

一种改进的 NLOS 环境下的 TDOA/AOA 混合定位算法

段凯宇 张力军

(南京邮电学院信息工程系 南京 210003)

摘要 在蜂窝移动通信系统中,利用基站测量的到达时间差(TDOA)和电波到达角(AOA)的混合定位方法能够比传统的 TDOA 方法提供更高的定位精度。但是在非视距(NLOS)条件下,当 AOA 的测量误差超过一定值时,定位的误差仍然很大。该文根据 NLOS 传播环境下附加传播时延服从指数分布的特性,估计附加时延的均值和方差,对 TDOA 测量值进行重构,再以 AOA 方法进行辅助定位。仿真结果表明,该算法能显著提高传统的 TDOA 和 TDOA/AOA 方法在 NLOS 传播环境下的定位精度。

关键词 到达时间差,到达角,非视距,定位

中图分类号: TN929.53

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2006)02-0203-05

An Improved Hybrid TDOA/AOA Location Algorithm in NLOS Environment

Duan Kai-yu Zhang Li-jun

(The Department of Information Engineering, Nanjing Univ. of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract In cellular mobile communication systems, the hybrid Time Difference Of Arrival(TDOA) and the Angle Of Arrival(AOA) location algorithm can reach higher accuracy than traditional TDOA method does. But in NLOS environment, when the measurement error of AOA surpasses a certain value, the location error is still large. This paper proposes an effective location method on the condition that the excessive time delay in NLOS environment is exponential. This method estimates the mean and variances of the excessive time delay based on its statistical property firstly and then reconstructs the TDOA for migrating the influence of the NLOS error. Then use the AOA algorithm as the assistant method. The result of simulation proves its effectiveness in improving the location accuracy than traditional TDOA and TDOA/AOA method in NLOS propagation environment.

Key words Time Difference Of Arrival(TDOA), Angle Of Arrival(AOA), Non Line Of Sight(NLOS), Location

1 引言

随着移动通信技术的飞速发展,利用蜂窝网络对移动台进行定位将逐渐成为蜂窝网络的一项重要的基本功能。目前,国内的联通公司已经在某些城市试验开通了此项业务。因此,无线定位技术成为近年来一个研究热点。在已有的研究成果中,TDOA方法由于对设备改动少并且不需要移动台与基站间进行严格的时间同步,因而是一种理想的定位方法。在视距(LOS)传播环境下,认为TDOA测量值只受到服从0均值高斯分布的系统测量误差噪声的影响,Chan算法^[1]是基于TDOA方法的一种,在高斯噪声环境下有着较好的定位精度,理论上可以达到克拉美-罗下界(CRLB);在非视距(NLOS)传播环境下,除了受到系统测量误差的影响外,由于

电波的多径及散射还会引起一个非高斯的附加时延误差,并且这个误差总是大于0的,因此总的误差已不再是0均值的高斯噪声,算法的定位精度将会受到很大的影响。随着智能天线阵在基站中的使用,基站将能够测量比较精确的AOA值,利用TDOA与AOA的混合定位方法^[2-4],能够得到比单纯使用TDOA方法更好的精度。文献[2]与文献[4]都是在Chan算法的基础上再增加一个表示角度测量误差的方程,只是这个方程有所不同。文献[4]的角度误差方程与文献[2]相同,先利用文献[2]算法的第一步先求得一初始解后利用坐标与距离的约束关系构造一约束平面,再进行一次LS求解。但是这3种方法都是只考虑0均值的高斯系统测量误差,而没有考虑NLOS环境下的附加时延误差。因此即便服务基站能够得到比较精确的AOA测量值,但由于移动台与其它非服务基站之间存在附加时延误差,当AOA误差超过一定值

时, TDOA/AOA方法的定位精度也将进一步下降。针对如何消除NLOS的影响, 多年来已提出了一些方法, 文献[5]用 N 阶多项式对一段时间内的TDOA测量数据进行平滑, 根据平滑值与测量值之间的偏移量对平滑曲线进行修正得到近似在LOS环境下的TDOA测量值; 文献[6]是对定位结果进行加权平均以降低NLOS误差; 文献[7,8]利用NLOS误差的统计特性对测量的TDOA值进行修正以减小误差。

本文在继承原 TDOA/AOA 方法优点的基础上, 根据NLOS条件下电波传播附加时延的分布特性, 利用附加时延的均值和方差的估计值对 TDOA 测量值进行重构, 再利用TDOA/AOA方法进行定位。结果表明, 本方法能有效提高NLOS环境下的定位精度。

2 TDOA/AOA 混合定位方法

设移动台为 MS, 坐标为 (x, y) , 参与定位的基站为 BS_i , 其坐标为 (x_i, y_i) , 个数为 M , MS 到 BS_i 的距离为

$$r_i = \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} = \sqrt{K_i - 2x_i x - 2y_i y + x^2 + y^2}, \quad i=1,2,\dots,M \quad (1)$$

其中 $K_i = x_i^2 + y_i^2$ 。设 BS_1 为服务基站, 则相应的距离差为 $r_{i,1} = cr_{i,1} = r_i - r_1$, $\tau_{i,1}$ 为对应的 TDOA 时间, c 为电波传播速度, 可以得到 $(r_{i,1}^2 - K_i + K_1)/2 = -(x_{i,1}x + y_{i,1}y + r_{i,1}r_1)$, 其中 $x_{i,1} = x_i - x_1$, $y_{i,1} = y_i - y_1$ 。当存在系统测量误差时由文献[1]可得

$$(r_{i,1}^2 - K_i + K_1)/2 + (x_{i,1}x + y_{i,1}y + r_{i,1}r_1) \approx cr_i^0 n_{i,1}, \quad i=2,3,\dots,M \quad (2)$$

$n_{i,1}$ 为 TDOA 系统测量误差。假设服务基站测得的 AOA 为 $\alpha = \alpha^0 + n_\alpha$, α^0 为 α 的真实值, n_α 为 AOA 的测量误差, $\tan \alpha^0 = (y-y_1)/(x-x_1)$, 根据文献[2], 当 AOA 测量误差较小时有

$$\tan \alpha - \tan \alpha^0 = (x_1 \tan \alpha - y_1) - (\tan \alpha x - y) \approx n_\alpha \quad (3)$$

$$\text{令 } \mathbf{z}_a = [\mathbf{z}_p^T, r_1^T]^T, \text{ 其中 } \mathbf{z}_p = [x, y]^T, \mathbf{h} = \begin{bmatrix} (r_{2,1}^2 - K_2 + K_1)/2 \\ (r_{3,1}^2 - K_3 + K_1)/2 \\ \vdots \\ (r_{M,1}^2 - K_M + K_1)/2 \\ x_1 \tan \alpha - y_1 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{G}_a = \begin{bmatrix} -x_{2,1} & -y_{2,1} & -r_{2,1} \\ -x_{3,1} & -y_{3,1} & -r_{3,1} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -x_{M,1} & -y_{M,1} & -r_{M,1} \\ \tan \alpha & -1 & 0 \end{bmatrix}, \text{ 由式(2)和式(3)可建立线性方程}$$

组:

$$\boldsymbol{\psi} = \mathbf{h} - \mathbf{G}_a \mathbf{z}_a^0 \approx \begin{bmatrix} cr_{2,1}^0 n_{2,1} \\ cr_{3,1}^0 n_{3,1} \\ \vdots \\ cr_{M,1}^0 n_{M,1} \\ n_\alpha \end{bmatrix} = \mathbf{cBn} \quad (4)$$

式中 $\mathbf{B} = \text{diag}\{r_2^0, r_3^0, \dots, r_M^0, r_1^0\}$, $\mathbf{n} = [n_{2,1} \ n_{3,1} \ \dots \ n_{M,1} \ n_\alpha / (cr_1^0)]^T$,

\mathbf{z}_a^0 为 MS 的真实位置所对应的 \mathbf{z}_a 值。设各 TDOA 测量值与 AOA 测量值相互独立, 则 \mathbf{n} 的协方差矩阵 $\mathbf{Q} = \text{diag}\{\sigma_{2,1}^2, \sigma_{3,1}^2, \dots, \sigma_{M,1}^2, \sigma_\alpha^2 / (cr_1^0)^2\}$, 因为 r_1^0 是不可知的, 可以用 r_1 的测量值代替。根据文献[1], 用两步 WLS 计算可以得到最终的位置估计 $\mathbf{z}_p = [\hat{x}, \hat{y}]$ 。

当 TDOA 与 AOA 的测量误差噪声服从 0 均值高斯分布时, 该算法对噪声有着较好的抑制作用, 一般认为由于系统造成的测量误差是服从 0 均值高斯分布的; 但当高斯噪声上再叠加上一个非 0 均值的噪声时, 算法的精度将会下降, 由于电波的反射和散射造成的 TDOA 附加时延误差是非 0 均值的并且也是非高斯的。因此, 如果能够估计出 TDOA 附加时延的均值和方差, 在一定程度上将附加时延误差除去, 使总的测量误差尽可能地接近服从高斯分布, 那么必定能够提高算法的 NLOS 环境下的定位精度。

3 TDOA 测量值的重构

3.1 TDOA 测量误差模型

设 τ_i 为 MS 与 BS_i 之间的 TOA 测量值, 由于存在系统的测量误差和由 NLOS 引起的附加时延误差, τ_i 可表示为^[7]:

$$\tau_i = \tau_i^0 + n_i + \tau_{ei}, \quad i=1,2, \dots, M \quad (5)$$

其中 τ_i^0 为 LOS 环境下 TOA 的值, n_i 为系统测量误差, 服从 0 均值高斯分布, 方差为 σ_n^2 ; τ_{ei} 为由 NLOS 引起的附加时延误差, 它是一个大的正均值随机变量, 其均值记为 μ_{ei} , 方差为 σ_{ei}^2 , 各 τ_{ei} 之间相互独立, 则有

$$\begin{aligned} \tau_{i,1} &= \tau_i - \tau_1 = (\tau_i^0 - \tau_1^0) + (n_i - n_1) + (\tau_{ei} - \tau_{e1}) \\ &= \tau_{i,1}^0 + n_{i,1} + \tau_{ei,1}, \quad i=2,3,\dots,M \end{aligned} \quad (6)$$

其中 $\tau_{i,1}^0$ 为在 LOS 环境下 TDOA 值; $n_{i,1}$ 为系统测量误差, 服从 0 均值高斯分布, 方差为 $\sigma_{n,1}^2$; $\tau_{ei,1}$ 为由 NLOS 引起的附加时延误差, 其均值为 $\mu_{ei,1}$, 方差为 $\sigma_{ei,1}^2$; $n_{i,1}$ 与 $\tau_{ei,1}$ 相互独立。

根据式(6)可得

$$\mu_{ei,1} = E(\tau_{ei} - \tau_{e1}) = \mu_{ei} - \mu_{e1} \quad (7)$$

$$\sigma_{ei,1}^2 = D(\tau_{ei} - \tau_{ei}) = \sigma_{ei}^2 + \sigma_{e1}^2 \quad (8)$$

因此 $\tau_{i,1}$ 可改写为

$$\tau_{i,1} = \tau_{i,1}^0 + \mu_{ei,1} + n'_{i,1} \quad (9)$$

其中 $n'_{i,1}$ 为均值为 0, 方差为 σ^2 的随机变量。

$$\sigma^2 = \sigma_{ni,1}^2 + \sigma_{ei,1}^2 \quad (10)$$

3.2 NLOS 引起的附加传播时延的均值与方差

由文献[9], 在 NLOS 环境下附加时延在不同的信道环境下服从均匀分布、指数分布或 Delta 分布, 本文考虑指数分布的情况, 其概率密度函数为

$$f(\tau_{ei}) = \frac{1}{\tau_{i,rms}} \exp\left(-\frac{\tau_{ei}}{\tau_{i,rms}}\right), \quad \tau_{ei} \geq 0 \quad (11)$$

式中 $\tau_{i,rms}$ 为均方根时延扩展(单位为微秒), 可表示为

$$\tau_{i,rms} = T_1 d_i^\varepsilon \xi \quad (12)$$

T_1 为 $\tau_{i,rms}$ 在 $d_i = 1\text{km}$ 时的中值(单位为微秒), d_i 为 MS 与 BS_i 之间的距离(单位为千米), ε 为 0.5~1 之间的一个常数, ξ 为服从 0 均值对数正态分布的随机变量, 标准差 σ_ξ 为 4~6dB。不同信道环境下的参数如表 1 所示:

表 1 不同信道环境下的参数取值

信道环境	T_1 (μs)	ε	σ_ξ (dB)
闹市区	1.0	0.5	4
一般市区	0.4	0.5	4
郊区	0.3	0.5	4
远郊	0.1	0.5	4

文献[7]认为 $\tau_{i,rms}$ 在定位期间为一个常数, 但是在实际的信道环境中, 即使移动台处于静止状态, 在移动台周围除了一些固定的物体外, 大量移动的物体也会造成不断变化的电波反射与散射路径, 从而在较短时间内也会引 $\tau_{i,rms}$ 值的变化, 本文认为 $\tau_{i,rms}$ 作为一个随机变量更加符合实际情况, 应该用其均值作为估计值。根据概率论的知识可知服从参数为 $\tau_{i,rms}$ 的指数分布的随机变量其均值和方差分别为 $\mu_{ei} = E(\tau_{i,rms})$, $\sigma_{ei}^2 = E(\tau_{i,rms}^2)$ 。由式(12)知 $\ln \tau_{i,rms} = \ln T_1 d_i^\varepsilon + \ln \xi$, 令 $m_i = \ln T_1 d_i^\varepsilon$, 对于确定的信道环境和移动台位置, 可知 m_i 为一常数, 因为 $\ln \xi \sim N(0, \sigma_\xi^2)$, 所以 $\tau_{i,rms}$ 也服从对数正态分布, 由此可得

$$E(\ln \tau_{i,rms}) = E(\ln T_1 d_i^\varepsilon) + E(\ln \xi) = m_i \quad (13)$$

$$D(\ln \tau_{i,rms}) = D(\ln T_1 d_i^\varepsilon) + D(\ln \xi) = \sigma_\xi^2 \quad (14)$$

即 $\ln \tau_{i,rms} \sim N(m_i, \sigma_\xi^2)$, $\tau_{i,rms}$ 的概率密度函数为

$$f(\tau_{i,rms}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_\xi^2\tau_{i,rms}}} \exp\left[-\frac{(\ln \tau_{i,rms} - m_i)^2}{2\sigma_\xi^2}\right], \quad \tau_{i,rms} \geq 0 \quad (15)$$

可以求得:

$$\mu_{ei} = E(\tau_{i,rms}) = \int_0^\infty \tau_{i,rms} f(\tau_{i,rms}) d\tau_{i,rms} = \exp(m_i + \sigma_\xi^2/2) \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{ei}^2 &= E(\tau_{i,rms}^2) = \int_0^\infty \tau_{i,rms}^2 f(\tau_{i,rms}) d\tau_{i,rms} \\ &= \exp(2m_i) \cdot (\exp(2\sigma_\xi^2) - \exp(\sigma_\xi^2)) \end{aligned} \quad (17)$$

再根据式(7)和式(8)可求得

$$\mu_{ei,1} = [\exp(m_i) - \exp(m_1)] \cdot \exp(\sigma_\xi^2/2) \quad (18)$$

$$\sigma_{ei,1}^2 = [\exp(2\sigma_\xi^2) - \exp(\sigma_\xi^2)] \cdot [\exp(2m_i) + \exp(2m_1)] \quad (19)$$

3.3 TDOA 值的重构及定位

Chan 算法是一种两步 WLS 算法, 在 LOS 环境下只存在系统测量误差时有很好的定位精度, 原因是其将系统测量误差包含在加权矩阵中, 在一定程度上抵消了系统测量误差带来的影响。由于系统测量误差服从 0 均值的高斯分布, 因而估计的结果是无偏的; 而在 NLOS 环境下 TDOA 的误差除了包含系统测量误差外还有附加时延带来的误差, 使得在 NLOS 环境下 TDOA 测量值总是比在 LOS 环境下的测量值大, 即总误差不是 0 均值的; 而 Chan 算法的加权矩阵中只考虑了系统测量误差, 这就使得在 NLOS 环境下使用 Chan 算法不能抵消附加时延带来的误差, 定位的结果必然会产生较大的误差, 并且位置的估计是有偏的。要取得较好的结果就必须对 TDOA 测量值进行重构以除去附加时延带来的误差。由式(6)令

$$\tau'_{i,1} = \tau_{i,1} - \mu_{ei,1} = \tau_{i,1}^0 + n'_{i,1} \quad (20)$$

作为 LOS 环境下 TDOA 值的近似; 又因为 $n'_{i,1}$ 是 0 均值的高斯随机变量, 所以可以看作是新的系统测量误差, 且 $E(\tau'_{i,1}) = \tau_{i,1}^0$; 这样 Chan 算法用重构后的 TDOA 值并辅以 AOA 方法进行混合定位必然会提高精度。具体步骤如下:

(1) 假设在时间 T 内共测得 K 组, 每组 $M-1$ 个 TDOA 测量值 $\tau_{i,1}(t_j)$ 及由 BS_1 提供的 TOA 测量值 $\tau_1(t_j)$, 用 Chan 算法先得到一个初始的位置估计。

(2) 利用这个初始位置计算 MS 到各 BS_i 的距离 d_i 以确定 m_i , 根据式(13), 式(14)计算 μ_{ei} 和 $\sigma_{ei,1}^2$, 由式(20)计算重构的 TDOA 值 $\tau'_{i,1}$ 。

(3) 根据式(8)和式(10)重构系统测量误差的协方差矩阵:

$$\mathbf{Q} = \text{diag}(\sigma_{n2,1}^2 + \sigma_{e2,1}^2, \sigma_{n3,1}^2 + \sigma_{e3,1}^2, \dots, \sigma_{nM,1}^2 + \sigma_{eM,1}^2, \sigma_\alpha^2 / (cr_1^0)^2)$$

(4) 根据重构的 $\tau'_{i,1}$ 和 \mathbf{Q} , 用 TDOA/AOA 算法计算每一时刻 MS 的位置 $[\hat{x}(t_j), \hat{y}(t_j)]$, 最后对这 K 个坐标取平均值作为最终的位置估计。

4 仿真结果与分析

本文通过计算机仿真对上述结论进行验证, 并在 NLOS

环境下与文献[1]和文献[2]的仿真结果进行比较。假设有7个基站参与定位, 小区半径为2km, 基站的几何结构如图1所示, 服务基站为 BS_1 , 基站坐标为: $BS_1(0,0)$, $BS_2(0,3464)$, $BS_3(3000,1732)$, $BS_4(3000, -1732)$, $BS_5(0, -3464)$, $BS_6(-3000, -1732)$, $BS_7(-3000,1732)$ 。为便于处理, 本文假设所有基站的系统测量误差为独立同分布的0均值高斯随机过程, 标准差为 $0.1\mu s$ 。信道环境为一般市区, MS与 BS_1 之间为LOS, 与其它6个非服务基站之间均为NLOS。AOA测量值服从0均值高斯分布, 文献[10]的测量结果表明, 在以MS为圆心散射圆半径为1km时, AOA的测量值在 $0.0349\sim 1.047rad(2^\circ\sim 6^\circ)$ 之间, 文献[11]的仿真结果表明在室外多径环境下AOA的测量值可以精确到 $0.0698rad(4^\circ)$ 以内, 因此本文取AOA标准差为 $0.01\sim 0.09rad$, 移动台在服务小区内均匀分布。仿真的最后结果为1000次仿真结果的平均值, 根据仿真结果可以得到以下结论:

(1) 3种不同方法的角度测量误差对定位精度RMSE(均方误差)影响的比较(图2)。

可以看出, 当角度测量误差小于 $0.05rad$ 时, 文献[2]的方法的定位精度明显高于文献[1]的方法, 误差超过 $0.07rad$ 后文献[2]方法则劣于文献[1], 而本文提出的方法在角度误差超过 $0.09rad$ 后性能仍大大优于上述两种方法。

(2) 3种不同方法的定位精度的CDF(累积概率分布函数)的比较(图3)。

在相同定位精度的条件下, 本文算法的可靠性要优于文献[1]和文献[2]的方法, 能够满足E-911^[12]提出的125m定位精度的概率达到67%的要求。

(3) 小区半径对定位精度的影响(图4)。

小区半径越小则定位的精度越高。

(4) 基站数对定位精度的影响(图5)。

在角度测量偏差相同, 基站数大于4的条件下, 再增加基站数定位精度相差不大, 即本文方法对基站数不敏感, 不要求有过多的基站参与定位, 原因是每个基站与移动台之间的TDOA值都进行了修正, 对定位精度起主要作用的是AOA的测量偏差。

(5) 4种不同信道环境下定位误差的比较(图6)。

在闹市区定位的精度将大大下降, 但只要角度测量误差控制在一定范围内, 定位精度仍可接近E-911所要求的125m。

(6) 3种不同方法计算量的比较。

假定Chan算法的计算量为 N , 文献[2]的方法是在Chan算法的基础上增加了一个方程, 二者的计算过程是相同的, 可以认为两者计算量相差不大; 本文提出的方法首先利用Chan算法得到一个初始的解, 然后利用这个初始解对附加时

延的均值和方差进行估计和TDOA值的重构, 这个是标量运算, 计算量Chan算法相比可以忽略不计, 然后用文献[2]的方法求解, 总的计算量可以认为是 $2N$, 比前两种方法的计算量增加了一倍。

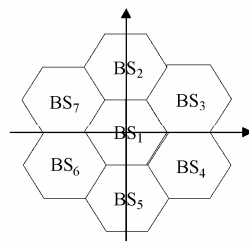


图1 基站的几何结构

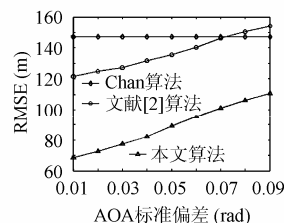


图2 3种不同方法的定位精度比较

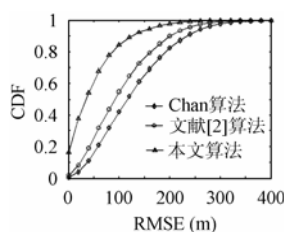


图3 3种不同方法的累积概率分布函数

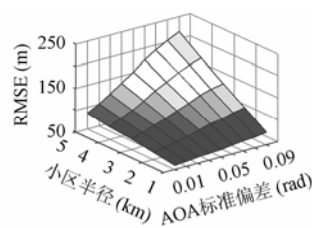


图4 小区半径对定位精度的影响

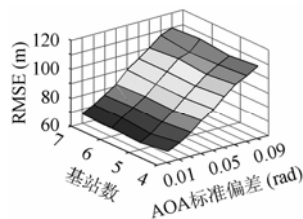


图5 基站数对定位精度的影响

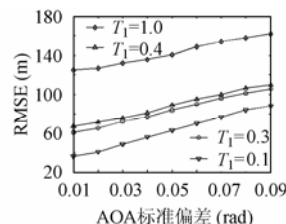


图6 不同信道环境下的定位误差

5 结束语

本文根据NLOS环境下附加时延的分布特性, 通过对TDOA测量值进行重构以减小NLOS环境下附加时延造成的定位误差, 并利用服务基站的角度测量值进行辅助定位以进一步提高定位精度。仿真的结果表明, 在不过多增加计算量和复杂度的情况下, 本方法能有效提高定位的精度及可靠性。

参考文献

- [1] Chan Y T, Ho K C. A simple and efficient estimator for hyperbolic location. *IEEE Trans. on Signal Processing*, 1994, SP-42(8): 1905–1915.
- [2] 邓平, 李莉, 范平志. 一种TDOA/AOA混合定位算法及其性能分析. *电波科学学报*, 2002, 17(6): 633–636.
- [3] Cong Li, Zhuang Wei-hua. Hybrid TDOA/AOA mobile user location for wideband CDMA cellular system. *IEEE Trans. on Wireless Communications*, 2002, 18(3): 439–447.

- [4] Ma Changlin, Klukas R, Lachapelle G . An enhanced two-step least squared approach for TDOA/AOA wireless location, ICC2003, Anchorage, Alaska, USA, 2003.5, Vol.2: 987 – 991.
- [5] Wylie M P, Holtzman J. The non-line-of-sight problem in mobile location estimation[A]. IEEE International Conference on Universal Personal Communication, Cambridge, Massachusetts, USA, 1996: 827 – 831.
- [6] Chen Pi-chun. A non-line-of-sight error mitigation algorithm. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC'99), New Orleans, USA, 1999, 1(9): 316 – 320.
- [7] 邓平, 刘林, 范平志. 一种基于 TDOA 重构的蜂窝网定位服务 NLOS 误差消除方法. 电波科学学报, 2003, 18(3): 311 – 316.
- [8] 田孝华, 廖桂生. 一种有效减小非视距传播影响的 TOA 定位方法. 电子学报, 2003, 31(9): 1429 – 1432.
- [9] Greenstein L J, *et al.*. A new path-gain/delay spread propagation model for digital cellular channel[J]. *IEEE Trans. on VT*, 1997, 46(2): 177 – 484.
- [10] Aszety D. On antenna arrays in mobile communication system: Fast fading and GSM base station receiver algorithms. [Ph.D. dissertation], Royal Institute Technology, Sweden, Mar. 1996.
- [11] Klukas R, Fattouche M. Line-of-sight angle of arrival estimation in the outdoor multipath environment. *IEEE Trans. on VT*, 1998, 47(1): 342 – 351.
- [12] Reed J, Rappaport T. An Overview of the challenges and progress in meeting the E-911 requirement for location Service[J]. *IEEE Communication Magazine* , 1998, 36(4): 30 – 37.
- 段凯宇: 男, 1973 年生, 博士生, 从事通信信号处理、蜂窝网络移动台定位技术研究.
- 张力军: 男, 1942 年生, 教授, 博士生导师, 目前研究领域为无线数据、无线 IP 接入技术与系统、移动计算网络及其应用等.