

TDOA/DOA数据联合无线蜂窝定位

何芳* 徐政五

(电子科技大学自动化工程学院, 电子工程学院 成都 610054)

【摘要】针对传统的双曲线定位和圆周定位方法至少需要3个基站参与定位的问题,提出了一种在WCDMA上行链路中利用移动台信号到达基站的时间差和角度信息来实现对移动台定位的优化方法。该方法最少需要两个基站信息实现定位,降低了系统实现的复杂度,在相同数量基站信息下比单纯利用移动台信号到达基站的时间差方法精度高。最后给出了利用该实现方案和算法在WCDMA环境下的仿真结果和性能分析。

关键词 到达时间差; 到达角度; 无线定位; 蜂窝通信; 宽带码分多址

中图分类号 TN929 文献标识码 A

Wireless Cellular Locating Based on TDOA and DOA in Uplink

He Fang Xu Zhengwu

(School of Automation Engineering, UEST of China, School of Electronic Information Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract This paper proposes a new method of the wireless cellular location based on the time difference of arrival and the direction of arrival in the uplink of WCDMA system. The traditional method based on the hyperbola and the circle needs at least three base stations to get the location of the mobile station, but the new method gets the location of the mobile station by only two base stations, which reduces the complexon of the system. The new method is more accurate than the traditional method that only bases on the time difference of arrival. In addition, the performance of the proposed wireless cellular locating method is evaluated through simulations.

Key words time difference of arrival; direction of arrival; wireless location; cellular communication; WCDMA

美国联邦通信委员会发布了E-911条例,该条例对所有移动网络实现定位的要求为:基于网络定位方式满足:当成功概率为67%时,定位精度在100 m以内;当成功概率为95%时,定位精度在300 m以内^[1]。定位服务要求在其他方面也日益剧增,如:信息服务,提供移动台所在区域的信息及导航等其他服务;智能运输系统,对车队的运输系统各车辆和移动资源进行定位,检测交通事故和塞车,实现智能化管理与调度;其他增值服务,广告商可以根据用户所处的不同位置为用户提供不同类型的广告,同时也可以根据用户的请求指引用户到相应的消费场所进行消费,如到最近的一家餐馆就餐,到最近的一处自动提款机提款等。

目前研究的定位方式主要有:1) 基于网络的定位技术,它主要依靠蜂窝通信网络来实现对定位参数的测量和用户位置的计算;2) 基于移动台的定位技术,它需要移动台部分或全部参与定位参数的测量和坐标位置的计算,因此需要对现有移动台进行修改。基于网络的定位不需要改变现有手机结构,因此兼容现有手机,但定位精度较后者低,其定位精度有待通过优化算法进一步提高。现有一些文献讨论利用时间差(Time Rifference of Arrival, TDOA)进行定位^[2],本文主要讨论在WCDMA上行链路中利用TDOA和到达角度(Direction of Arrival, DOA)来实现对移动台的定位。

2003年6月5日收稿

* 女 25岁 在职硕士生 主要从事智能天线、合成孔径雷达方面的研究

1 定位方法及算法

1.1 2个基站定位

图1所示为2个基站参与定位服务情况下的几何图,设 BS_1 为服务基站,移动台 MS 到达 BS_1 的角度为 α , MS 到 BS_1 和 BS_2 之间的时间差为 t_{12} 。根据 t_{12} 可以确定 MS 在以 BS_1 和 BS_2 为焦点的双曲线上,并且 t_{12} 的正负可以确定 MS 在双曲线的哪一支支上;根据 α 可以确定 MS 在经过 BS_1 的一条支线上;求得直线与双曲线的交点即为 MS 的位置。根据图1得到

$$D_2 - D_1 = ct_{12} \tag{1}$$

$$\tan(\alpha) = y/x \tag{2}$$

$$D_i = \sqrt{(y_i - y)^2 + (x_i - x)^2} \quad i=1,2 \tag{3}$$

式中 $c = 3 \times 10^8$ m/s 为光速。令 $\tan(\alpha) = y/x = k$, 得到 $y = kx$, 代入式(1)解出

$$x = (x_2^2 + y_2^2 - c^2 t_{21}^2) / [2ct_{21}\sqrt{1+k^2} + 2(x_2 + ky_2)] \tag{4}$$

相应的可以得到

$$y = k(x_2^2 + y_2^2 - c^2 t_{21}^2) / [2ct_{21}\sqrt{1+k^2} + 2(x_2 + ky_2)] \tag{5}$$

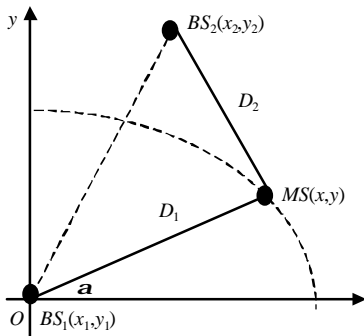


图 1 双基站定位几何图

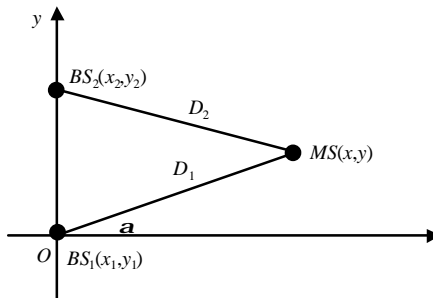


图 2 双基站定位几何坐标系

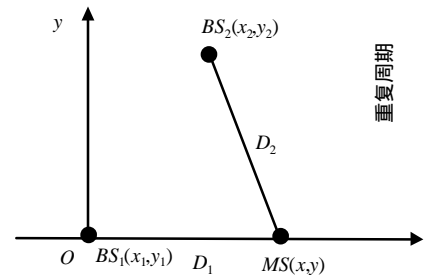


图 3 双基站定位几何坐标系

该算法实质上是求解双曲线与直线的交点,因此如何建立坐标系对于降低算法的复杂度存在较大影响。为了简化运算可以按照图2、3所示方式建立坐标系。

由图2的方式可以得到

$$x = (y_2^2 - c^2 t_{21}^2) / [2ct_{21}\sqrt{1+k^2} + 2ky_2] \quad y = k(y_2^2 - c^2 t_{21}^2) / [2ct_{21}\sqrt{1+k^2} + 2ky_2] \tag{6}$$

由图3的方式可得

$$x = (x_2^2 + y_2^2 - c^2 t_{21}^2) / (2ct_{21} + 2x_2) \quad y = 0 \tag{7}$$

但此时 x_2, y_2 是原有坐标旋转了 α 角度。

当仅有两个基站参与定位时,按图3的方式建立坐标系最简单,当有多个基站参与定位时则按图1的方式建立坐标系即以服务基站为坐标零点较好。

1.2 多个基站

当有多个基站(3)时,基站分布拓扑结构如图4所示,图中 MS 发出信号在服务小区基站入射角度为 α , MS 信号到不同基站的时间差为 t_{ij} ($i, j=1,2,\dots,m, i \neq j$), m 为参与定位的基站数,则存在方程

$$\sqrt{(y_i - y)^2 + (x_i - x)^2} - \sqrt{y^2 + x^2} = ct_{i1} \quad i=2,3,\dots,m \tag{8}$$

$$\tan(\alpha) = y/x \tag{9}$$

化简方程(8)、(9)可以得到矛盾方程

$$Ax = B \quad y = \tan(\alpha)x \tag{10}$$

$$A = \begin{bmatrix} 2ct_{21}\sqrt{(1+k^2)} + 2(x_2 + ky_2) \\ 2ct_{31}\sqrt{(1+k^2)} + 2(x_3 + ky_3) \\ \vdots \\ 2ct_{m1}\sqrt{(1+k^2)} + 2(x_m + ky_m) \end{bmatrix}_{m \times 1} \quad B = \begin{bmatrix} x_2^2 + y_2^2 - c^2t_{21}^2 \\ x_3^2 + y_3^2 - c^2t_{31}^2 \\ \vdots \\ x_m^2 + y_m^2 - c^2t_{m1}^2 \end{bmatrix}_{m \times 1}$$

式(10)的最小二乘解为

$$x = A^{-1}B \quad (11)$$

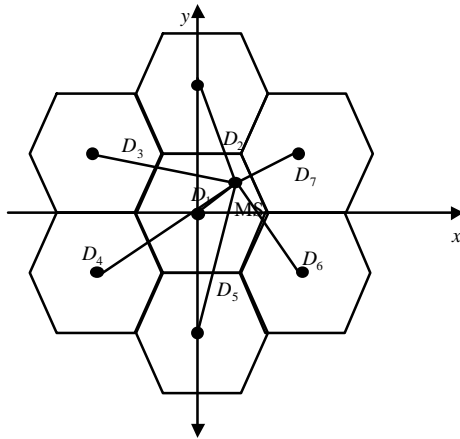


图4 多基站定位拓扑结构

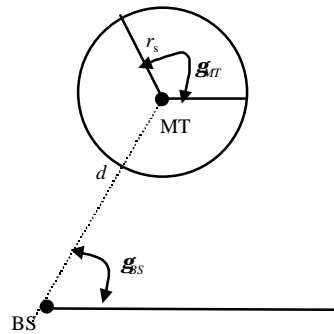


图5 蜂窝环境中圆形散射体多径传播模型

2 计算机仿真试验

2.1 信道模型

图5所示为COST-207信道模型^[3], 图中 d 为移动终端和基站之间的距离, r_s 为散射体半径, g_{MT} 为信号入射到移动终端的角度, 假设移动终端使用全向天线, 则 g_{MT} 为服从 $0 \sim 2\pi$ 间均匀分布的随机变量, 即

$$p(g_{MT}) = \frac{1}{2\pi} \quad 0 \leq g_{MT} < 2\pi \quad (12)$$

该模型假定移动终端和服务基站间存在视距路径传播, 与其他基站间不存在视距路径。服务基站与移动终端间最短多径时延为视距路径时延, 其他基站与移动终端间最短多径时延的产生则是通过随机产生一个 g_{MT} , 以该角度到达移动终端(或基站)的多径信号的时延作为到移动终端(或基站)第一条多径信号的时延。

考虑无线通信环境的复杂性, 到达BS的信号往往是几个多径信号, 在COST 207模型中提供了如表1所示的多径信号时延和功率分配的参考值(信号由6条多径组成), 表中的时延值为相对第一条多径的时延值。

表1 多径时延及功率分配表

时延/ μs	0.0	0.2	0.5	1.6	2.3	5.0
相对功率	0.189	0.379	0.239	0.095	0.061	0.037

2.2 定位参数测定

定位的第一步是得到TDOA的值。首先给出信号传播的信道模型, 设第 k 个移动台发射信号为 $s_k(t)$, 由于多径的存在, 到达基站信号表达式为

$$r_i(t) = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^N A_l f_l(t-t_l) s_k(t-t_l) + n(t) \quad (13)$$

式中 N 为多径数目, A_l 为每条多径的幅度因子, $f_l(t)$ 为多普勒衰减包络, t_l 为多径延时, $n(t)$ 为噪声, M 为小区用户数。基站将接收到的信号与需要定位服务的用户扩频码分别进行相关处理

$$c_k(\mathbf{t}) = \int_0^T r_i(t) g(t+\mathbf{t}) dt \quad (14)$$

式中 $g(t)$ 为定位用户使用的扩频码, 相关信号通过平方检波, 得到相关峰值的信号延时, 再通过减法得

$$t_{1,k} = t_1 - t_k \quad t_k = \max |c_k(t)| \Delta t \quad (15)$$

式中 Δt 为采样周期, DOA 的估计采用 MUSIC 方法, 文献[4]对此进行了讨论。

2.3 仿真结果

实验参数为基站坐标 $BS_1(0, 0)$, $BS_2(0, 2000)$, $BS_3(-1000, 1000)$, $BS_4(-1000, -1000)$, $BS_5(0, -2000)$, $BS_6(1000, -1000)$, $BS_7(1000, 1000)$, 坐标单位为 m。扩频码采用 127 位 Gold 码, 扩频增益 128 (在扩频码最后补 1 位 0), 码率 $3.844 \text{ MHz} \cdot \text{s}^{-1}$ 。多普勒衰落频率为 100 Hz, 多普勒衰落方式按文献[5]提供的方法, 利用频域插值进行 IFFT 变换产生。MS 随机落在 BS_1 小区内。

图6所示为信号噪声比与定位误差 L_e 的关系, 图中可以看出当信号噪声比大于 0 dB 时, 定位效果较好, 多基站效果比 2 个基站效果好。每个点计算 100 次进行统计, 定位精度由式(16)计算。

$$d = d_x + d_y \quad (16)$$

图7所示为在 2 个基站参与定位时的角度误差与定位误差 q_e 的关系, 图中可以看出当角度误差大于 3.5° 时误差较大, 根据 COST-207 信道模型由于服务基站存在直达信号因此角度误差一般小于 6° , 但是当移动台离基站较近的时候角度扩散较大, 该算法性能会受到影响, 可以考虑采用加权处理算法。

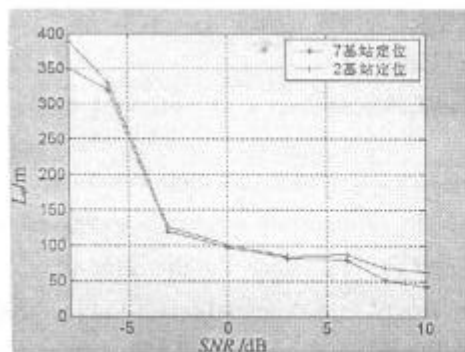


图6 信号噪声比与定位误差的关系

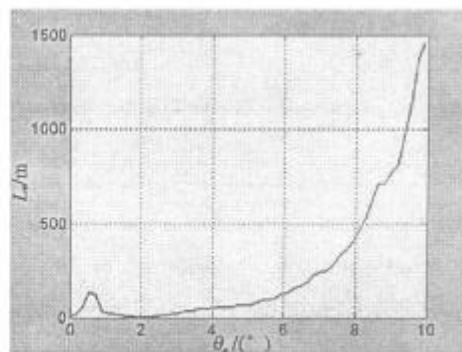


图7 角度误差与定位误差的关系

3 结论

利用本文提出的 TDOA 和 DOA 联合定位的方法定位效果比单纯的 TDOA 好^[6], 并且该方法只需要两个基站参与定位服务, 降低了传统的单纯双曲线定位和圆周定位的系统复杂度。特别是当移动台处于宏蜂窝小区环境下, 3 个或 3 个以上的基站很难同时接收到足够能量的移动台发出的信号。但是当移动台距离基站较近时角度扩散增大, 性能会下降, 需进一步研究考虑优化算法。

参 考 文 献

- [1] Reed J H. An overview of the challenges and progress in meeting the E-911 requirement for location service[J]. IEEE Communications Magazine, 1998, 36(4): 30-37
- [2] Chan Y T. A simple and efficient estimate for hyperbolic location[J]. IEEE Trans. on Signal Processing, 1994, 42(8): 1095-1115
- [3] Caffery J. Subscriber location in CDMA cellular networks[J]. IEEE Trans. on Vehicular Technology, 1998, 47(2): 406-416
- [4] Klukas R. Line-of-sight angle of arrival estimation in the outdoor multipath environment[J]. IEEE Trans. on Vehicular Technology, 1998, 47(1): 342-351
- [5] Rappaport S. Wireless communications principles & practice prentice. New York: Hall INC. 1996. 183-184
- [6] Jie Gu. Wireless location for W-CDMA[C]. 2002 International Conference on Communication Circuits and Systems in China, 2002. 225-228