

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2016.11.003

引用格式:邓水发,邓平,芮洋.一种特殊 GDOP 场景下的 NLOS 传播识别算法[J].电讯技术,2016,56(11):1195-1200. [DENG Shuifa,DENG Ping,RUI Yang. A NLOS propagation identification algorithm for special GDOP scene[J]. Telecommunication Engineering,2016,56(11):1195-1200.]

一种特殊 GDOP 场景下的 NLOS 传播识别算法*

邓水发**,邓 平,芮 洋

(西南交通大学 信息编码与传输重点实验室,成都 610031)

摘 要:在地面无线定位中,影响定位精度的最大因素是电波的非视距(NLOS)传播误差,定位估计前识别收发信机之间电波是视距(LOS)还是 NLOS 传播是提升定位精度需要研究的重要课题。为此,先对一种基于交叉面积的 NLOS 识别算法进行改进,然后提出了一种针对特殊几何精度因子(GDOP)场景下的 NLOS 识别算法——分步检验算法。该算法采用两步进行识别,先用数据检验筛选出测量样本中的 LOS 测量值,再用改进的交叉面积算法进行识别。仿真结果表明,分步检验算法在特殊 GDOP 场景下具有良好的识别性能。

关键词:地面无线定位;非视距传播;特殊 GDOP;分步检验;识别算法;交叉面积算法

中图分类号:TN92 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2016)11-1195-06

A NLOS Propagation Identification Algorithm for Special GDOP Scene

DENG Shuifa,DENG Ping,RUI Yang

(Key Laboratory of Information Coding and Transmission, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract:In ground-based wireless positioning,a crucial factor influencing the positioning accuracy is the non-line-of-sight(NLOS) error of radio propagation. Before location estimation,determining the radio propagation between transmitter and receiver is LOS or NLOS is an important issue for improving positioning accuracy. Firstly,a NLOS identification algorithm based on intersection area measurements is improved. Then,for special geometric dilution of precision(GDOP) scene,a NLOS identification algorithm named step by step test algorithm is proposed. This algorithm realizes the NLOS identification by two steps. The LOS measurements are selected by data test(DT) method in the first step,and then the improved intersection area measurements algorithm is utilized to make the identification in the second step. The simulation results show that this algorithm possesses high identification performance under special GDOP scene.

Key words:ground-based wireless positioning;non-line-of-sight propagation;special GDOP;step by step test;identification algorithm;intersection area based algorithm

1 引 言

在城市环境中利用蜂窝基站对移动手机进行无线定位,以及海岸、边境、战场等场景利用地面侦测站对地面辐射源进行无线定位时,由于收发信机之间电波的非视距(Non-Line-of-Sight,NLOS)传播普

遍存在,使得侦测站测得的距离通常为具有较大误差的 NLOS 距离,大于两者之间的视距距离,从而引起定位精度严重下降。降低 NLOS 是无线定位领域提高定位精度的一个重要课题,目前针对 NLOS 误差采用直接消除及先识别后消除两种方法处理。由

* 收稿日期:2016-01-23;修回日期:2016-07-22 Received date:2016-01-23;Revised date:2016-07-22

** 通信作者:dengshuif. a@ 163. com Corresponding author:dengshuif. a@ 163. com

于直接消除方法如残差加权算法^[1]、迭代最小残差算法^[2]、二次规划算法^[3]等在 NLOS 误差较大及 LOS 侦测站较少时很难取得满意的性能。本文主要研究后一种方法,通过先对电波的 LOS/NLOS 传播进行识别,再采用适当的 NLOS 误差减弱算法来提高定位精度。例如:对 LOS 测量值赋予更大的权值,或者定位估计时直接排除 NLOS 误差较大的测量值。在现有先识别后消除类算法中,基于信号特征算法^[4-5],需要事先在某环境下进行大量的数据采集,记录某点的信号特征,然后建立一个数据库进行 LOS/NLOS 识别;基于位置残差算法^[6-7]要求基站数量较多;基于先验概率算法^[8-9]要求事先知道 LOS 发生概率和 NLOS 发生概率,同样需要事先的大量样本采集,这些算法还没能取得满意的性能。

目前在研究 NLOS 场景下的定位问题时,通常假定距离测量值较多,侦测站在被定位目标周围, GDOP 条件较好。但是在海岸、边境、战场等侦测站较少(最多 4 个侦测站),目标在侦测站组成的多边形外这种 GDOP 条件较差的特殊场景下(见本文的仿真场景),可供选择的测量值样本数也极少,NLOS 误差对定位精度的不利影响会更大^[7]。

为此,本文首先对一种交叉面积算法进行了改进,在此基础上提出了 NLOS 传播识别算法——分布检验算法,在特殊 GDOP 场景下取得了较好的 LOS/NLOS 识别性能。

2 NLOS 系统模型

收发信机之间进行距离测量时,影响测距精度的误差主要源于设备测量误差和 NLOS 误差。一般认为 NLOS 误差远大于测量误差。假设系统中有 N 个侦测站,第 i 个侦测站到目标的测量距离可采用如下模型:

$$\hat{d}_i = d_i + e_i + n_i。$$
 (1)

式中: $\hat{d}_i$ 表示侦测站的测量距离; d_i 为侦测站到目标之间的 LOS 距离; e_i 为测量误差,服从高斯分布 $N(0, \sigma^2)$; n_i 表示非视距误差,在 LOS 条件下 n_i 等于 0。在 NLOS 条件下,由于 d_i 越大,其相应的 n_i 就越大,所以假设 n_i 服从均匀分布 $U(0.05 \times d_i, 0.9 \times d_i)$ ^[8],在本文仿真中采用这种模型进行分析。

3 交叉面积算法

交叉面积算法由文献[10]提出,但该算法是基于蜂窝网络的场景,并不能直接应用于本文研究的

特殊 GDOP 场景中。该算法根据 LOS 条件下相对于 NLOS 条件下 3 个基站构成的圆(以基站为圆心,测得的距离为半径)所形成的交叉面积较小的原理,找到一个门限面积 S_{TH} ,然后将交叉面积与 S_{TH} 相比较进行 LOS/NLOS 识别。

设一门限概率 $P_d = 0.98$,使得 LOS 条件下三基站的交叉面积在概率 P_d 下小于某门限面积 S_{TH} 。LOS 条件下 3 个基站测距的误差都是服从高斯分布的测量误差: $e \sim N(0, \sigma^2)$ 。

假设 e_i 小于 r 的概率等于 P 。3 个基站的测量误差都达到 r 时,它们的交叉面积最大,近似形成如图 1(a)所示以 C 为圆心、半径为 r 的圆,由此我们可以得到

$$P_d = P^3 \rightarrow P = P_d^{\frac{1}{3}}。$$
 (2)

式中: $P = \Phi(z)$ 为高斯累积分布函数值。可以求得 $r = z\sigma$,那么近似的门限面积为

$$S_{TH} = \pi r^2 = \pi (\Phi^{-1}(P_d^{\frac{1}{3}})\sigma)^2。$$
 (3)

在实际的距离测量中,3 个圆交叉所形成的形状并不规则,但近似看作是一个三角形,假设 3 个交叉点为 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 、 (x_3, y_3) ,可以求得交叉面积

$$S = \frac{1}{2} |(x_1 - x_2)(y_3 - y_2) - (x_3 - x_2)(y_1 - y_2)|。$$
 (4)

在特殊场景下,如图 1(b)所示,所谓的交叉面积不是指它们的共同面积,而是不同两圆相交的 3 个交点之间最小的面积,无论在 LOS 条件还是 NLOS 条件下,它们之间交叉的共同面积往往是非常大的,但在 LOS 条件下,会有 3 个点趋向于同一点,从而这 3 个点所围成的面积很小,选择该面积作为与门限面积 S_{TH} 相比的值。

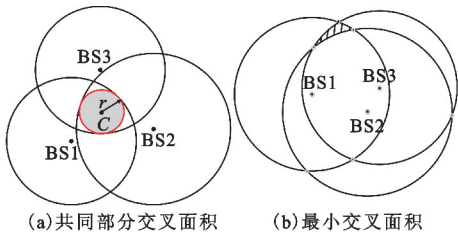


图 1 交叉面积示意图
Fig. 1 Intersection area diagram

文献[10]通过判断小于门限面积的组合个数 k 进行识别,假设识别的 LOS 基站个数为 m 。

(1) $k = 0$

由于没有组合的交叉面积小于 S_{TH} ,认为 $m < 3$ 。

(2) $1 \leq k \leq 3$

设交叉面积的 3 个交点坐标分别为 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 、 (x_3, y_3) , 目标位置估计为

$$\begin{cases} \tilde{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3} \\ \tilde{y} = \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3} \end{cases} \quad (5)$$

可以得到一个残差:

$$\Delta r_i = \tilde{r}_i - r_i. \quad (6)$$

式中: (x_i, y_i) 表示第 i 个基站的坐标; r_i 表示各个基站的测量距离; $\tilde{r}_i = \sqrt{(\tilde{x} - x_i)^2 + (\tilde{y} - y_i)^2}$ 。如果某个组合中全为 LOS 基站, 那么

$$|\Delta r_i| \leq 2r_i. \quad (7)$$

找出交叉面积小于 S_{TH} 且符合式(7)的组合集合 $\{S_i\}$, 算出集合中元素个数 w 。如果 $w=0$, 认为 $m < 3$; 如果 $w=1$, 则集合中唯一的组合的 3 个基站为 LOS 基站, 如果 $w>1$, 则将集合中交叉面积最小的 3 个基站判决为 LOS 基站。

(3) $k \geq 4$

计算第 i 个基站所在的组合(共有 C_{n-1}^2 个组合, n 表示基站个数)中的交叉面积小于 S_{TH} 的组合个数 t , 如果 $t \geq 3$ 则认为该基站为 LOS 基站, 否则判定该基站为 NLOS 基站。

4 基于交叉面积的改进算法

本文研究只有 4 个侦测站的情况, 文献[10]算法需要 $C_4^3=4$ 个组合的交叉面积全部小于 S_{TH} 才认为 4 个侦测站全为 LOS 传播的侦测站。侦测站较多时, 组合数会成倍增加, 包含某一个侦测站的组合数较多。但侦测站只有 4 个时, 包含某一特定侦测站的组合只有 $C_3^2=3$ 个, 样本较少, 故文献[10]算法不适合这种特殊场景, 对于特殊 GDOP 场景应当考虑小于 S_{TH} 的组合数 k 的每一种情况。假设侦测站个数为 4, LOS 侦测站个数为 m , 交叉面积小于 S_{TH} 的组合个数为 k , 本文进行粗略估计。

(1) 当 $k=4$ 时, 很大概率上 $m=4$ 。

(2) 当 $k=1$ 时, 很大概率上 $m=3$ 。

(3) 当 $k=0$ 时, 最可能的是 $m<3$ 。

(4) 当 $k=3$ 时, 假设 $m=4$, 则其中有一个组合的交叉面积大于 S_{TH} , 则

$$P(k=3|m=4) = C_4^1(1-P_d)P_d^3 \approx 0.08.$$

假设 $m=3$, 则

$$P(k=3|m=3) \approx P_d C_3^2 p_n (1-p_n)^2,$$

p_n 表示包含 NLOS 侦测站的组合的交叉面积大于 S_{TH} 概率, 如果 $P(k=3|m=3) > 0.08$, 则 $p_n < 0.815$, p_n 明显太小, 不符合实际情况, 所以 $m=4$ 。

(5) 当 $k=2$ 时, 则有

$$P(k=2|m=4) = C_4^2 (1-P_d)^2 P_d^2 = 0.0023,$$

这个概率非常低, 假设 $m=3$ 时, 假设 $p_n = 0.999$, 那么

$$P(k=2|m=3) \approx P_d C_3^1 p_n (1-p_n) = 0.0029,$$

在很大的 p_n 概率下, $P(k=2|m=3) > P(k=2|m=4)$, 故当 $k=2$ 时, 应当认为 $m=3$ 。

通过上述分析判断, 可得到以下判决:

$$\begin{cases} k \geq 3, & \text{认为 4 个全为 LOS 基站} \\ 1 \leq k \leq 2, & \text{认为 LOS 基站数小于 4。} \\ k = 0, & \text{认为 LOS 基站数小于 3} \end{cases} \quad (8)$$

当 $k=2$ 时, 还需要判断哪个组合为 LOS 组合, 为此, 本文采用数据检验(Data Test, DT)方法^[6]进行处理。

假设某个组合中有 3 个侦测站, 并且假设前 2 个侦测站为 LOS 传播, 第 3 个侦测站的 LOS/NLOS 传播情况未知, 这 3 个侦测站测得的距离为

$$\hat{d}_i = d_i + \varepsilon_i + n_i, i=1, 2. \quad (9)$$

式中: d_i 表示侦测站到目标的视距距离; ε_i 表示测量误差; n_i 为 NLOS 误差($n_1 = n_2 = 0$)。令

$$C^2 = x^2 + y^2, \quad (10)$$

$$K_i^2 = x_i^2 + y_i^2, i=1, 2, 3. \quad (11)$$

将式(9)写成矩阵形式可得

$$\begin{bmatrix} 2x_1 & 2y_1 & 0 \\ 2x_2 & 2y_2 & 0 \\ 2x_3 & 2y_3 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ \Delta_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_1^2 + C^2 - \hat{d}_1^2 \\ K_2^2 + C^2 - \hat{d}_2^2 \\ K_3^2 + C^2 - \hat{d}_3^2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2d_1\varepsilon_1 + \varepsilon_1^2 \\ 2d_2\varepsilon_2 + \varepsilon_2^2 \\ 2d_3\varepsilon_3 + \varepsilon_3^2 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

其中:

$$\Delta_3 = 2d_3n_3 + 2n_3\varepsilon_3 + n_3^2. \quad (13)$$

通过式(12)和式(13)可以求得 Δ_3 。如果 3 个侦测站为 LOS 侦测站, 即 $n_3 = 0$, 那么 $\Delta_3 \approx 0$, 否则 $\Delta_3 > 0$, 通过 Δ_3 可以判断 3 个侦测站视距与非视距可能的情况。

DT 方法先从 4 个侦测站中先择 2 个, 共有 $C_4^2=6$ 组, 再分别从其余 2 个侦测站中选 1 个作为第 3 个侦测站, 并计算其 Δ_3 。同样的 3 个侦测站组合将出现 $C_3^2=3$ 次。DT 方法将某 3 个侦测站组合的 3 个 $|\Delta|$ 相加, 选择其和最小的组合作为 LOS 组合, 理论上讲, DT 方法求出的这 3 个侦测站应是两个交叉面积小于 S_{TH} 的组合之一。

当 $1 \leq k \leq 2$ 时,求出的 LOS 组合的交叉面积的 3 个交点应在第 4 个侦测站所形成的圆内,因为第 4 个侦测站为 NLOS 侦测站,其测得的距离应大于视距距离,否则判断该组合为 LOS 组合不成立。

5 分步检验算法

包含 NLOS 侦测站的组合的交叉面积也可能小于 S_{TH} ,造成一定的过判(判决的 LOS 侦测站数大于其实际个数),上面所述的算法很难进行判断。如图 2 所示,3 个侦测站分别为 C_1 、 C_2 、 C_3 ,假设真实位置与测得的位置分别为 P 点、 P' 点,包含 NLOS 误差的测量值 R'_1 、 R'_2 、 R'_3 组成的 3 个圆也交于一点 P' ,但离真实位置较远,误差较大。在这样的情况下,对于 LOS 侦测站比较少,而识别为 LOS 条件下的测量结果,我们需要通过多次测量进行判别,这就是本文提出的分步检验算法。

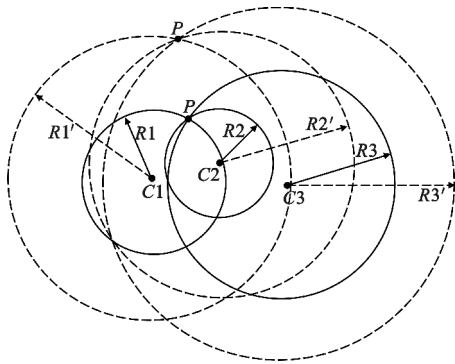


图 2 LOS/NLOS 三圆都交于一点示意图
Fig. 2 Diagram of three circles intersected at one point in LOS/NLOS situation

假定被定位目标位置在短时间内是静止的,对目标进行 N 次距离测量,测量模型如式(1)所示。

对第 i 个侦测站的 N 个测量值从小到大进行排序,令排序后的测量值序列表示为

$$D_i = \{d_{i1}, d_{i2}, \cdots, d_{ij}, \cdots, d_{iN}\} \tag{14}$$

式中: d_{i1} 为最小值; d_{iN} 为最大值。那么从统计学角度来讲,如果这 N 次测量数据全部为 LOS 测量值,那么它们的标准差应该不大于 σ ,然而,这些测量值中很可能存在一定的 NLOS 测量值。因为 LOS 测量值比 NLOS 测量值要小,那么 D_i 中的值越排在前面为 LOS 测量值的概率就越大,假设 D_i 中的第 $m+1$ 个值开始带有 NLOS 误差,即

$$\begin{cases} j \leq m, & d_{ij} \text{ 为 LOS 测量值} \\ j > m, & d_{ij} \text{ 为 NLOS 测量值} \end{cases} \tag{15}$$

根据式(15),找到一个 m ,使得 D_i 中前 m 个值的方

差小于或者等于 σ^2 ,前 $m+l$ ($1 \leq l \leq N-m$) 个值的方差大于 σ^2 。但是,找到 m 后也不能说明 D_i 中前 m 个值都为 LOS 测量值,如果 m 比较小,也可以认为 m 之前的值都是 NLOS 测量值,所以需要一个门限 M ,使得 $m > M$ 时才认为前 m 个值都为 LOS 测量值。假设我们以测量样本中至少 6% 以上的测量值为 LOS 测量值才认为 m 之前的数据为 LOS 测量值,那么

$$M = 0.06 \times N \tag{16}$$

将符合 $m > M$ 的侦测站进行组合求交叉面积,需要的距离用 D_i 中前 m 个值的平均值 $\bar{d}_i$:

$$\bar{d}_i = \frac{\sum_{j=1}^m d_{ij}}{m} \tag{17}$$

随机变量 $\bar{d}_i$ 的标准差 σ'_i 为

$$\sigma'_i = \frac{\sigma}{\sqrt{m_i}} \tag{18}$$

式中: m_i 表示第 i 个侦测站的 m 值。由于 m_i 是不一样的,但 $m_i > M$ 成立,所以

$$\sigma'_i \leq \frac{\sigma}{\sqrt{M}} \tag{19}$$

取 $\sigma' = \frac{\sigma}{\sqrt{M}}$ 来计算门限面积:

$$S'_{TH} = \pi r'^2 = \pi (\Phi^{-1}(P_d^{\frac{1}{3}}) \sigma')^2 \tag{20}$$

那么所有 LOS 条件下的组合的交叉面积应该在最小为 P_d 概率下小于 S'_{TH} 。将满足 $m > M$ 的侦测站进行组合求交叉面积,假设这样侦测站个数为 n ,根据 n 的大小作不同的处理:

- (1) 当 $n > 3$ 时,采用第 4 节所述的改进算法;
- (2) 当 $n = 3$ 时,则只有一个组合可以用来求交叉面积,将交叉面积与 S'_{TH} 相比较,如果小于 S'_{TH} 就按照上节中 $k = 1$ 的情况进行判决,否则认为 LOS 侦测站数小于 3;
- (3) 当 $n < 3$ 时,没有足够的侦测站来求交叉面积,那么认为 LOS 侦测站数小于 3。

6 仿真结果及分析

仿真场景如图 3 所示,假设 4 个侦测站的坐标分别为 $(500, 300)$ 、 $(2\ 000, 10)$ 、 $(3\ 000, 300)$ 、 $(4\ 000, 10)$,目标位于 $(2\ 500, 2\ 000)$,单位均为 m。为了避免 NLOS 侦测站位置对性能的影响,随机选取 n 个测量值为 NLOS 的侦测站。测量误差服从均值为 0、标准差分别为 10 m、15 m、20 m、25 m、30 m、35 m、40 m 的高斯分布, NLOS 误差服从 $0.05 \times d \sim 0.9 \times d$ (d 表示视距距离)之间的均匀分布,进行独

立1 000次仿真实验。

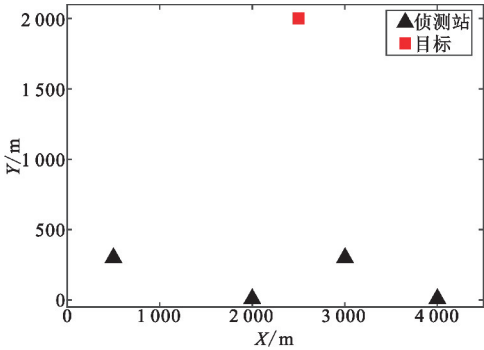


图 3 侦测站与目标位置图

Fig. 3 Diagram of measuring stations and target position

6.1 交叉面积算法及其改进算法

仿真参数如表 1 所示,我们判断正确识别的标

准为:当 LOS 侦测站数目为 3 个以上时,能将所有 LOS 侦测站分别识别出来为识别正确;当 LOS 侦测站数小于 3 个时,判决 LOS 侦测站数小于 3 为识别正确。

表 1 交叉面积算法及其改进算法仿真参数	
Tab. 1 Simulation parameters for the intersection area based algorithm and its improved algorithm	
参数名	参数值
仿真次数 N	1 000
测量误差均值 μ	0
测量误差标准差 σ	10;5;40
NLOS 误差 n	$U(0.05d,0.9d)$

两种算法的正确识别次数如表 2 所示,其中 n 表示 NLOS 侦测站个数, σ 为测量误差的标准差。

表 2 交叉面积算法及其改进算法仿真结果
Tab. 2 Simulation results of the intersection area based algorithm and its improved algorithm

σ/m	交叉面积算法正确识别次数					改进算法正确识别次数				
	$n=0$	$n=1$	$n=2$	$n=3$	$n=4$	$n=0$	$n=1$	$n=2$	$n=3$	$n=4$
10	977	959	896	857	830	997	977	937	917	918
15	977	926	818	769	756	995	971	909	885	877
20	966	886	752	713	686	994	951	898	866	827
25	971	856	720	649	636	993	932	840	817	793
30	961	830	647	606	568	995	911	808	787	774
35	972	812	617	562	505	993	873	774	768	737
40	972	793	544	516	468	994	852	739	735	700

从仿真结果可以看出,两种算法对于全为 LOS 侦测站的情况下识别度非常高,测量误差参数对其性能影响不是很明显;存在 NLOS 侦测站时,其性能随着测量误差的标准差增大而明显下降,但改进算法正确识别的次数明显优于原算法。

6.2 分步检验算法

对于分步检验算法,仿真参数与前面的仿真参数一样,在每次仿真中,侦测站测量的数据样本个数为 100,NLOS 侦测站与 LOS 侦测站所测数据中产生的 NLOS 误差概率分别为 100% 和 80%,即 LOS 侦测站数据样本中只有 20% 的 LOS 测量值,其 LOS 测量值越多,测量样本平均值越接近视距距离,我们选择一种条件较差的参数进行仿真实验。

正确识别标准与之前的标准一样,仿真结果如表 3 所示。

表 3 分步检验算法仿真结果					
Tab.3 Simulation results of the step by step algorithm					
σ/m	正确识别次数				
	$n=0$	$n=1$	$n=2$	$n=3$	$n=4$
10	963	978	1 000	1 000	1 000
15	970	966	1 000	1 000	1 000
20	964	980	1 000	999	1 000
25	961	965	999	994	1 000
30	971	963	996	988	999
35	955	963	969	954	990
40	961	943	936	931	977

从表 3 中可以看出,分步检验算法的正确识别性能明显得到更大幅度提升,且测量误差标准差对识别性能影响不大。

6.3 3 种算法识别性能比较

为了直观比较本文中 3 种算法的识别性能,以标准差作为自变量,每种标准差下不同 NLOS 侦测

站个数的正确识别概率的平均值作为因变量,结果如图 4 所示。从图 4 中可以看出,随着标准差的增大,分步检验算法的性能下降缓慢,其正确识别概率明显高于其他两种算法。

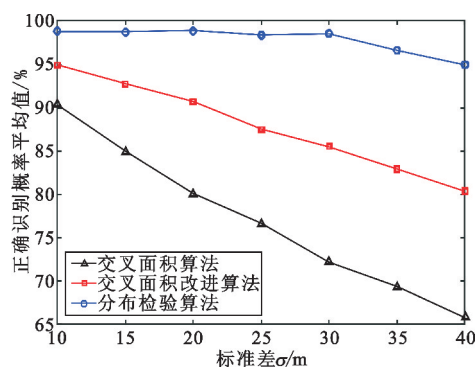


图 4 三种算法性能比较

Fig. 4 Performance comparison among three algorithms

7 结束语

本文针对一种 GDOP 场景下 LOS/NLOS 测量值的识别问题开展研究,详细分析和改进了一种交叉面积的识别算法,在此基础上提出了一种分步检验算法,并通过仿真验证了分步检验算法对于识别性能提升的优良性。在算法计算复杂性方面,交叉面积计算最复杂的是圆与圆的交点,而分步检验算法的第一步过滤了一定的 NLOS 侦测站,使得 NLOS 侦测站没有与其他圆进行求交点的计算步骤,大大降低了算法计算复杂度,仿真实验过程也验证了这一点。

本文虽然是针对 4 个侦测站的情况进行讨论的,但本文算法也可以推广到其他情况。当只有 3 个侦测站时,相当于分步检验算法 1 个 NLOS 侦测站的情况;当有 5 个侦测站或者更多侦测站时,通过分布检验都可以先排除一定的 NLOS 传播的侦测站,然后再通过改进的交叉面积算法提高识别精度,其中小于门限面积的组合个数 k 可以根据原算法进行判断。

参考文献:

[1] CHEN P C. A non-line-of-sight error mitigation algorithm in location estimation [C]//Proceedings of 1999 Wireless Communications and Networking Conference. New Orleans, LA: IEEE, 1999: 316-320.

[2] LI X. An iterative NLOS mitigation algorithm for location estimation in sensor networks [C]//Proceedings of 15th IST Mobile&Wireless Communications Summit. Mykonos, Greece: IST, 2006: 1-5.

[3] ZHENG X N, HUA J Y, ZHENG Z L. LLOP localization algorithm with optimal scaling in NLOS wireless propagations [C]//Proceedings of 4th IEEE International Conference on Electronics Information and Emergency Communication. Beijing: IEEE, 2013: 45-48.

[4] XIAO Z, WEN H, MARKHAM A, et al. Non-line-of-sight identification and mitigation using received signal strength [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2014, 14(3): 1689-1702.

[5] TIAN S, ZHAO L, LI G. A support vector data description approach to NLOS identification in UWB positioning [J]. Mathematical Problems in Engineering, 2014(1): 1-6.

[6] CHAN Y T, TSUI W Y, SO H C. Time-of-arrival based localization under NLOS conditions [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2006, 55(1): 17-24.

[7] MUQAIHEL A H, AI-NIMNIM R A, LANDOLSI M A, et al. Mobile localization based on improved non-line-of-sight classification [C]//Proceedings of 29th International Conference on Thermoelectrics. Shanghai: IEEE, 2010: 368-374.

[8] YU K, GUO Y J. Statistical NLOS identification based on AOA, TOA, and signal strength [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009, 58(1): 274-286.

[9] WANG Y, CHENG L, HU N. Bayes sequential test based NLOS localization method for wireless sensor network [C]//Proceedings of 2015 27th Chinese Control and Decision Conference (CCDC). Qingdao: IEEE, 2015: 5230-5234.

[10] KUANG L, HUANG J Y, YANG W L. Line-of-sight identification based on area measurements [C]//Proceedings of 2012 International Conference on Automatic Control and Artificial Intelligence (ACAI 2012). Xiamen: IET, 2012: 1306-1309.

作者简介:



邓水发(1990—),男,湖南衡阳人,硕士研究生,主要研究方向为无线定位中 NLOS 传播识别与误差减弱技术;

DENG Shuifa was born in Hengyang, Hunan Province, in 1990. He is now a graduate student. His research concerns NLOS identification and mitigation in wireless location.

Email: dengshuif. a@163. com

邓平(1964—),男,四川宜宾人,教授,主要研究方向为无线传感网络定位技术、室内定位技术;

DENG Ping was born in Yibin, Sichuan Province, in 1964. He is now a professor. His research concerns wireless sensor networks for localization and indoor location.

芮洋(1990—),男,江苏南京人,硕士研究生,主要研究方向为无线定位中 NLOS 传播识别与误差减弱技术。

RUI Yang was born in Nanjing, Jiangsu Province, in 1990. He is now a graduate student. His research concerns NLOS identification and mitigation in wireless location.