

8-13-2020

Investigation of Hybrid Positioning Algorithm Based on WiFi

Fucheng Yin

Engineering Research Center of Internet of Things Technology Applications Ministry of Education, Wuxi 214122, China;

Wu Dong

Engineering Research Center of Internet of Things Technology Applications Ministry of Education, Wuxi 214122, China;

Wang Yan

Engineering Research Center of Internet of Things Technology Applications Ministry of Education, Wuxi 214122, China;

Zhicheng Ji

Engineering Research Center of Internet of Things Technology Applications Ministry of Education, Wuxi 214122, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Investigation of Hybrid Positioning Algorithm Based on WiFi

Abstract

Abstract: TDOA(Time Difference of Arrival) and AOA(Angel of Arrival) methods require additional sensing mechanisms and have poor positioning accuracy used in WiFi environment, so a novel TDOAAOE hybrid positioning algorithm was proposed. *The proposed algorithm used the AOE (Angle of Emission) information instead of AOA information to estimate the position of a WiFi-based mobile terminal. In this method, access points emitted signals with angle information encoded in beacon packets through directional antennas; which was rotated by motors. WiFi-based mobile devices estimated angles of the access points by receiving and decoding these beacon packets, which calculated the position themselves. This method integrated time-difference idea of TDOA method to decrease the angular measuring error without any additional sensors.* Simulation results indicate that the proposed hybrid algorithm performs much better than TDOA and AOA method in terms of positioning accuracy and deployment costs.

Keywords

WiFi, TDOA algorithm, AOE algorithm, positioning technique

Recommended Citation

Yin Fucheng, Wu Dong, Wang Yan, Ji Zhicheng. Investigation of Hybrid Positioning Algorithm Based on WiFi[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(12): 2879-2886.

基于 WiFi 的混合定位算法研究

殷富成, 吴栋, 王艳, 纪志成

(江南大学 物联网技术应用教育部工程研究中心, 无锡 214122)

摘要: 针对在 WiFi 环境下使用 TDOA(Time Difference of Arrival)和 AOA(Time of Arrival)算法对移动终端进行定位时需要添加额外硬件且定位精度不够高的问题, 提出了一种 TDOAAOE 混合定位算法。该方法不使用信号到达角而使用信号发出角 AOE(Angle of Emission, AOE)信息进行定位, 通过电机带动有向天线旋转, 并将有向天线的角度信息编码到信标中, 移动终端获取信标后解码即可完成定位, 以此代替了测量信号角度的传感器。同时, 该方法将 TDOA 时间差的思想融合到了 AOE 测量中, 减小了角度测量误差。实验结果表明, TDOAAOE 混合定位算法与 TDOA、AOA 算法相比, 具有更好的定位性能。

关键词: WiFi ; TDOA 算法; AOE 算法; 定位技术

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2016) 12-2879-08

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201612001

Investigation of Hybrid Positioning Algorithm Based on WiFi

Yin Fucheng, Wu Dong, Wang Yan, Ji Zhicheng

(Engineering Research Center of Internet of Things Technology Applications Ministry of Education, Wuxi 214122, China)

Abstract: TDOA(Time Difference of Arrival) and AOA(Angel of Arrival) methods require additional sensing mechanisms and have poor positioning accuracy used in WiFi environment, so a novel TDOAAOE hybrid positioning algorithm was proposed. *The proposed algorithm used the AOE (Angle of Emission) information instead of AOA information to estimate the position of a WiFi-based mobile terminal. In this method, access points emitted signals with angle information encoded in beacon packets through directional antennas; which was rotated by motors. WiFi-based mobile devices estimated angles of the access points by receiving and decoding these beacon packets, which calculated the position themselves. This method integrated time-difference idea of TDOA method to decrease the angular measuring error without any additional sensors.* Simulation results indicate that the proposed hybrid algorithm performs much better than TDOA and AOA method in terms of positioning accuracy and deployment costs.

Keywords: WiFi; TDOA algorithm; AOE algorithm; positioning technique

引言

近年来, 随着传感器技术、通信技术和普适计

算机地发展以及智能终端地普及, 基于位置的服务 (Location-Based Services, LBS) 受到了人们越来越多地关注^[1], 并被广泛地应用于导航、目标识别和个人事务处理等多个领域。位置获取是 LBS 的基础, LBS 的提升需要定位精度高、可行性强、定位时延小且部署成本低的定位技术支撑。

目前应用最为广泛的定位系统是全球定位系统(Global Positioning System, GPS)。GPS 通过 4



收稿日期: 2016-05-04 修回日期: 2016-06-10;
基金项目: 国家自然科学基金(61572238), 国家高技术研究发展计划(2014AA041505), 江苏省杰出青年基金(BK20160001);
作者简介: 殷富成(1992-), 男, 江苏泗阳, 硕士生, 研究方向为控制工程及其应用。

<http://www.china-simulation.com>

• 2879 •

个或 4 个以上 GPS 卫星接收到的信号时间差完成对移动终端的位置估计,可以提供全天候、高精度、全球覆盖的定位服务。但是在复杂的城市和室内环境下, GPS 信号容易受到干扰和屏蔽,在这些情况下 GPS 的定位效果并不理想。因此,在很多场景下要使用其他无线定位技术进行定位^[2]。

目前被广泛研究的定位技术包括无线传感器网络(Wireless Sensing Networks, WSN)^[3]、红外线^[4]、超声波^[4]、射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)^[5]、超宽带(Ultra Wide Band, UWB)^[6]、ZigBee^[7]和无线保真(Wireless Fidelity, WiFi)^[8]定位技术等。其中 WiFi 定位技术,由于其通信标准成熟、信号覆盖广泛、可定位移动终端数量多和无需额外硬件等优点,被认为是解决 GPS 定位在城市和室内环境定位效果差这一问题的关键^[9]。

用于无线信号定位中最常见的方法有信号到达时间 TOA (Time of Arrival)、信号到达时间差 TDOA、信号到达角 AOA 和接收信号强度 RSS (Received Signal Strength)等方法。在 WIFI 定位中,基于 RSS 位置指纹^[8,10-11]的方法是最为常用的,位置指纹法可以获得较高的定位精度。然而位置指纹法在离线训练阶段需要耗费大量人力物力构建电子地图数据库,计算开销大,并且当环境发生变化时定位精度降低,定位稳定性较差。使用 TOA 测量值进行定位要更为稳定^[12],但需要 AP (Access Points)端和移动终端 MT (Mobile Terminal)的时钟同步,对所有需要定位的移动终端进行时钟校准是不现实的。TDOA 方法通过测量多个 AP 接收到移动终端信号的到达时间差值实现位置估计,无需校准 AP 和移动终端的时钟,而是将移动终端与 AP 之间的时间同步问题转化为了 AP 与 AP 之间的时间同步问题。但 WiFi 信号的传播速度为光速,细微的时间误差将造成极大的测距误差。因此,为了得到较精确的位置估计,必须要对 AP 端进行硬件改造以获得精确的测量时间。AOA 定位算法使用角度信息估计移动终端的位置,不需要添加高精度

的时间测量硬件。但 AOA 定位算法需要在移动终端或者在 AP 端添加具有角度测量功能的传感器,这同样会产生巨大的硬件开销。

针对上述方法的缺陷,结合 AOA 定位算法和 TDOA 定位算法的优点,本文提出了一种基于 WiFi 的 TDOAAOE 混合定位算法。本文提出的混合定位算法同样使用角度信息进行定位。与传统的 AOA 定位算法不同,该混合定位算法不测量信号到达角,而是通过电机带动有向天线转动,并将有向天线的信号发出角信息编码到信标中随信号发出,移动终端接收到相应的 AP 信号后对信标解码即可得到 AOE 信息,从而完成对自身的位置估计。这极大的节省了定位的硬件开销。同时,本文的混合定位算法融入了 TDOA 时间差的思想,有效减小了角度测量误差。实验证明,本文提出的 TDOAAOE 混合定位算法的定位性能优于传统的 TDOA 算法和 AOA 算法。

1 经典定位估计模型分析

1.1 TDOA 定位算法

如图 1, TDOA 定位算法的定位估计要经过两个步骤,先是进行时间估计,得到移动终端到两个 AP 之间的信号到达时间差测量值 TDOA,然后根据 TDOA 的双曲线模型建立方程组求解。

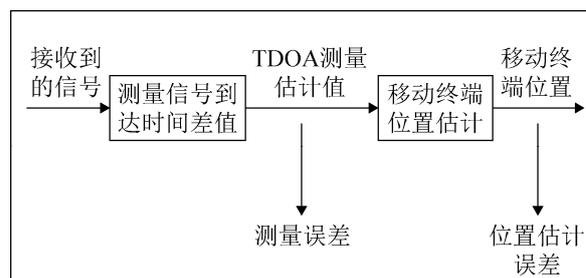


图 1 TDOA 定位过程

TDOA 定位算法通过信号到达时间差值计算移动终端与 AP 之间的距离差,而不是通过信号到达的绝对时间来估计移动终端的位置,这就将 AP 与移动终端之间的时间同步问题转化为了 AP 与 AP 之间的时间同步问题,极大地降低了定位系统

的同步要求。TDOA 算法的定位模型如图 2 所示, 因为移动终端到两个坐标已知 AP 之间的距离差为常值, 所以移动终端位于以两个 AP 为焦点的双曲线上, 由多组 TDOA 测量值所确定的双曲线的交点即为移动终端的位置。

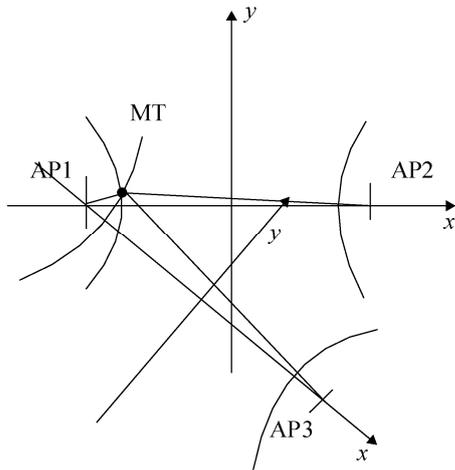


图 2 TDOA 定位原理图

假设待定位移动终端的坐标为 (x, y) , 第 $i (i=1, 2, 3)$ 个 AP 的坐标为 (x_i, y_i) , 则由图 2 可知:

$$d_i^2 = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 \quad (1)$$

将(1)式展开, 有:

$$d_i^2 = x^2 + y^2 - 2xx_i - 2yy_i + k_i \quad (2)$$

式中: $k_i = x_i^2 + y_i^2$, 令 $d_{i,1}$ 表示待定位移动终端与第 $i (i \neq 1)$ 个 AP 和与第 1 个 AP 之间的距离差, 则:

$$d_{i,1} = d_i - d_1 = ct_{i,1} \quad (3)$$

式中: c 为 WiFi 信号在空气中传播的速度, 和光速相等; $t_{i,1}$ 为移动终端与第 $i (i \neq 1)$ 个 AP 和移动终端与第一个 AP 之间的信号传播时间差。由公式(1)和(3)可以得到方程(4):

$$d_{i,1} = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} - \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} \quad (4)$$

将(4)式线性化:

$$d_i^2 = (d_{i,1} + d_1)^2 = d_{i,1}^2 + 2d_{i,1}d_1 + d_1^2 \quad (5)$$

将(1)式带入(5)中得到:

$$d_{i,1}^2 + 2d_{i,1}d_1 + d_1^2 = x^2 - 2xx_i + y^2 - 2yy_i + k_i \quad (6)$$

又因为:

$$d_1^2 = x^2 + y^2 - 2xx_1 - 2yy_1 + k_1 \quad (7)$$

所以通过公式(6)、(7)可得:

$$d_{i,1}^2 + 2d_{i,1}d_1 = -2xx_i - 2yy_i + 2xx_1 + 2yy_1 + k_i - k_1 \quad (8)$$

式(8)可变形为:

$$2(x_i - x_1)x + 2(y_i - y_1)y = k_i - k_1 - 2d_{i,1}d_1 - d_{i,1}^2 \quad (9)$$

其中: x, y 为未知数。

式(9)可以写为 $\mathbf{Y} = \mathbf{A}\mathbf{X}$

其中:

$$\mathbf{A} = 2 \begin{bmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} k_2 - k_1 - d_{2,1}^2 - 2d_{2,1}d_1 \\ k_3 - k_1 - d_{3,1}^2 - 2d_{3,1}d_1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (10)$$

因为 \mathbf{A} 为可逆矩阵, 所以可以通过最小二乘法计算出方程的唯一解为 $\mathbf{X} = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{Y}$, 从而计算出了待定位移动终端的坐标, 完成位置估计。

TDOA 定位算法已经在 GPS 和蜂窝网等定位系统地应用中取得了很好的效果^[13]。TDOA 定位算法不需要移动终端和 AP 之间时间同步, 在视距环境下有不错的定位精度^[14], 但是仍然需要 AP 与 AP 之间时间同步。在 WiFi 环境下, 要获得精确的 TDOA 测量值, 需要添加能提供高精度时钟的硬件设备, 并且 TDOA 定位算法在非视距环境下性能急剧下降, 具有一定缺陷^[15]。

1.2 AOA 定位算法

AOA 定位算法需要在 AP 端或移动终端添加测量信号角度的传感器, 以获得移动终端或者 AP 发出的信号入射角, 构成从 AP 到移动终端的径向连接线, 也称作测位线, 利用移动终端与两个或者两个以上 AP 的角度关系, 按 AOA 定位算法所确定多条测位线的交点即为待测移动终端的估计位置^[16], 如图 3 所示。

假设待定位移动终端的坐标为 (x, y) , 通过测量, 移动终端相对于 AP1 和 AP2 的角度分别为 θ_1 和 θ_2 。AP1 和 AP2 的坐标已知, 分别为 (x_1, y_1) 和

(x_2, y_2) ，由 AOA 定位算法原理，求解出两条测位线的交点，即为待测目标的估计位置。移动终端相对于两个 AP 的角度 θ_i 已知，由三角形正切公式知

$$\tan \theta_i = \frac{y - y_i}{x - x_i} \quad (i=1, 2) \quad (11)$$

令 r_i 为移动终端相对 AP 的实际角度，则

$$r_i = \theta_i + e_i = \arctan \frac{y - y_i}{x - x_i} + e_i \quad (12)$$

将(12)式写成矩阵形式

$$\mathbf{r}_{AOA} = \boldsymbol{\theta}_{AOA} + \mathbf{e}_{AOA} \quad (13)$$

其中 \mathbf{r}_{AOA} 是由实际角度组成的向量， \mathbf{e}_{AOA} 是角度测量误差向量， $\boldsymbol{\theta}_{AOA}$ 是 AP 和移动终端之间的测量角度。这些向量可以写作：

$$\mathbf{r}_{AOA} = [r_1 \quad r_2]^T \quad (14)$$

$$\mathbf{e}_{AOA} = [e_1 \quad e_2]^T \quad (15)$$

$$\mathbf{A}_{AOA} = \begin{bmatrix} \arctan \frac{y - y_1}{x - x_1} \\ \arctan \frac{y - y_2}{x - x_2} \end{bmatrix} \quad (16)$$

从而可以求解出待测移动终端的位置为：

$$\begin{cases} x = \frac{y_2 - y_1 - x_2 \tan \theta_2 + x_1 \tan \theta_1}{\tan \theta_1 - \tan \theta_2} \\ y = \frac{-y_2 \tan \theta_1 + y_1 \tan \theta_2 - (x_1 - x_2) \tan \theta_1 \tan \theta_2}{\tan \theta_2 - \tan \theta_1} \end{cases} \quad (17)$$

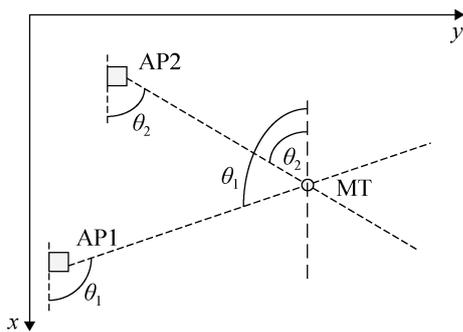


图 3 AOA 定位原理图

AOA 定位算法的优点是只需要两个 AP 的参与就能实现对移动终端的位置估计，由于两条测位线只会相交于一点，该定位算法不会存在移动终端位置模糊的问题，且算法简单易于实现，不需要时间同步功能。但是 AOA 定位算法需要安装测量信

号到达角度的传感器，这将产生极大的硬件开销，而且在移动终端距离 AP 较远时，测量角度的微小误差将造成很大的定位误差。同时信号接收角度地测量还会受到由多径、非视距和其他环境因素造成的无线信号波扭曲的影响，因此该定位算法的实用性不强^[7]。

2 TDOAOE 定位算法

传统的信号到达角定位算法中，有两种使用到达角度估计位置的方法：AP 测量信号到达角和移动终端测量信号到达角。使用移动终端测量信号到达角的方法，需要在移动终端上添加可以测量信号角度的特殊天线。在所有的移动终端上添加这样的硬件是极为困难的，并且这牺牲了 WiFi 定位系统无需添加额外硬件、利用广泛存在的 WiFi 信号即可完成定位的优势。更为严重的是，使用移动终端测量信号到达角，移动终端的朝向将影响测量结果。因此，这种方法很难应用到 WiFi 定位中。AP 测量信号到达角的方法也需要在 AP 端进行昂贵的硬件改造才可能测得精确的信号到达角。同样的，在大多数情况下使用 AP 测量信号到达角的方法也是极为繁琐的。

2.1 TDOAOE 定位系统实现

本文提出的改进算法，同样使用角度信息进行定位，与传统的 AOA 算法不同，本文的算法不需要测量信号到达角。而是通过对 AP 的信标发射算法地改写，将 AP 的 AOE 信息存放在 SSID(Service Set Identifier)中，随 WiFi 信号发出；已经安装解码软件的移动终端对接收到的信号进行解码并提取 SSID 中的 AOE 信息，即可在移动终端中完成定位计算。

如图 4，定位系统由微处理器、电机、有向天线、无线路由、磁铁、磁传感器和移动终端组成。系统工作时，微处理器将控制电机以一个特定的角速度带动有向天线转动。无线路由将 AP 位置 (x_0, y_0) 、旋转周期 T 、当前时间 t 和有向天线上一次经过基准点的时间 $t_0 (t \geq t_0)$ 存放到 SSID 中，随

信标由有向天线发出。磁铁被放置在基准点处, 有向天线转向基准点时, AP 的信号发出角为 0。此时, 微处理器接收到磁传感器的信号, 并控制无线路由更新 t_0 。当移动终端接收到信号后, 通过预装的软件从 SSID 中提取 AOE 信息, 就可以根据(18)式算出 AP 的信号发出角度。

$$AOE = 2\pi \frac{t - t_0}{T}, t \geq t_0 \quad (18)$$

式中: t 表示信号发出时的时间; t_0 表示有向天线上一次经过基准点的时间; T 表示有向天线旋转一周的时间。

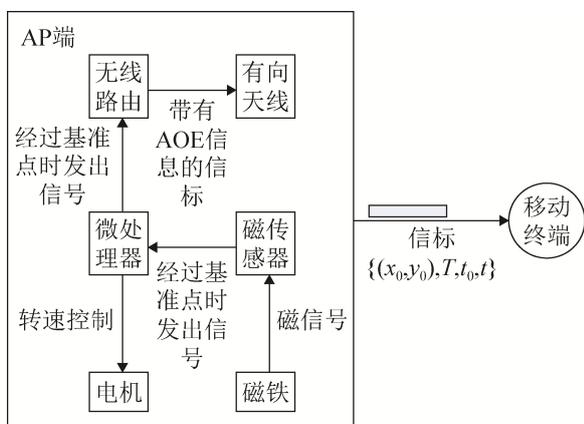


图 4 TDOAAOE 定位系统结构图

2.2 TDOAAOE 定位算法

有向天线发出的信号为一个叶形区域^[18], 而不是理想的射线, 所以在有向天线的一周旋转中, 移动终端将会获得多个 AOE 测量值。本文将 TDOA 的时间差思想融入到了 AOE 算法中, 以充分利用多个测量值减少测量误差。

如图 5, O 为 AP 所在位置, M 为待定位移动终端所在位置, 有向天线以角速度 ω 匀速旋转, 基准点的方向与 x 轴正方向一致。当有向天线转向 x 轴正半轴时, 定位系统更新复位时间 t_0 。在有向天线的一周旋转中, 移动终端进入 AP 信号覆盖范围时, 所接收到的信标中编码的时间为 t_{\min} , 此时有向天线相对于 x 轴旋转了 α 角; 移动终端离开 AP 信号覆盖范围时, 所接收到的信标中编码的时间为 t_{\max} , 此时有向天线相对于 x 轴旋转了 β 角。由叶形

区域的对称性可知: $\theta_1 = \theta_2$, 则可以由 t_0 、 t_{\min} 和 t_{\max} 求出 α 和 θ_2 角, 方程如下:

$$\alpha = 2\pi \frac{t_{\min} - t_0}{T} \quad (19)$$

$$\theta_2 = \pi \frac{t_{\max} - t_{\min}}{T} \quad (20)$$

γ 为移动终端相对与 AP 的实际角度, 由图 5 中 α 、 θ_2 和 γ 之间的关系有:

$$\gamma = \alpha + \theta_2 \quad (21)$$

将公式(19)、(20)带入(21)得到:

$$\gamma = \pi \frac{t_{\max} + t_{\min} - 2t_0}{T} \quad (22)$$

则可以建立求解 M 点坐标的一个线性方程:

$$K_{OM} = \tan \gamma = \frac{y - y_0}{x - x_0} \quad (23)$$

当存在两个 AP 时, 可以通过联立方程组求解待定位移动终端的位置。如图 6 所示的定位系统中放置了两个相同的 AP, 基准点的方向均与 x 轴正半轴一致。

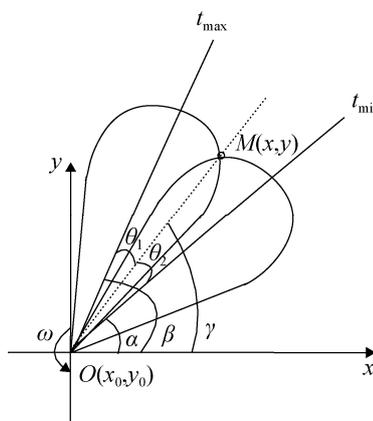


图 5 AOE 测量原理图

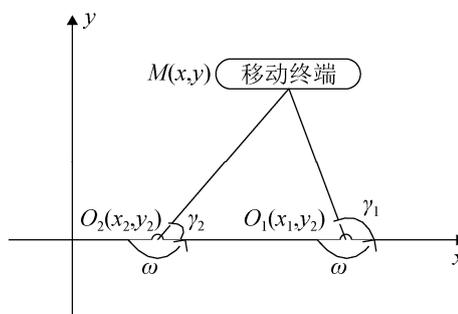


图 6 TDOAAOE 定位原理图

在 AP 覆盖范围内的移动终端接收到两个 AP 的信号后进行解码便可以根据(24)式计算出自身当前的位置, 公式如下:

$$\begin{cases} x = \frac{(y_1 - k_1 x_1) - (y_2 - k_2 x_2)}{k_2 - k_1} \\ y = \frac{k_1(k_2 x_2 - y_2) - k_2(k_1 x_1 - y_1)}{k_2 - k_1} \end{cases} \quad (24)$$

式中: $k_1 = \tan \gamma_1$, $k_2 = \tan \gamma_2$ 。

3 仿真结果分析

为了验证本文提出的 TDOAAOE 混合定位算法的性能, 使用 MATLAB 对其进行了仿真实验, 并且在相同的条件下对传统的 TDOA 和 AOA 定位算法进行对比仿真, 分析了三种算法的定位误差。

假设定位区域的大小为 20 m×20 m 的矩形空间, 待定位移动终端的位置和接入点的位置均给定, 有向天线转动一周的时间为 10 s, 测量距离受到高斯白噪声的干扰, 其均值为 0, 方差为 5。

3.1 算法定位精度对比

在相同的实验条件下, 对多个目标分别使用了 TDOAAOE 混合定位算法、AOA 定位算法和 TDOA 定位算法进行定位, 定位的实验结果如图 7、图 8、图 9 所示。可以直观地从图中看出三种定位方法的定位效果, 使用本文提出的 TDOAAOE 混合定位算法所得到的估计结果和真实值最接近, 相比之下 AOA、TDOA 算法的定位性能要逊色不少。这是因为本文提出的方法通过 TDOA 时间差的思想有效地降低了信号发出角的测量误差。

表 1 定量给出了 TDOAAOE、AOA 和 TDOA 三种算法的定位精度。从表 1 可以看出在多目标定位中, TDOAAOE 算法的定位精度明显高于 AOA 算法和 TDOA 算法。TDOAAOE 算法的平均误差为 1.020 3 m, AOA 算法的平均误差为 2.162 1 m, TDOA 算法的平均误差为 1.829 0 m, 这说明 TDOAAOE 算法较其他两种算法的定位精度有明显提升。

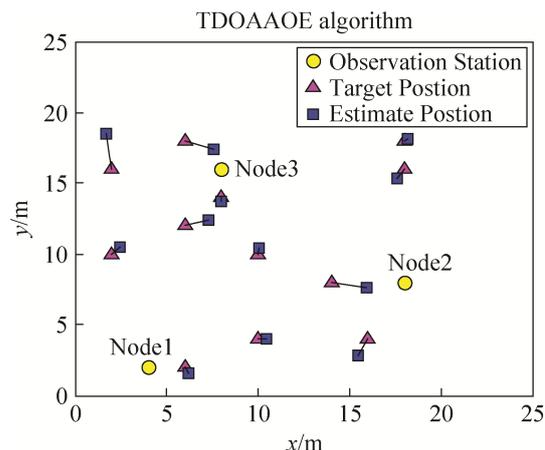


图 7 TDOAAOE 多目标定位

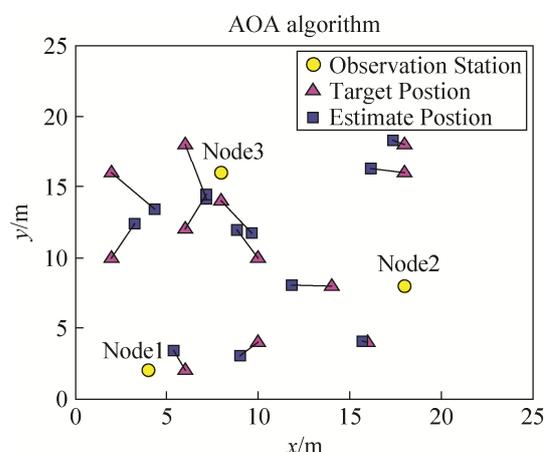


图 8 AOA 多目标定位

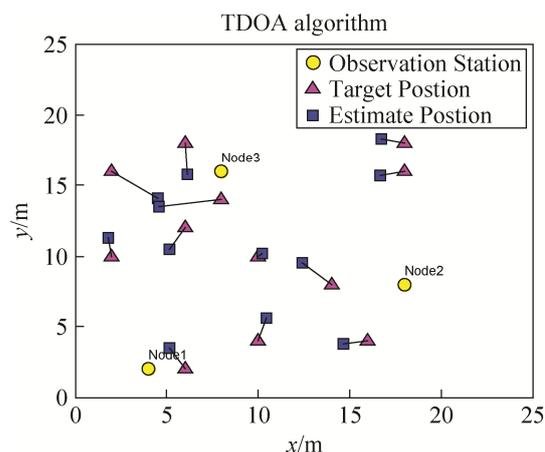


图 9 TDOA 多目标定位

表 1 不同定位算法定位精度比较

目标位置	(2,10)	(6,2)	(10,10)	(10,4)	(14,8)	(16,4)	(18,16)	(18,18)	(2,16)	(6,18)	(6,12)
TDOAAOE/m	0.684 3	0.505 3	0.422 7	0.475 3	1.974 2	1.320 7	0.796 4	0.252 3	2.546 1	1.697 8	1.310 4
AOA/m	2.686 0	1.521 4	2.306 3	1.340 3	2.182 3	0.307 1	1.849 3	0.730 7	3.500 3	3.993 6	2.732
TDOA/m	1.344 4	1.706 7	0.289 9	1.667 0	2.203 5	1.382 0	1.382 2	1.302 8	3.194 3	2.268 7	1.754 0

3.2 算法定位准确度对比

定位准确度指在给定最大误差的前提下,算法成功定位的概率,是衡量定位算法性能的另一个重要指标,定位准确度越高表征算法的连续性越好,误差波动性越小。

图 10 给出了三种算法定位准确度的对比情况。从图中可以看出,在给定误差距离很小时,三种算法定位的成功率都很低,当误差距离增加时,三种算法的定位成功率也随之提高。然而,本文提出的 TDOAAOE 算法的定位成功率明显高于传统的 AOA 和 TDOA 定位算法。而且随着误差距离的增加, TDOAAOE 定位算法的定位准确度迅速提高,在 2 m 以内定位准确度就可以达到 80%。而传统的 AOA 和 TDOA 定位算法,分别当误差距离为 3 m 以上和 2.5 m 以上时,才可以达到 80% 的定位准确度。综上所述,本文提出的 TDOAAOE 算法相比 AOA 和 TDOA 算法的定位准确度也有明显提高。

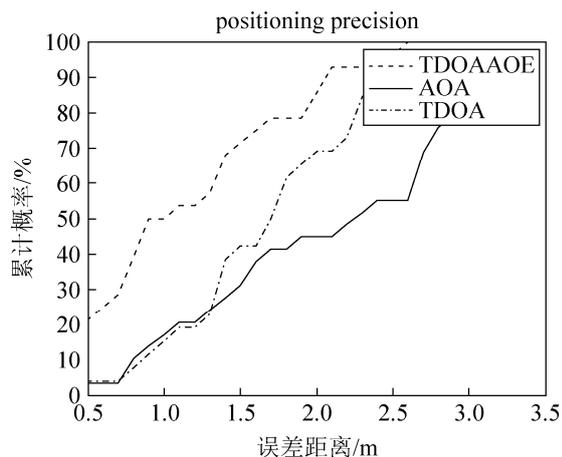


图 10 三种算法定位准确度对比

3.3 算法综合性能比较

表 2 给出了 AOA 算法、TDOA 算法和本文提出的 TDOAAOE 算法的综合性能比较。从表 2 可以看出三种算法的计算开销都不大;传统 AOA 和 TDOA 定位算法需的硬件改造成本高,定位精度和定位准确度较低;而本文提出的 TDOAAOE 定位算法的硬件开销小,定位精度和定位准确度较高。综上所述,与传统的 AOA 和 TDOA 算法相比,本文提出的 TDOAAOE 算法以较低的硬件改造成本获得了较高的定位精度和定位准确度。

表 2 三种算法综合性能比较

平均性能	TDOAAOE 算法	AOA 算法	TDOA 算法
定位精度	较高	低	低
定位 准确度	较高	低	低
计算开销/s	0.315 1	0.228 1	0.278 8
硬件复杂度	需对 AP 进行改造	需要添加 角度测量 传感器	需要添加提供 高精度时钟的 设备

4 结论

本文针对现有基于 WiFi 的无线定位算法存在的问题,在详细分析了 TDOA、AOA 定位算法的优缺点及其在 WiFi 环境下的可实施性的基础上,提出了一种 TDOAAOE 混合定位方法。并将 TDOAAOE 算法与 TDOA 算法和 AOE 算法进行了比较,从实验结果可以看出,本文提出的混合定位算法的定位性能优于 TDOA、AOA 中的任何一种单独算法的定位性能。更为重要的是,本文提出的混合定位算法只需在 AP 端安装转动的有向天线,无需对移动终端进行任何硬件改造,即可完成定位,这极大的节约了定位系统的

部署成本。本文改进算法的核心在于将方向角的信息编码到信标中随信号发出, 将这种思想推广, 在后续的研究中我们还可以把其他变化的信息(比如发射功率等信息)编码到信标中随信号发出, 并以这种方式构建指纹地图, 这或许可以减少构建指纹地图所需的 AP 数量, 减少构建指纹地图的工作量。

参考文献:

- [1] Chen X, Pang J. Protecting query privacy in location-based services [J]. *Geoinformatica* (S1384-6175), 2012, 18(1): 95-133.
- [2] Xifeng Liu, Yunbin Yuan. Model analysis method (MAM) on the effect of the second-order ionospheric delay on GPS positioning solution [J]. *Chinese Science Bulletin* (S1001-6538), 2010, 55(15): 1529-1534.
- [3] Zhao J M, An W X, Li D A, et al. Effective Algorithms for WSN With Weight Principle in Web of Things [J]. *IEEE Sensors Journal* (S1530-437X), 2014, 14(1): 228-233.
- [4] 燕学智, 王树勋, 马中胜, 等. 基于超声红外定位导航研制自动引导车辆系统 [J]. *吉林大学学报(工学版)*, 2006, 36(2): 242-246. (Yan Xuezhi, Wang Shuxun, Ma Zhongsheng, et al. Automatic guided vehicle system based on localization and navigation by ultrasonic and infrared ray [J]. *Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition)* (S1671-5497), 2006, 36(2): 242-246.)
- [5] Zhou J, Shi J. A comprehensive multi-factor analysis on RFID localization capability [J]. *Advanced Engineering Informatics* (S1474-0346), 2011, 25(1): 32-40.
- [6] Chen H, Vun C H. Compressive sensing techniques for UWB indoor positioning applications [C]// *Consumer Electronics (ICCE), 2015 IEEE International Conference on*. Sydney, NSW, Australia: IEEE, 2015: 231-232.
- [7] Luoh L. ZigBee-based intelligent indoor positioning system soft computing [J]. *Soft Computing* (S1432-7643), 2014, 18(3): 443-456.
- [8] Mirowski P, Milioris D, Whiting P, et al. Probabilistic Radio-Frequency Fingerprinting and Localization on the Run [J]. *Bell Labs Technical Journal* (S1089-7089), 2014, 18(4): 111-133.
- [9] Liu R P, Hedley M, Yang X. WLAN Location Service with TXOP [J]. *IEEE Transactions on Computers* (S0018-9340), 2013, 62(3): 589-598.
- [10] 张明华, 张申生, 曹健. 基于无线局域网定位的误差关键因素分析与仿真 [J]. *系统仿真学报*, 2009, 21(15): 4866-4869. (Zhang Minghua, Zhang Shensheng, Cao Jian. Analysis and Simulation of Key Factors for Errors in WLAN-based Location Estimation [J]. *Journal of System Simulation* (S1004-731X), 2009, 21(15): 4866-4869.)
- [11] Alsindi N, Chaloupka Z, Aweya J. Entropy-based location fingerprinting for WLAN systems [C]// *International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*. Sydney, NSW, Australia: IEEE, 2012: 1-7.
- [12] Ciurana M, Barcelo-Arroyo F, Izquierdo F. A Ranging Method with IEEE 802.11 Data Frames for Indoor Localization [C]// *Wireless Communications and Networking Conference, 2007. WCNC 2007, IEEE, Kowloon, China. USA: IEEE, 2007: 2092 - 2096.*
- [13] 张威奕, 曾庆喜, 张鹏娜, 等. 基于 UKF 的车辆 GPS/蜂窝网无缝定位算法 [J]. *中国惯性技术学报*, 2015, 23(1): 76-80. (Zhang Weiyi, Zeng Qingxi, Zhang pengna, et al. Vehicle GPS/cellular network seamless positioning algorithm based on UKF [J]. *Journal of Chinese Inertial Technology* (S1005-6734), 2015, 23(1): 76-80.)
- [14] 朱国辉, 冯大政, 周延, 等. 一种线性校正到达时间差定位算法 [J]. *电子与信息学报*, 2015, 37(1): 85-90. (Zhu Guohui, Feng Dazheng, Zhou Yan, et al. A Linear-correction Based on Time Difference of Arrival Localization Algorithm [J]. *Journal of Electronics & Information Technology* (S1009-5896), 2015, 37(1): 85-90.)
- [15] 史小红. 基于 TDOA 的无线定位方法及其性能分析 [J]. *东南大学学报(自然科学版)*, 2013, 43(2): 252-257. (Shi Xiaohong. TDOA-based wireless positioning method and its performance [J]. *Journal of Southeast University (Natural Science Edition)* (S1001-0505), 2013, 43(2): 252-257.)
- [16] 毛永毅, 李明远, 张宝军. 一种 NLOS 环境下的 TOA/AOA 定位算法 [J]. *电子与信息学报*, 2009, 31(1): 37-40. (Mao Yongyi, Li Mingyuan, Zhang Baojun. A TOA/ AOA Location Algorithm in NLOS Environment [J]. *Journal of Electronics & Information Technology* (S1009-5896), 2015, 37(1): 37-40.)
- [17] Zhou Biao, Changqian Jing, Kim Youngok. Joint TOA/AOA Positioning Scheme with IP-OFDM Systems [J]. *Wireless Personal Communications* (S0929-6212), 2014, 75(1): 261-271.
- [18] Malik P K, Parthasarthy H. Synthesis of randomness in the radiated fields of antenna array [J]. *International Journal of Microwave & Wireless Technologies* (S1759-0795), 2011, 3(6): 701-705.