(TDOA); Fang 算法; 室内定位; 无线定位

中图分类号: TN957.42

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201705.0752

TDOA indoor location technology based on Fang algorithm

CHEN Sihan

(Guangdong Co., Ltd, China Mobile Group, Guangzhou Guangdong 510000, China)

Abstract: The traditional positioning system based on Global Positioning System(GPS) has provided a lot of convenience for people in the outdoor environment. With the continuous improvement of people's living standards in recent years, the indoor location is more and more popular in intelligent shopping malls and intelligent campus. The traditional GPS location accuracy is limited, so it cannot be used indoors. At present, indoor location technology mainly includes infrared, Bluetooth, Wi-Fi and wireless location which relates to indoor mobile network. Among them, wireless location technology is a research hotspot. A research of indoor Time Difference Of Arrival(TDOA) location technology based on Fang algorithm is introduced, and its location accuracy is analyzed.

Keywords: Time Difference Of Arrival; Fang algorithm; indoor location; wireless location

目前, 无线定位技术主要有如下几类, 电波到达角(Angle of Arrival, AOA)定位、接收信号强度(Received Signal Strength Indication, RSSI)定位以及 TDOA 定位^[1]。其中, TDOA 定位应用相对广泛。其优势在于: 传感器与被定位目标之间不需要保持时钟同步。在无线定位技术中, 通常传感器和目标之间时钟不可能达到完全同步, 而 TDOA 定位只要求传感器之间保持时钟同步, 如此便能克服此不利因素^[2]。同时, 在室内分布式基站中, 用射频头端微型射频拉远单元(pico Remote Radio Unit, pRRU)作为时延传感器, 由于时钟源相同, 天然便满足时钟同步的要求。因此, 利用 TDOA 在室内进行定位计算, 理论上对定位系统组成的要求并不复杂, 而复用分布式基站进行 TDOA 定位, 更具备时钟同步的优势^[3]。近年来随着室内分布式基站的兴起, 室内 TDOA 定位也得到了广泛的发展, 如参考文献[3-5]。依托于室内定位技术的发展, 可以实现室内高精度导航、室内定点业务推送、大数据分析、人流疏导及客流分析、智能安防管理等新型业务, 具有广阔的前景。TDOA 技术用于蜂窝移动网络的定位, 国内外已经有很多基于室外宏基站的应用, 如参考文献[1-2]。

1 基于 Fang 算法的 TDOA 定位

1.1 TDOA 定位基本原理

TDOA 的原理如下, 当一个手机发出信号, 附近接收到信号的基站如果有 3 个或更多, 而且能够分别测量出信号的到达时间, 再计算出这些到达时间两两之间的差值, 那么手机必然位于这些时间差值所对应的

以两两基站为焦点的位置双曲线上^[4]。那么，可以根据 2 条双曲线的交点便能确定出手机位置，如图 1 所示。

双曲线型定位(TDOA)可以分为 2 个阶段。第 1 个阶段是时间差的测量或估计，利用不同基站接收机间的到达时差(TDOA)可以计算或估计^[5]。第 2 个阶段，将 TDOA 值进一步反算为基站间的距离差测量值，可以得到一组非线性双曲线方程。并在第 2 阶段利用有效的算法得到这些非线性双曲线方程的明确解。而这些方程得到的解就是信源的定位估计^[6]。

简单地说，一旦取得了多个 TDOA 测量值，就可得到多组手机和不同基站之间的距离差，从而构成一个非线性的双曲线方程组，求解该方程组就能得到移动台的估计位置。对于该非线性方程组有多种算法求解，如 Fang 算法、Chan 算法、Taylor 级数法等，本文讨论和运用的是 Fang 算法。

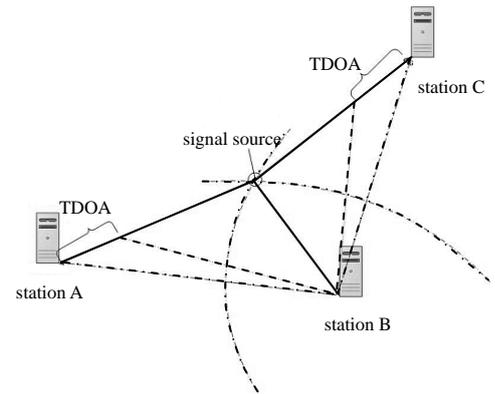


Fig.1 TDOA illustrative diagram
图 1 TDOA 原理图

1.2 Fang 算法

Fang 算法利用 4 个传感器所得到的 TDOA 测量值来直接估算标签的位置，算法计算量小，在视距(Line Of Sight, LOS)条件下，有着很高的定位精确度^[7]。该算法具体过程：在三维直角坐标系中，设定位目标的位置坐标为(x,y,z)，主传感器的位置坐标为(x₁,y₁,z₁)，从传感器的位置坐标为(x_i,y_i,z_i)，定位目标与从传感器和与主传感器的距离差为 R_{i,1}，其中 i=2,3,4。由此可以得到：

$$R_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} \tag{1}$$

$$R_i^2 = K_i - 2x_i x - 2y_i y - 2z_i z + x^2 + y^2 + z^2 \tag{2}$$

式中 K_i = x_i² + y_i² + z_i²，故有

$$R_{i,1} = ct_{i,1} = R_i - R_1 \tag{3}$$

式中：c 为电磁波传播速度；t_{i,1} 为 TDOA 的测量值。又由于

$$R_i^2 = (R_{i,1} + R_1)^2 = R_{i,1}^2 + 2R_{i,1}R_1 + R_1^2 = K_i - 2x_i x - 2y_i y - 2z_i z + x^2 + y^2 + z^2 \tag{4}$$

若令式(2)中 i=1，得

$$R_1^2 = K_1 - 2x_1 x - 2y_1 y - 2z_1 z + x^2 + y^2 + z^2 \tag{5}$$

式(4)~式(5)可得，

$$R_{i,1}^2 + 2R_{i,1}R_1 = K_i - 2x_{i,1}x - 2y_{i,1}y - 2z_{i,1}z - K_1 \tag{6}$$

式中：x_{i,1} = x_i - x₁，y_{i,1} = y_i - y₁，z_{i,1} = z_i - z₁。

如果把 x,y,z 看做未知数，那么式(6)则为线性方程。通过 3 个从传感器可以列 3 个方程，从而求解方程组可以得到目标位置 x,y,z 的值。设定主传感器的位置为(0,0,0)，从传感器的位置分别为(x₂,0,0),(x₃,y₃,0),(x₄,y₄,z₄)。此时可以由式(6)得到

$$\begin{cases} -2R_{2,1}R_1 = R_{2,1}^2 - x_2^2 + 2x_2x \\ -2R_{3,1}R_1 = R_{3,1}^2 - (x_3^2 + y_3^2) + 2(x_3x + y_3y) \\ -2R_{4,1}R_1 = R_{4,1}^2 - (x_4^2 + y_4^2 + z_4^2) + 2(x_4x + y_4y + z_4z) \end{cases} \tag{7}$$

消去 R₁，可以化简为

$$\begin{cases} y = g \times x + h \\ z = k \times x + l \end{cases} \tag{8}$$

$$\begin{cases} g = (R_{3,1}x_2 / R_{2,1} - x_2) / y_3 \\ h = (x_3^2 + y_3^2 - R_{3,1}^2 + R_{3,1}R_{2,1}(1 - (x_2 / R_{2,1})^2)) / 2y_4 \\ k = (R_{4,1}x_2y_3 - R_{2,1}x_4y_3 - R_{3,1}x_2y_4 + R_{3,1}x_3y_4) / (R_{2,1}y_3z_4) \\ l = R_{2,1}R_{3,1}^2y_3 - R_{4,1}^2R_{3,1}y_3 - R_{4,1}x_2^2y_3 + R_{2,1}(x_4^2 + y_4^2 + z_4^2)y_3 \end{cases} \tag{9}$$

将式(8)代入式(7)可以得到

$$d \times x^2 + e \times x + f = 0 \tag{10}$$

$$\begin{cases} d = 4R_{2,1}^2 + 4R_{2,1}^2g^2 + 4R_{2,1}^2k^2 - 4x_2^2 \\ e = 8R_{2,1}^2gh + 8R_{2,1}^2lk - 4x_2(R_{2,1}^2 - x_2^2) \\ f = 4R_{2,1}^2h^2 + 4R_{2,1}^2l^2 - (R_{2,1}^2 - x_2^2)^2 \end{cases} \quad (11)$$

从式(10)可以解出 x 的值, 再把 x 代入式(7)求得 y, z 的值。故只要知道主从传感器的位置 (x_i, y_i, z_i) 以及相应的 TDOA 值 $t_{i,1}$, 最终就可得到用户的位置坐标^[8]。

2 基于 Fang 算法的室内 TDOA 定位仿真

2.1 实验误差模型拟合

由于 Fang 算法的输入包含到达时间(Time of Arrival, TOA)值, 并通过 TOA 可以得到 TDOA, 而实际传感器得到的时延总是存在一定的误差, 故仿真时必须考虑传感器时延的误差模型。本文时延参数的获取基于室内分布式基站的射频头端 pRRU, 通过实测的大量数据拟合, 得到其误差模型。

在 4pRRU 组网下, 总共进行了随机 30 个点的精确度测试, 每个点测试 200 次, 故每个点有一个真实的坐标和 200 个定位坐标。所以每个点可以得到 800 个 TOA 误差数据, 30 个点总共可以得到 24 000 个 TOA 误差测试数据。测试模型和测试场景如图 2 所示。

将 24 000 个时延误差点做曲线拟合, TOA 误差数据符合如下分布规律: 曲线是以时延差处理的均值, 方差的正态分布的密度曲线, 均值是 -1.7 ns , 标准差是 16.6 ns , 如图 3 所示。图 3 中, 横坐标轴 τ 表示时延误差, 单位为 ns , 粒度为 1 ns ; 纵坐标轴表示该时延误差的点数在样本总数中的占比, 即概率。

2.2 定位精确度仿真

上节介绍的时延误差模型源自 4 个 pRRU 的独立的实测统计, 再进行数据拟合。在时延参数中考虑该误差分布, 并结合 Fang 算法, 可以进一步对多 pRRU 覆盖下的定位精确度进行仿真评估, 仿真实现流程如图 4。

在大型的交通枢纽或者商场, 分布式基站单层建筑的 pRRU 个数通常在 10 个以上(取决于实际面积), 小型建筑一般不会有室内定位需求。故误差精确度的仿真选定了 3x3 pRRU 的组网布局, 更符合实际。

仿真模型为 3x3 组网, pRRU 间距 20 m, 高度 15 m。在整个范围内生成 100 个随机点, 计算真实 TOA 结果后, 再增加一个正态分布的误差(均值 -1.7 ns , 标准差是 16.6 ns) 后, 以此 TOA 作为输入, 得到 100 次定位结果, 然后计算平均精确度。仿真选点和定位算法计算位置对比见图 5(图中 9 个位置不变的较大圆点为 pRRU, 较小散点为仿真选点/定位位置)。

仿真统计结果表明: 基于室内分布式皮站的 Fang 算法 TDOA 定位, 在考虑时延误差的情况下, 定位平均精确度为 3.1 m , 定位精确度最小值 0.4 m , 最大值 6.1 m 。

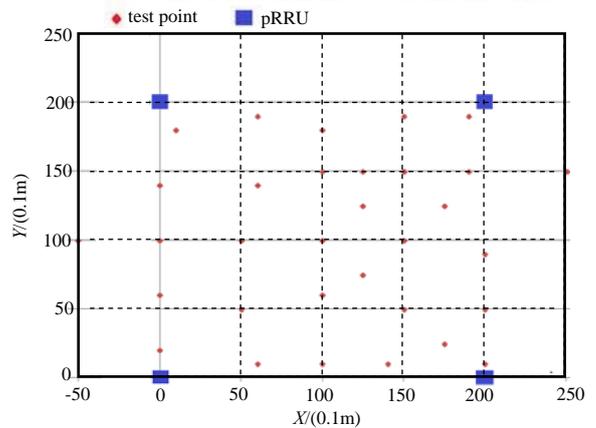
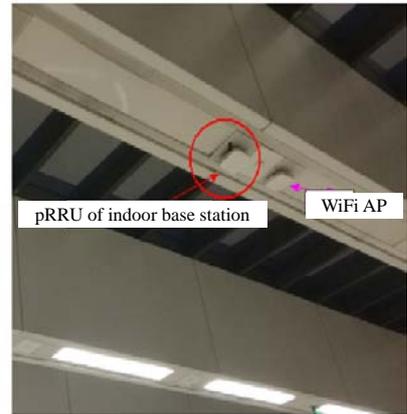


Fig.2 Time delay statistical error model test for pRRU
图 2 pRRU 时延统计误差模型测试

average value $\bar{\tau} = -1.7 \text{ ns}$, standard deviation = 16.6 ns

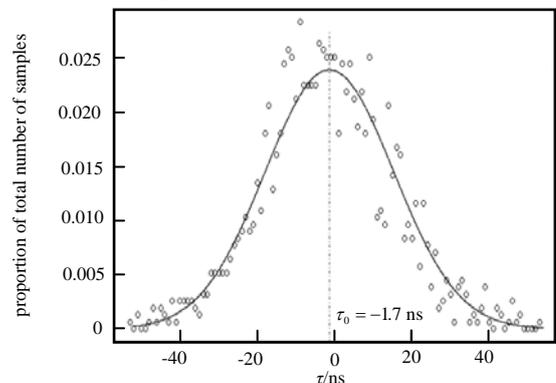


Fig.3 Time delay statistical error for pRRU
图 3 pRRU 时延误差统计分布

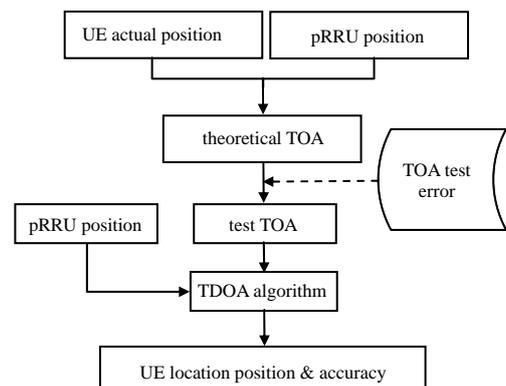


Fig.4 Simulation process of TDOA location accuracy
图 4 TDOA 定位精确度仿真流程图

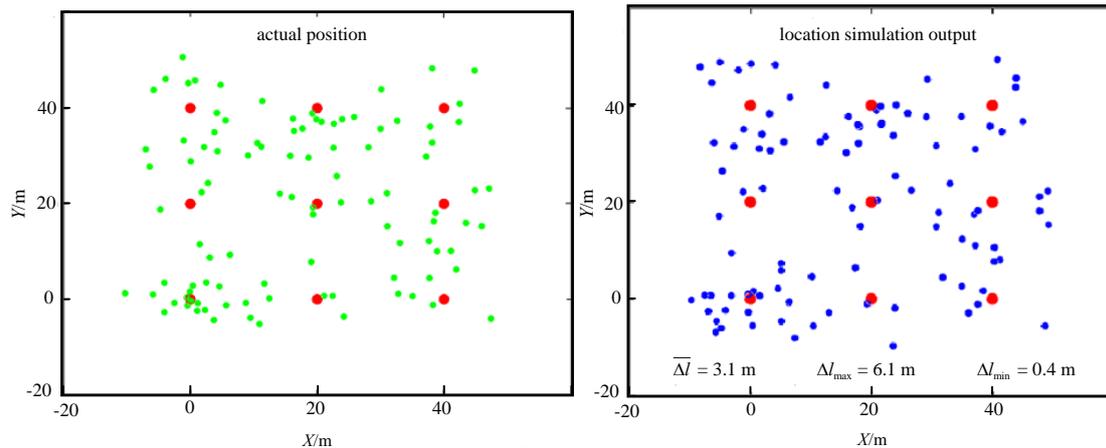


Fig.5 Simulation results
图5 仿真结果对比图

3 结论

本文介绍了 TDOA 实现定位的基本原理，并对用于定位计算的 Fang 算法做了理论推导介绍。最后引出了基于室内分布式基站，运用 Fang 算法实现定位，并对定位精确度进行了仿真分析。最后得出在 3×3 pRRU 组网，pRRU 间距 20 m，离地高度 15 m 条件下，定位精确度平均值为 3.1 m，最小值 0.4 m，最大值 6.1 m。

参考文献：

- [1] BAY H, FERRARI V, GOOL L V. Wide-base line stereo matching with line segments[C]// Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Diego:[s.n.], 2005:329–336.
- [2] THACKER N A, RIOCREUX P A, YATES R B. Assessing the completeness properties of pairwise geometric histograms[J]. Image and Vision Computing, 1995, 13(5):423–429.
- [3] 傅丹, 王超, 徐一丹, 等. 一种直线段匹配的新方法[J]. 国防科技大学学报, 2008, 30(1):115–120. (FU Dan, WANG Chao, XU Yidan, et al. A new algorithm of matching of line segments[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2008, 30(1):115–120.)
- [4] WOO D M, PARK D C. Stereo line matching based on the combination of geometric and intensity data[C]// IEEE 24th International Symposium on Computer and Information Sciences. Guzelyurt, Cyprus:IEEE, 2009:581–585.
- [5] WANG Z H, LIU H M, WU F C. HLD: a robust descriptor for line matching[J]. Pattern Recognition, 2009, 42(5):941–953.
- [6] 王鲲鹏, 尚洋, 于起峰. 影像匹配定位中的直线倾角直方图不变矩法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2009, 21(3):389–393. (WANG Kunpeng, SHANG Yang, YU Qifeng. An image matching approach based on the invariant moment of slope angle histogram[J]. Journal of Computer-aided Design & Computer Graphics, 2009, 21(3):389–393.)
- [7] 聂烜, 赵荣椿, 康宝生. 基于边缘几何特征的图像精确匹配方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004, 16(12):1668–1675. (NIE Xuan, ZHAO Rongchun, KANG Baosheng. A precise image registration method by utilizing the geometric feature of edges[J]. Journal of Computer-aided Design & Computer Graphics, 2004, 16(12):1668–1675.)
- [8] 吕文涛, 吕高焕. SIFT 算法在雷达图像匹配中的应用[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2010, 8(4):388–392. (LYU Wentao, LYU Gaohuan. Application of scale invariant feature transform to SAR image matching[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2010, 8(4):388–392.)

作者简介：



陈思翰(1982–)，男，海南省东方市人，硕士，主要研究方向为移动通信网络室内覆盖规划及方案实施。email:383009608@qq.com.