

基于目标三线坐标校正的定位方法

万 群, 刘申建, 彭应宁
(清华大学电子工程系, 北京 100084)

摘 要: 利用目标三线坐标的面积约束关系和海伦-秦九韶公式判定定位区域, 在三线坐标校正的基础上, 提出了一种新的测距定位算法. 在没有其他有用信息的情况下, 三线坐标校正相当于在定位直线中引入了面积约束. 仿真实验的结果表明, 该算法具有较强抑制非直达波误差的能力.

关键词: 定位方法; 三线坐标; 面积约束

中图分类号: TN929.53 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112(2002)06-0843-03

Source Location Method Based on Corrected Trilinear Coordinates

WAN Qun, LIU Sheng-jian, PENG Ying-ning

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: A new source location method is proposed based on the relation between the trilinear coordinates of the source and the area of basic triangle. Heron Qinjiushao formula is used to calculate the area of triangles. The location region of the source is determined and the trilinear coordinates of the source are corrected by using the constraint on area of triangles. Simulation studies show that the presented method outperforms the traditional method by reducing the standard deviation for scenarios with large non line of sight errors.

Key words: location method; trilinear coordinate; constraint on area

1 引言

利用蜂窝通信系统对手机用户精确定位, 是目前移动通信界正在攻克的一个技术难题, 涉及若干基础性理论和算法, 特别是非直达波(NLOS)条件下的定位理论和技术研究. 现有定位方法一般需假设目标与基站之间存在视线(LOS)传播路径, 这时目标位置与定位参数(如波达方向、波达时间等)之间存在比较简单、明确的几何关系^[1]. 在蜂窝通信中常见的NLOS条件下, 实际测量的定位参数与待估计的定位之间不再存在这种简单、明确的几何关系. 目前, 一般将NLOS引起的测量误差视为在统计特性上可以区别于测量噪声的一种特殊随机过程, 并利用测量噪声的统计信息、空间冗余信息(要求更多基站参与定位过程)或时间冗余信息(要求在较长一段时间内连续观测)分别处理LOS和NLOS两种条件下的参数测量结果, 再通过加权或统计校正处理, 抑制或消除NLOS对定位精度的不良影响^[2-4]. 这些方法的缺点是在LOS为主要成分时才能取得较好的NLOS抑制效果, 精确定位所需的附加信息在实际中也较难获得.

本文首先利用海伦-秦九韶公式^[5]由测距结果得到目标三线坐标, 再利用三线坐标系的面积约束关系^[5], 在没有其他有用信息的情况下, 提出了一种新的基于目标三线坐标校正的定位算法. 在定位直线中引入的面积约束在一定程度上

抑制了NLOS误差的影响. 采用以单一反射为基础的几何统计信道模型^[6]的仿真实验表明, 新算法的定位性能对NLOS误差具有较好的稳健性.

2 目标的三线坐标校正方法

假设三个基站位于平面上A、B、C三点, 直角坐标分别为 (x_i, y_i) , $i = 1, 2, 3$. A、B、C三点构成的三角形称为基本三角形, 三个顶点的对边长分别为a、b、c. 目标位于平面上P点, 直角坐标为 (x_0, y_0) .

目标P点的三线坐标定义^[5]: 假设目标到基本三角形三边BC、CA、AB的距离加上正、负号分别为 α, β, γ , 当P与A在BC的同侧时, α 为正实数, 异侧时, α 为负实数, 按同样的方法确定 β, γ 的符号, 则称 (α, β, γ) 为点P的三线坐标. 三线坐标系即平面上点集与实数组 (α, β, γ) 按上述法则建立的映射.

平面上任意一点P的三线坐标 (α, β, γ) 都满足下列关系^[5]:

$$a\alpha + b\beta + c\gamma = 2\Delta \quad (1)$$

其中 Δ 为基本三角形的面积. 这个约束关系表明, 三线坐标 (α, β, γ) 中只有两个独立的变数, 故为二维坐标系. 三线坐标 (α, β, γ) 的关系式(1)又可以表示为如下的面积约束关系:

$$\pm \Delta_1 \pm \Delta_2 \pm \Delta_3 = \Delta \quad (2)$$

其中 $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ 分别为三角形 PBC, PCA 和 PAB 的面积, 正、负号与三线坐标 (α, β, γ) 的正、负号一一对应. 三线坐标与三角形面积的关系为

$$\begin{aligned} a|\alpha| &= 2\Delta_1 \\ b|\beta| &= 2\Delta_2 \\ c|\gamma| &= 2\Delta_3 \end{aligned} \quad (3)$$

假设目标到三个基站的距离为 r_1, r_2, r_3 , 由海伦-秦九韶公式得^[5]

$$\begin{aligned} \Delta &= \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)} \\ \Delta_1 &= \sqrt{s_1(s_1-a)(s_1-r_2)(s_1-r_3)} \\ \Delta_2 &= \sqrt{s_2(s_2-b)(s_2-r_1)(s_2-r_3)} \\ \Delta_3 &= \sqrt{s_3(s_3-c)(s_3-r_1)(s_3-r_2)} \end{aligned} \quad (4)$$

其中

$$\begin{aligned} s &= (a+b+c)/2 \\ s_1 &= (a+r_2+r_3)/2 \\ s_2 &= (b+r_1+r_3)/2 \\ s_3 &= (c+r_1+r_2)/2 \end{aligned}$$

假设已知基站的直角坐标和目标到基站的距离测量结果 r_1, r_2, r_3 , 则由式(4)可以计算三角形面积 $\Delta, \Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$. 过基本三角形三边的三条直线一般能将定位平面划分为 7 个区域, 分别对应式(2)中正、负号选择的 7 种可能, 而 (α, β, γ) 全为负实数是不可能的. 因此, 由三角形面积 $\Delta, \Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ 的计算结果并利用式(2)和式(3), 可以得到目标的三线坐标 (α, β, γ) 的估计.

在非直达波条件下, 目标到基站的距离测量结果 r_1, r_2, r_3 的误差为非负实数. 假设目标的三线坐标 (α, β, γ) 的估计误差为 $(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3)$, 则

$$a(\alpha - \varepsilon_1) + b(\beta - \varepsilon_2) + c(\gamma - \varepsilon_3) = 2\Delta$$

估计误差 $(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3)$ 的最小范数估计为

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= a\varepsilon \\ \varepsilon_2 &= b\varepsilon \\ \varepsilon_3 &= c\varepsilon \end{aligned}$$

其中

$$\varepsilon = \frac{a\alpha + b\beta + c\gamma - 2\Delta}{a^2 + b^2 + c^2}$$

所以, 校正后的目标三线坐标 (α, β, γ) 的估计为

$$\begin{aligned} \hat{\alpha} &= \alpha - \varepsilon_1 \\ \hat{\beta} &= \beta - \varepsilon_2 \\ \hat{\gamma} &= \gamma - \varepsilon_3 \end{aligned} \quad (5)$$

3 定位算法

假设过基本三角形三边的三条直线方程分别为

$$y = k_i x + d_i$$

其中 $i = 1, 2, 3$. 由目标的三线坐标 (α, β, γ) 的定义可知, 目标位置为如下三条定位直线的交点:

$$\begin{aligned} y &= k_1 x + d_1 + \alpha \sqrt{1+k_1^2} \\ y &= k_2 x + d_2 + \beta \sqrt{1+k_2^2} \\ y &= k_3 x + d_3 + \gamma \sqrt{1+k_3^2} \end{aligned} \quad (6)$$

换句话说, 上述三条直线是过目标位置点 P , 且平行于基本三角形三边的直线. 容易证明(略), 在非直达波条件下将式(5)中校正后的目标三线坐标 $(\hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\gamma})$ 代替上述线性方程组中的 (α, β, γ) , 则上述线性方程组中只有两个方程是独立的. 通过求解这两个独立的线性方程, 可以得到目标的定位估计.

直接基于直角坐标系的测距定位算法是通过求三个定位圆的交点得到定位估计. 在 NLOS 条件下, 三个定位圆没有共同的交点, 定位估计为如下三条定位直线的交点^[11]:

$$\begin{aligned} y &= -\frac{1}{k_1}x + \frac{x_2^2 + y_2^2 - x_3^2 - y_3^2 - r_2^2 + r_3^2}{2(y_2 - y_3)} \\ y &= -\frac{1}{k_2}x + \frac{x_3^2 + y_3^2 - x_1^2 - y_1^2 - r_3^2 + r_1^2}{2(y_3 - y_1)} \\ y &= -\frac{1}{k_3}x + \frac{x_1^2 + y_1^2 - x_2^2 - y_2^2 - r_1^2 + r_2^2}{2(y_1 - y_2)} \end{aligned} \quad (7)$$

三个定位圆中每两个定位圆有一条公共弦线, 分别对应上述三条直线. 由于其中只有两条直线方程是独立的, 因此, 实际的定位估计为其中两条直线的交点.

比较定位直线式(6)和(7)可见(证明略), 在 NLOS 条件下, 式(6)中的三条定位直线在引入面积约束关系, 并将式(5)中经过校正的目标三线坐标 $(\hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\gamma})$ 代入之后才是非独立的, 而式(7)中的三条定位直线总是非独立的. 这种区别正是本文提出的新的定位算法的特点, 也是该定位算法具有抑制非直达波误差能力的主要原因.

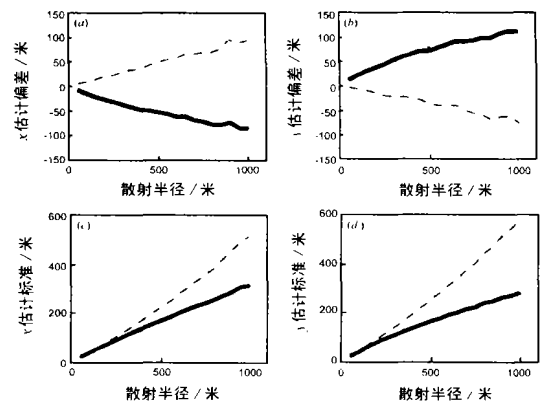


图1 (a)、(b)坐标 x 和 y 的估计偏差; (c)、(d)坐标 x 和 y 的估计标准偏差; — COA, ... TOA.

4 数值结果

假设直角坐标系中目标位于 $(3000, 1000)$, 三个基站分别位于 $(0, 0)$, $(5000, 0)$, $(2500, 4330)$, 单位为米. 这里不考虑测量噪声, 采用以单一反射为基础的几何统计信道模型 (GBSB) 模拟 NLOS 误差. 在圆形区域内均匀的放置散射物. 然后计算相应的传播距离, 散射圆的半径越大, NLOS 引起的测距误差越严重.

图 1(a) 和 (b) 分别给出了坐标 x 和 y 的估计偏差, 图 1(c) 和 (d) 给出了相应的标准偏差, 图 2 给出了定位估计的均方根误差, 其中虚线为常规测距定位算法 (TOA), 实线为基于面积约束的定位算法 (COA). 散射圆的半径在 50 米到 1000 米之间取值. 可见, 坐标 x 和 y 的估计偏差和标准偏差都与散射圆的半径成正比, 在散射圆的半径较大时, COA 定位算法的统计性能明显优于 TOA 定位算法.

为更好的比较 NLOS 误差对定位结果的影响, 图 3 给出了三种算法的定位误差累积分布曲线, 是目标位置在基本三角形中随机选取 10,000 次的统计结果, 散射圆的半径取值为 400 米, 其中虚线为 TOA 定位算法, 实线为 COA 定位算法. 满足美国联邦通信委员会 (FCC) 125 米精度要求的概率分别为 27% (TOA) 和 30% (COA). 以 70% 的概率而言, TOA 定位算法的平均定位误差小于 340 米, 而 COA 定位算法的平均定位误差小于 280 米.

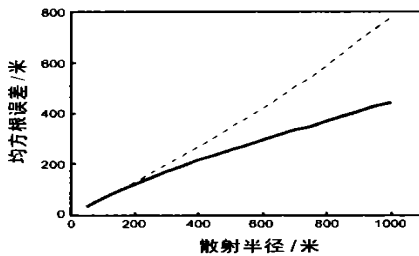


图 2 定位估计的均方根误差, —COA, ... TOA.

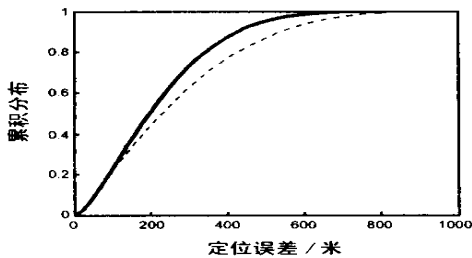


图 3 定位估计的概率分布函数, —COA, ... TOA.

5 结论

利用海伦-秦九韶公式和三线坐标系的面积约束关系, 可以方便的由测距结果得到校正的目标三线坐标. 在没有其他有用信息的情况下, 基于目标三线坐标校正的定位算法相当于在定位直线中引入了面积约束, 在一定程度上具有抑制非

直达波误差的作用. 基于 GBSB 散射模型的仿真实验表明, 本文提出的新算法的定位估计标准偏差较小, 统计性能较好, 但在较大的非直达波误差条件下, 仍需进一步研究利用其他有效信息的改进算法. 本文虽然只考虑了三站定位, 但基于目标三线坐标校正的定位算法可以直接推广到多于 3 个基站的情况.

参考文献:

- [1] Caffery J J. Wireless location in CDMA cellular radio systems [M]. Boston Dordrecht London: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [2] Deng P, et al. An AOA assisted TOA positioning system [A]. Proc ICCT2000 [C]. Beijing: 2000. 1-5.
- [3] P C Chen. A non line of sight error mitigation algorithm in location estimation [A]. IEEE Wireless Communications and Networking Conference [C]. 1999. 316-320.
- [4] Woo S S, et al. The NLOS mitigation technique for position location using IS-95 CDMA networks [A]. IEEE Vehicular Technology Conference [C]. 2000. 2556-432.
- [5] 谷超豪. 数学词典 [Z]. 上海: 上海辞书出版社, 1992.
- [6] Ertel R B, et al. Overview of spatial channel models for antenna array communication systems [J]. IEEE Personal Communications, 1998, 2: 10-22.

作者简介:



万 群 男, 1971 年生于江西南昌, 1993 年 7 月于南京大学获得学士学位, 1996 年 3 月和 2001 年 3 月于成都电子科技大学分别获得硕士和博士学位, 现为清华大学电子工程系博士后, 研究领域包括高分辨率阵列信号处理、分布式信号源参数估计、定位算法等.



刘申建 男, 1974 年生于湖北随州. 在哈尔滨工程大学(前船舶工程学院)电子系获硕士学位, 现为清华大学电子工程系在读博士生, 从事阵列信号处理和多站无源定位算法研究.