

基于散射体信息的双基站定位

黄际彦 万群 杨万麟
(电子科技大学电子工程学院 成都 610054)

摘要: 该文基于单次散射移动通信模型, 利用双基站测得的多条散射路径的到达时间(TOA)和到达角度(AOA)进行定位, 提出了一种非直达波条件下的高精度移动定位算法, 仿真结果验证了该算法的有效性。

关键词: 无线定位; 非直达波; 散射体

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2007)03-0671-03

Calculation of Mobile Location Based on Scatter Information Using Two Base Station

Huang Ji-yan Wan Qun Yang Wan-lin
(Dept. of Electronic Engineering, UEST of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: A NLOS(Non Line Of Sight) high-resolution location algorithm is brought forward based on TOA(Time Of Arrival), AOA(Angle Of Arrival), which can be measured by two base station. The algorithm bases on the single reflect model, the simulation proves the algorithm validity in the NLOS scenarios.

Key words: Radio location; Non Line Of Sight (NLOS); Scatter

1 引言

在蜂窝移动定位中, 电波的非直达波(NLOS)传播, 多径效应, 测量误差噪声等因素都会影响定位精度, 其中NLOS传播是影响定位精度的主要因素^[1]。目前, 抑制NLOS传播影响方法主要有: 消极加权和统计校正。当NLOS误差较大的时候这两种方法效果不理想, 而利用散射体信息进行定位, 则是抑制NLOS误差的另一种方法。其思路在于把NLOS误差转化为确定性的模型因素, 因此定位精度主要取决于定位参数的测量精度, 和NLOS引起的参数偏差无关, 这就为实现高精度移动定位提供了可能。

TOA 和 AOA 是移动定位使用的主要参数, 文献[2,3]研究了高精度 TOA 估计方法, 文献[4,5]提出利用 UCR-RB-MUSIC 算法对 AOA 进行估计, 文献[6]也对多普勒频移的估计做出了研究。文献[7]综合利用单基站测得的 TOA, AOA 和多普勒频移, 提出了在单次散射情况下, 利用散射体信息进行定位的方法。但文献[7]的方法需要至少 6 条散射多径, 定位问题才可解, 所需的定位条件比较苛刻。本文基于多普勒频移进行多径匹配, 提出利用 TOA 和 AOA 进行双基站定位, 只需 3 条散射多径即可定位。

2 定位算法结构

无线电波在传播的过程中很多情况下并不是直线到达基站的, 而是通过散射体反射到达基站的。单反射模型假设无线电波只经过一个散射体到达基站, 因此可以建立精确的

几何模型确定散射体及移动站的位置。

图 1 表明双基站定位算法的主要结构, 图 2 是定位算法的拓扑结构。首先确定在基站侧测得的哪些多径信号是经过同一个散射体反射到基站的; 对同一散射体的多径信号进行匹配后, 可利用双基站测得的 AOA 对散射体进行定位, 然后计算出散射体到达基站的直线距离, 再利用基站处测得的 TOA 值减去散射体到达基站的直线距离, 就是移动站到达散射体的距离了; 最后把散射体作为基站, 再把移动站到散射体的距离作为 TOA 值, 就可利用常用的定位算法解算出移动站的位置了, 本文利用最小二乘法对移动站进行位置估算。

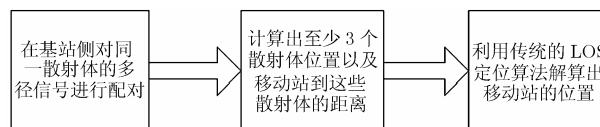


图 1 定位算法结构

3 散射体定位原理

3.1 同一散射体的多径信号匹配

移动站发出的信号经过多个散射体反射到达基站, 在基站侧确定接收的多径信号中哪些是经过同一散射体的反射, 成为本文算法的关键。多径信号匹配的主要思路是利用多普勒频移, 在基站侧测量多普勒频移, 提取同一多普勒频率的多径信号。

文献[7,8]使用的散射体模型是单反射模型, 并且假设散射体和基站是静止的, 本文也只考虑这种情况。如图 2, 假设移动站由 A 处运动到 B 处, 运动的速率为 v , 距离为 d 。

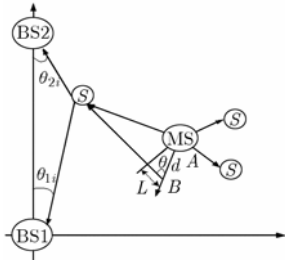


图 2 定位算法拓扑

基站 1 接收 A 处发出的电波和接收 B 处发出的电波的路径差为 $L = d \cos \theta = v \Delta t \cos \theta$, Δt 是移动台从 A 处运动到 B 处所需时间, θ 为 A, B 处与电波的夹角, 基站 2 接收 A 处发出的电波和接收 B 点发出的电波的路径差也同为 L 。由于散射体与移动站很远, 可假设 A, B 处的 θ 是相同的, 由路程差造成的接收信号相位变化值为

$$\Delta \varphi = \frac{2\pi L}{\lambda} = \frac{2\pi v \Delta t}{\lambda} \cos \theta \quad (1)$$

其中 λ 为电波波长, 可得频率的变化率, 即多普勒频移 f_d 为:

$$f_d = \frac{1}{2\pi} \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{v}{\lambda} \cos \theta \quad (2)$$

由于移动站发射的电波对于两基站的出射角 θ 及相对同一散射体的速度 v 是一样的, 由上式可得通过同一散射体到达两基站的多普勒频移是一样的。

可通过该特性进行多径信号匹配, 然而由文献[8]可得当多个散射体和移动站在同一直线上时, 其经过这些散射体反射的电波的多普勒频移也是一样的, 这样若干个多径信号的多普勒频移是一样的时候, 就会产生 3 种情况。(1) 当和移动站处于直线位置上只有 1 个散射体。(2) 当和移动站处于直线位置上有两个散射体。(3) 当和移动站处于直线位置上有两个以上散射体。因此首先可以通过在基站侧测量多普勒频移, 从中提取出同一频率的多径信号。这样就可能出现上述 3 种情况, 当处于第 1 种情况时, 两个基站中多普勒频移是一样的多径信号在两基站中分别只有一个, 所以没有模糊性; 当处于第 3 种情况时, 可利用文献[8]的方法使用单基站就可以定位。下面研究一下处于第 2 种情况时如何确定多径信号的归属。

图 2 中, 设两个基站的位置分别为 $BS1(x_1, y_1)$, $BS2(x_2, y_2)$, 移动站的位置为 (x, y) , 第 i 个散射体的位置为 (Sx_i, Sy_i) , 在第 j 个基站中测得的第 i 个散射体的 TOA, DOA 值分别为 (l_{ji}, θ_{ji}) , 设第 i 个散射体到基站 j 的直线距离为 p_{ji} , 第 i 个散射体到移动站的距离为 L_i , 则

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \theta_{1i} &= (Sx_i - x_1) / (Sy_i - y_1) \\ \operatorname{tg} \theta_{2i} &= (Sx_i - x_2) / (Sy_i - y_2) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

解上式得

$$Sx_i = \frac{x_2 - x_1 \tan \theta_{1i} \tan \theta_{2i} + (y_1 - y_2) \tan \theta_{2i}}{1 - \tan \theta_{1i}} \quad (4)$$

$$Sy_i = (Sx_i - x_1) \tan \theta_{1i} + y_1 \quad (5)$$

可得第 i 个散射体到基站 j 的直线距离为

$$p_{ji} = \sqrt{(Sx_i - x_j)^2 + (Sy_i - y_j)^2} \quad (6)$$

对于无测量误差, 正确的多径匹配, 可得

$$L_i = l_{1i} - p_{1i} = l_{2i} - p_{2i} \quad (7)$$

定义误差函数

$$En = (l_{1i} - p_{1i} - (l_{2i} - p_{2i}))^2 \quad (8)$$

在第 2 种情况下, 基站测得的同一多普勒频移的测量值为 (l_{1i}, θ_{1i}) , (l_{1i}', θ_{1i}') , (l_{2i}, θ_{2i}) , (l_{2i}', θ_{2i}') , 可以将 (l_{1i}, θ_{1i}) 和 (l_{2i}, θ_{2i}) , (l_{1i}, θ_{1i}) 和 (l_{2i}', θ_{2i}') , (l_{1i}', θ_{1i}') 和 (l_{2i}, θ_{2i}) , (l_{1i}', θ_{1i}') 和 (l_{2i}', θ_{2i}') 分别作为 4 组测量值代入式(3)~式(8), 解出 En , En 最小的一对组合即为算法选取的组合。

确定属于同一散射体的多径信号后, 就可以利用式(4)和式(5)计算散射体的坐标位置 (Sx_i, Sy_i) , 然后利用式(7)可得移动站到散射体的距离。

3.2 移动站位置的计算

如图 2, 可以以这 3 个散射体为基点, 以移动站到散射体的距离 L_i 为 TOA 值, 采用最小二乘法对移动站进行定位。设移动站的位置为 $\mathbf{X} = [x \ y]^T$, 由文献[9]可得

$$\mathbf{A}\mathbf{X} = \mathbf{B} \quad (9)$$

其中

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} Sx_2 - Sx_1 & Sy_2 - Sy_1 \\ Sx_3 - Sx_2 & Sy_3 - Sy_2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2}((Sx_2 + Sy_2)^2 - (Sx_1 + Sy_1)^2 + L_1^2 - L_2^2) \\ \frac{1}{2}((Sx_3 + Sy_3)^2 - (Sx_2 + Sy_2)^2 + L_2^2 - L_3^2) \end{bmatrix} \quad (11)$$

解得

$$\mathbf{X} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{B} \quad (12)$$

4 仿真结果

本文仿真采用的基站坐标为 $BS1(0,0)$, $BS2(0,2000)$, 移动站坐标是 $MS(1000,1000)$ 。散射体由 ring model 产生, 每个散射体有 10% 的可能处于第 3 节描述的第 2 种情况, 测量噪声都服从零均值的高斯分布, 一共进行了 5000 次独立的仿真。

表 1 是在 TOA 噪声方差为 1000m^2 , AOA 噪声标准差范围在 $[0.005, 0.02]\text{rad}$ 之间, 不同多径信号个数下, 本文方法与文献[7]方法的均方根定位误差的数据比较。从表中可以看出, 当多径信号个数小于 6 时, 文献[7]的方法不能定位, 而本文方法则能正常定位; 即使在多径信号个数等于 6 时, 文献[7]的方法能定位的情况下, 本文方法的定位精度也远高于文献[7]的方法, 且随着多径信号个数的增加, 定位精度也增加。

表1 均方根定位误差范围比较(单位: m)

多径信号个数	本文方法	文献[7]方法
3	[140, 300]	不能定位
4	[30, 65]	不能定位
5	[18, 37]	不能定位
6	[14, 26]	[150, 200]

图3是在 ring model 模型半径为 800m, 3 条多径信号, 不同 AOA 和 TOA 噪声标准差下的均方根定位误差。

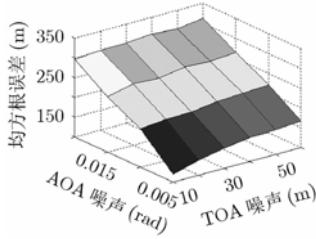


图3 不同 AOA, TOA 噪声下的均方根定位误差

从图中可以看出 AOA 误差对定位精度影响较大, 随着 AOA 测量误差的减小, 定位精度在提高。

图4是在AOA噪声标准差为 0.005rad, TOA噪声方差为 1000m², 3 条多径信号, ring model模型不同模型半径下的定位误差, 从图中可以明显看出传统的LOS算法受NLOS影响太大, 定位误差很大, 而本算法则能很好地克服NLOS误差。

图5是在AOA噪声标准差为 0.005rad, TOA噪声方差为 1000m², 3 条多径信号, ring model模型半径为 800m下的误差累积密度函数, 从图中也能看出本算法优越传统的LOS算法。

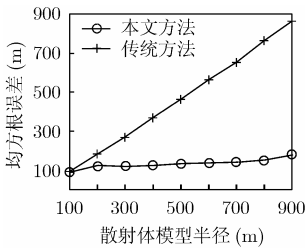


图4 散射体半径不同下的均方根定位误差

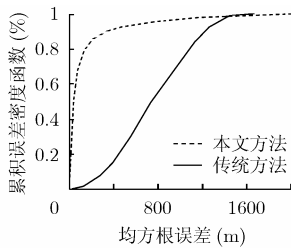


图5 误差累积密度函数

5 结束语

本文基于单反射模型, 提出了利用双基站对移动站进行精确定位。文献[7]在单反射模型下利用单站进行定位, 其算法要求至少要有 6 条多径信号, 定位问题才可解, 限制了其应用, 本文使用双基站, 只需要 3 条多径信号就可以对移动站进行定位, 仿真结果表明本算法能很好地抑制 NLOS 误差。需要指出的是本文中的方法和文献[7]中的方法都使用了多普勒频移, 两种方法都只适用于移动台运动的情况。另外文献[7]使用的是单基站定位, 本文方法使用了双基站定位,

在系统实现上比文献[7]的方法复杂, 但本文方法将定位求解条件从 6 条多径信号降低到 3 条多径信号, 大大扩展了算法的应用范围, 并且在相同的情况下, 本文方法的定位精度远高于文献[7]方法的定位精度。基于多反射的散射体定位算法是今后工作的重点。

参考文献

- [1] Al-Jazzar S and Caffery J. A scattering model based approach to NLOS mitigation in TOA location systems. IEEE Vehicular Technology Conference, Birmingham, AL, 2002: 861-865.
- [2] Girod L and Estrin D. Robust range estimation using acoustic and multimodal sensing. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Maui, USA, 2001, 3: 1312-1320.
- [3] Vidal J, Najar M, and Jativa R. High resolution time-of-arrival detection for wireless positioning systems. IEEE 56th Vehicular Technology Conference, Vancouver, Canada, 2002, 4: 2283-2287.
- [4] Zoltowski M D and Mathews C P. Closed-form 2D angle estimation with uniform circular array via phase mode excitation and ESPRIT. Conference Record of The Twenty-Seventh Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, Pacific Grove, California, 1993, 1: 169-173.
- [5] Mathews C P and Zoltowski M D. Eigenstructure techniques for 2-D angle estimation with uniform circular arrays. IEEE Trans. on Signal Processing, 1994, 42(9): 2395-2407.
- [6] Vincent F and Besson O. Estimating time-varying DOA and Doppler shift in radar array processing. IEE Proceedings, Radar, Sonar and Navigation, 2000, 147(6): 285-290.
- [7] Thomas N J, Cruickshank D G M, and Laurenson D I. Calculation of mobile location using scatter information. Electronic Letters, 2001, 37(9): 1193-1194.
- [8] Wan Q, Yang W L, and Peng Y N. Simplified calculation of mobile location using scatter information. 2004 International Conference on Communications, Circuits and Systems (ICCCAS 2004), Chengdu, China, 2004, 1: 475-478.
- [9] Caffery J J Jr. A new approach to the geometry of TOA location. Vehicular Technology Conference, Boston, USA, 2000, 4: 1943-1949.

黄际彦: 男, 1981年生, 博士生, 研究方向为无线定位、通信中的信号处理技术等。

万群: 男, 1971年生, 教授, 博士生导师, 从事多传感器移动台定位、多维信号处理和雷达目标成像与识别等研究。

杨万麟: 男, 1945年生, 教授, 博士生导师, 从事微波成像、雷达目标识别等方面的研究。