

一种新的无线蜂窝定位跟踪技术¹

顾 杰 何 芳 龚耀寰

(电子科技大学电子工程学院 成都 610054)

摘 要: 该文提出了一种在 W-CDMA 环境下实现对移动台的定位及跟踪的方法, 其中对移动台位置坐标的计算采用基于 E-OTD 的方法, 对移动台的跟踪采用马尔科夫链配合相关检测距离门的方法, 该方法实用性强, 对传统定位方法进行了改进和补充, 该文还给出了利用该实现方案和算法在 W-CDMA 环境下的仿真结果。

关键词: 无线定位及跟踪, 观测时间差, 马尔科夫链, 增强观测时间差

中图分类号: TN929.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-5896(2004)04-0511-06

A New Wireless Cellular Locating and Tracking Method

Gu Jie He Fang Gong Yao-huan

(Dept of Electronic Info. Eng. UEST of China, Chengdu 610054, China)

Abstract This paper proposes a new method for the wireless cellular locating and tracking. The method is based on the E-OTD to get the position of the MS, and the MS profile is tracked on the bases of Markov models and detection gate. This method is concise and robust. In addition, the performance of the proposed wireless cellular locating and tracking method is evaluated by the simulations.

Key words Wireless locating and tracking, OTD, Markov models, E-OTD

1 引言

随着无线通信业务发展, 无线蜂窝系统并不仅仅限于通信服务, 而需要不断增加新的服务功能。美国联邦通信委员会 (FCC) 发布了 E-911 条例, 其目的在于当求助者使用移动电话拨打紧急求助电话时 (例如, 美国的 911 紧急救助电话服务), 服务中心能够迅速并较为准确地确定求助者的位置, 从而能够为公众提供更为迅速有效的救助服务。E-911 条例要求所有移动网络实现定位, 要求如下: 基于网络定位方式满足成功概率 (67%) 定位精度 (150m 以内), 成功概率 (95%) 定位精度 (300m 以内); 基于移动台定位方式满足成功概率 (65%) 定位精度 (50m 以内), 成功概率 (90%) 定位精度 (125m 以内)^[1]。在其它方面定位服务要求也与日俱增, 如: 信息服务, 提供移动台所在区域的信息及导航等其它服务; 智能运输系统 (ITS), 对车队的运输系统中各车辆和移动资源进行定位, 检测交通事故和堵塞, 以实现智能化管理与调度; 其它增值服务, 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, 到最近的一家餐馆就餐, 到最近的一处自动提款机取款等。

定位跟踪实现分成两部分, 一是移动台的位置计算, 本文称此为观测值的获取; 二是移动台的跟踪, 本文称此为跟踪点迹获取。对前者研究的文献较多, 其中 Reed^[1], Caffery^[2] 做出了

¹ 2002-10-28 收到, 2003-03-06 改回
中兴通信基金资助项目

总结和引导性工作。观测值获取主要有基于网络(利用上行链路)^[3,4]和基于移动台(利用下行链路)两种方式。由于基于网络的方法存在严重的多址干扰,因此 3GPP 提出采用基于下行链路增强观测时间差(E-OTD)方法^[5]。在算法方面涉及到解非线性方程,主要有 Chan 方法^[6], Fang 方法^[7]和泰勒级数展开^[8]。本文主要采用基于移动台的 E-OTD 方法利用泰勒级数展开对移动位置观测值坐标进行计算。而对跟踪研究的相关文献报道较少,由于移动台观测值性能并不是仅仅利用均方误差来衡量,而是采用圆周概率即命中率来描述,是一种非线性模型。因而传统的用最小二乘法, α - β 滤波器,卡尔曼滤波来实现跟踪较为困难,因此本文提出采用马尔科夫链配合相关检测距离门的跟踪方法。

本文内容安排如下,第 2 节阐述定位跟踪实现方案算法;第 3 节给出信道模型;第 4 节为 W-CDMA 环境下的仿真试验及其结果,第 5 节进行总结并指出需要进一步研究的内容。

2 定位跟踪实现方案算法

2.1 观测值获取

E-OTD 方法是利用下行链路信号来估计若干个基站两两间信号到达移动台的时间差,我们称之为移动台观测时间差(OTD)。当基站间相互同步时,OTD 就代表了由于两个基站地理位置不同而造成的信号传播时间差,称之为地理位置时间差(GTD);当基站间无法实现精确同步时,两个基站间实际时钟差异(RTD)就会影响移动台观测时间差,此时, GTD, OTD 和 RTD 三者之间存在以下关系: $GTD=OTD-RTD$ 。

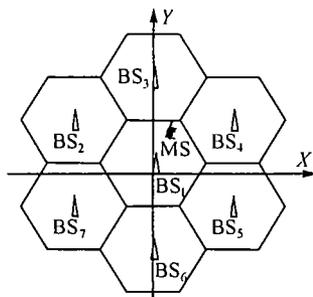


图 1 定位基站分布示意图

显然,当基站间相互同步时,RTD 等于 0。而当获得 3 个以上基站相互间的 RTD 和 OTD 后,就可以利用双曲线定位方法求解出移动台的地理位置。因此该方法又称为双曲线定位法,一组时间差确定一组双曲线,通过求两组双曲线的交点得到用户位置信息。要完成定位必须要 3 个或 3 个以上的基站参与,如图 1 所示,MS 为移动台,BS₁~BS₇ 为基站。

观测值获取的第一步是得到 OTD 的值。我们首先给出信号传播的信道模型,设第 k 个基站发射的信号为 $s_k(t)$,由于多径的存在则到达移动台的信号表达式为

$$r(t) = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^N A_l f_l(t - t_l) \times s_{kl}(t - t_l) + n(t) \quad (1)$$

其中 N 为多径数目, M 表示基站数, 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。

移动台将接收的信号与各基站的导频码进行相关处理,见式(2)其中 $g_k(t)$ 表示第 k 个基站扩频信号,相关信号通过平方检波,得到相关峰值的信号延时:

$$c_k(\tau) = \int_0^T r(t)g_k(t + \tau)dt \quad (2)$$

通过减法得到 OTD 的值

$$\tau_{k1} = c_k(\tau) - c_1(\tau) \quad (3)$$

τ_{k1} 为移动台观测基站 1 与基站 k 的观测时间差。

第二步是通过 OTD 值得到移动台的观测值, 参看图 1。设移动台 MS 坐标为 (x, y) , 第 k 个基站 BS_k 坐标为 (x_k, y_k) , 移动台到基站的距离为 $r_k (k = 1, 2, \dots, M)$, 则存在方程:

$$r_k = \sqrt{(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2} \quad (4)$$

$$r_k - r_1 = c\tau_{k1}, \quad k = 2, 3, \dots, M \quad (5)$$

上式中 $c = 3 \times 10^8 \text{m/s}$ 为电波传播速度, M 为参与定位服务的基站数。式 (4) 显然满秩, 但它是非线性方程, 直接求解困难, 方法不当会导致非线性误差出现, 求解过程是想办法使其线性化, 本文采用泰勒级数展开将其线性化, 求解公式如下:

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} = [A^T A]^{-1} A^T Z \quad (6)$$

其中

$$Z = \begin{bmatrix} c\tau_{21} - (r_2 - r_1) \\ c\tau_{31} - (r_3 - r_1) \\ \vdots \\ c\tau_{M1} - (r_M - r_1) \end{bmatrix}_{(M-1) \times 1} \quad A = \begin{bmatrix} \frac{(x_2 - x)}{r_2} - \frac{(x_1 - x)}{r_1} & \frac{(y_2 - y)}{r_2} - \frac{(y_1 - y)}{r_1} \\ \frac{(x_3 - x)}{r_3} - \frac{(x_1 - x)}{r_1} & \frac{(y_3 - y)}{r_3} - \frac{(y_1 - y)}{r_1} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{(x_M - x)}{r_M} - \frac{(x_1 - x)}{r_1} & \frac{(y_M - y)}{r_M} - \frac{(y_1 - y)}{r_1} \end{bmatrix}_{(M-1) \times 2} \quad (7)$$

M 表示参与处理的基站数目。

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x + \Delta x \\ y + \Delta y \end{bmatrix} \quad (8)$$

以移动台所在小区基站坐标 $BS_1(x_1, y_1)$ 作为泰勒级数迭代的初始值代入式 (6), 通过式 (6), (7) 的迭代求出移动台位置坐标。

2.2 跟踪点迹获取

由于通过定位算法得到的位置坐标是一个命中概率的分布, 主要因为非直达波 (NLOS) 存在对 OTD 的测量值有较大影响^[9], 不能用一个简单的统计特性来描述。应以移动台所在小区基站坐标 $BS_1(x_1, y_1)$ 作为泰勒级数迭代的初始值代入式 (6), 通过式 (6), (7) 的迭代求出移动台位置坐标。

此跟踪算法对用户移动路径采用“2/3 法则”马尔科夫链路配合相关检测距离门实现, 马尔科夫链路管理示意图如图 2 所示。图中: s_1 为起始点迹, s_2, s_3, s_4 为暂定点迹, s_5, s_6, s_7 为稳定点迹。 p 表示有点与该移动轨迹匹配成功, q 表示点与该移动轨迹匹配不成功。该方法的基本思想是连续 2 次观测点与移动点迹匹配成功则进入稳定点迹, 如果连续 3 次移动点迹匹配不成功则该点迹被删除。

跟踪具体实现方法如下: 设通过式 (6), (7) 计算得到的坐标 (x_i, y_i) 为观测点 $Z_i, i = 1, 2, \dots, n$ 。经过跟踪处理后的点迹为 $s_i, i = 1, 2, \dots, n$ 。

- (1) 将式 (6), (7) 解得的 (x_i, y_i) 作为起始点迹 s_i , 设置移动距离门 G 。
- (2) 将下一计算值 Z_{i+1} 与 s_i 比较, 若两点间距离小于 G , 则转到 (3), 反之转到 (4)。
- (3) $s_{i+1} = (x_{i+1}, y_{i+1}), G = \mu d(s_i, s_{i+1}), \mu$ 为一正系数, 转到 (5)。
- (4) $s_{i+1} = s_i$, 距离门惯性外推 $G = G + G$, 将 Z_{i+1} 作为新的点迹起始点。
- (5) 按“2/3 法则”马尔科夫链路对点迹进行管理, 返回 (1) 直到 $i = n$ 。

对漏掉的点迹采用线性插值进行拟合。

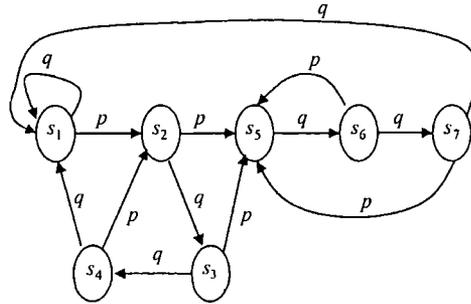


图 2 马尔科夫链路管理示意图

移动点迹对观测点的竞争处理，当两个移动点迹连续 3 次包括相同观测点，则点迹数长的淘汰点迹数短的点迹。

3 信道模型

多径延时 t_l 由传输模型确定，传输延时^[10] $\tau = Td^\epsilon \xi$ ，其中 T 表示单位距离 (1km) 的多径时间扩散因子； d 为传输的距离单位 km； ϵ 为扩展因子在 0.5~1 之间； ξ 为一对数变量， $10\lg\xi$ 为零均值高斯随机变量，标准差为 δ_ξ ， δ_ξ 在 2~6dB，具体取值见表 1。

表 1 多径时延

环境类型	$T(\mu s)$	ϵ	$\delta_\xi(\text{dB})$
较差城市	1.0	0.5	4
一般城市	0.4	0.5	4
市郊	0.3	0.5	4
农村	0.1	0.5	4

路径损失可以由 Hata 模型来建立 (它是一个基于 Okumura 的试验结果建立的宏蜂窝路径损耗模型)。根据科学和技术欧洲协会 (EURO-COST) 组成 COST-231 工作委员会对 Hata 模型进行扩展，提出了扩展到 2GHz 的公式，路径损耗可以用下式来表示：

$$L_p(\text{dB}) = 46.3 + 33.9 \lg f_c - 13.82 \lg h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \lg h_b) \lg d + c \quad (9)$$

其中

$$c = \begin{cases} 0\text{dB}, & \text{中等城市和郊区} \\ 3\text{dB}, & \text{市区} \end{cases}$$

$$a(h_m) = \begin{cases} (1.11 \lg(f_c) - 0.7)h_m - (1.56 \lg(f_c) - 0.8), & \text{对于中 / 小城市} \\ 8.28(\lg(1.54h_m))^2 - 1.1, & \text{对于大城市且 } f_c \geq 400 \text{ MHz} \\ 3.2(\lg(11.75h_m))^2 - 4.97, & \text{对于大城市且 } f_c < 400 \text{ MHz} \end{cases}$$

扩展公式适用于下列参数： f_c 为载波频率取值范围 1500MHz~2000MHz； h_b 为基站天线高度取值范围：30m~200m； h_m 为移动台天线的高度取值范围 1m~10m； d 为基站与移动台之间的距离取值范围 1km~20km。各条多径的 A_l 可以按如下比例给出：第 1 条多径强度为 0.4，第 2 条多径强度 0.3，剩下多径强度各为 0.1。

4 仿真结果

实验参数为基站坐标 $BS_1(0, 0)$, $BS_2(2000, 0)$, $BS_3(0, 2000)$, $BS_4(-1500, 1500)$, $BS_5(-1500, -1500)$, $BS_6(0, -2000)$, 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 3.844MHz/s。多普勒衰落频率为 100Hz, 多普勒衰落方式按文献 [11] 提供的方法产生。

采样频率为 4 倍码元频率, 多径数为 3, 多径延时采用一般城市情况及 $T=0.4$, $\epsilon = 0.5$, $\xi = 4\text{dB}$, 信号噪声比 10dB, 以距离基站 1km 为基准, 距离门 G 初始值为 125m, $\mu = 2$, 以 1s 为一定位计算帧。移动台 $MS(400, 400)$, 沿 x 轴方向移动速度 5m/s, 沿 y 轴方向移动速度 5m/s。

图 3 和图 6 中的直线表示移动台实际移动点迹。图 3 为经过 OTD 方法计算出的移动台观测点迹结果, 可以看到该观测点迹与移动台实际运动点迹在部分观测处存在较大偏差。图 4 为经过马尔科夫链路配合相关检测距离门检测得到的多条移动台移动轨迹。图 5, 图 6 为经过移动台移动轨迹滤波与平滑处理后的移动台测量移动台移动轨迹, 可以看到图 6 的跟踪移动台移动轨迹结果比图 3 性能有较大提高。当移动台不发生移动时, 该方法同样适用, 由于该方法利用多次测量信息, 因此对移动台不发生移动时的定位准确度也有提高。缩短定位帧时间长度也可以提高跟踪准确度。

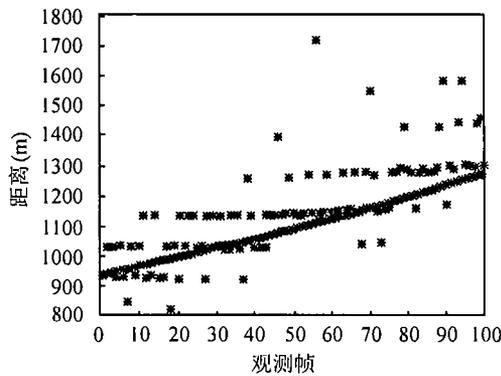


图 3 观测点迹

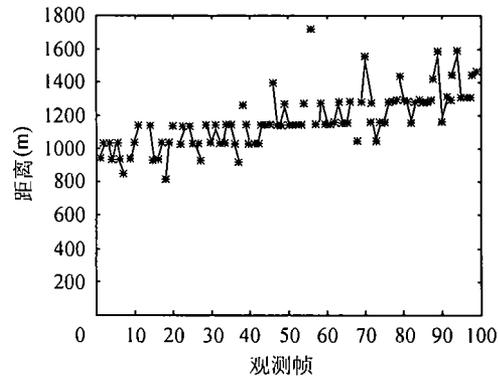


图 4 检测后的移动台移动轨迹

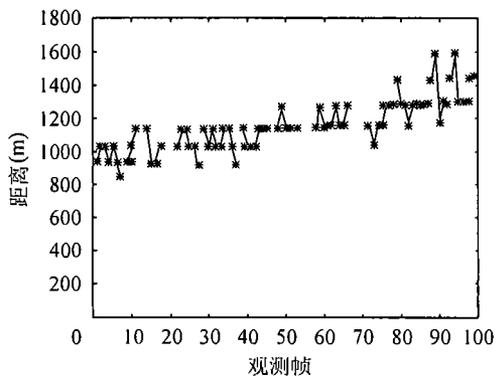


图 5 滤波处理后的移动台移动轨迹

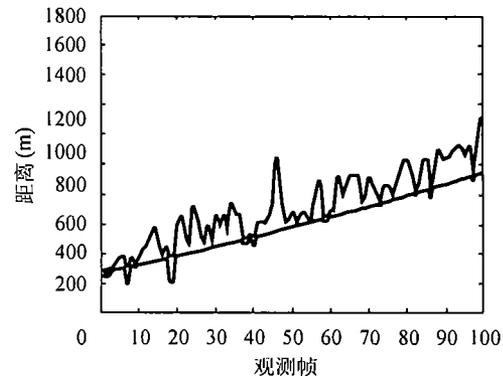


图 6 平滑处理后的移动台移动轨迹

5 小结

本文提出了利用马尔科夫链路配合相关检测距离门实现对移动台的跟踪。该方法实现简单,可靠,充分利用了定位计算命中概率这一特性。该方法也适用于对移动台不移动的情况。本文提出的方法还存在有待进一步研究的问题,如对检测距离门的选取和调整,对点迹跟踪匹配时漏掉的观测点本文采用的是线性插值,亦可以进一步考虑采用非线性拟合的方法等。

参 考 文 献

- [1] Reed J H. An overview of the challenges and progress in meeting the E-911 requirement for location service. *IEEE Communications Magazine*, 1998, 36(4): 30-37.
- [2] Caffery J. Overview of radiolocation in CDMA cellular systems. *IEEE Communications Magazine*, 1998, 36(4): 38-45.
- [3] Gu Jie. Wireless location for W-CDMA. 2002 Int. Conf. on Communication Circuits and Systems, Chengdu, China, 2002: 225-228.
- [4] Gu Jie. W-CDMA wireless cellular location and tracking based on Markov models. 2002 Int. Conf. on Communication Circuits and Systems, Chengdu, China, 2002: 234-237.
- [5] Kangas F A. Time-of-arrival estimation for E-OTD location in GERAN. 12th IEEE Int. Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, California, USA, 2001, 2: 121-125.
- [6] Chan Y T. A simple and efficient estimate for hyperbolic location. *IEEE Trans. on Signal Processing*, 1994, 42(8): 1095-1115.
- [7] Fang B T. Simple solution for hyperbolic and related fixes. *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, 1990, 26(5): 748-753.
- [8] Foy H. Position-location solutions by Taylor-series estimation. *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, 1976, AES-12(2): 187-194.
- [9] Li Cong, Zhuang Weihua. Non-line-of-sight error mitigation in TDOA mobile location. IEEE GLOBECOM'01, San Antonio, Texas, USA, 2001: 680-684.
- [10] Greensteion J. A new path-gain/delay-spread propagation model for digital cellular channels. *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, 1997, 46(2): 477-485.
- [11] Rappaport S. *Wireless Communications Principles & Practice*. New York, USA: Prentice Hall Inc., 1996: 183-184.

顾 杰: 男, 1974 年生, 博士生, 研究方向主要为自适应信号处理、蜂窝定位技术、智能天线。

何 芳: 女, 1977 年生, 硕士生, 研究方向主要为 GPS、合成孔径雷达成像、阵列信号处理。

龚耀寰: 男, 1938 年生, 教授, 博士生导师, 1979-1981 年英国拉力夫巴勒技术大学访问学者。1991 年, 1992 年德国慕尼黑技术大学客座教授。研究方向主要为自适应信号处理、智能天线、高速并行信号处理。