

NLOS 误差模型下的无线传感网定位方法与仿真

徐彤阳

(山西财经大学 信息管理学院, 山西 太原 030006)

摘要: 为了有效提升在 NLOS 环境下的定位精度和探讨不同 NLOS 模型和不同定位方法之间的特性, 对多种 NLOS 误差模型进行建模, 并给出模型数学公式, 挖掘出适合无线传感网的 NLOS 误差模型, 利用多种不同的 NLOS 误差模型来表征无线传感网中的非视距传播 (NLOS) 环境; 利用常用经典定位方法对未知节点进行定位。通过对不同参数的设置进行计算机仿真实验, 仿真实验数据结果有效地反映出各种定位法在不同 NLOS 误差场景下的性能, 为无线传感网的实际定位应用提供理论基础。

关键词: 非视距传播; 误差模型; 定位; 电波到达时间; 无线传感网

中图分类号: TP393.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7024 (2013) 08-2680-05

Location methods in WSN under different NLOS error models

XU Tong-yang

(Institute of Information Management, Shanxi University of Finance and Economics, Taiyuan 030006, China)

Abstract: In order to improve the location accuracy in the NLOS environments, and research the characteristics between different NLOS models with different location methods, at first, the NLOS environments are modeling by a variety of different NLOS error models, the mathematical formulas are given. The NLOS error models suitable for WSN are dug out and the NLOS environments are characterized by different NLOS models. Then, the unknown node is located using the traditional location methods. Though the computer simulations using different parameters, experimental simulation results can reflect the performance of various location methods in different NLOS error scene effectively and provide a theoretical basis for the actual location applications in WSN.

Key words: NLOS; error models; location; TOA; wireless sensor networks

0 引言

在非视距传播 (NLOS) 环境下, 无线传感网的定位方法容易受到 NLOS 误差的影响, 定位精度较差。很多场景下电波信号传播为非视距传播 (non-line-of-sight propagation, NLOS), 会使 TOA 测量值产生一个正的附加超量时延, 从而导致对未知节点的位置估计存在较大的偏差。NLOS 误差作为无线传感网定位时最主要的误差来源, 可由多种 NLOS 模型进行场景模拟。同时, 在 NLOS 环境下, 研究如何有效地提高定位精度已经成为无线传感网定位技术的关键问题^[1-5]。很多研究文献的定位方法效果也未从多种 NLOS 误差分布模型的角度进行比较, 普遍存在效果不佳或者适用场景不广的特点。

在非视距传播 (NLOS) 环境下, 本文利用多种不同 NLOS 模型来产生 NLOS 误差, 然后利用常用的定位方法

进行定位估计, 对不同定位方法在不同定位模型下的定位性能进行仿真验证和比较, 可以有效的反应出各种定位法在不同场景下的性能, 于是对于不同的 NLOS 场景, 我们可以选择更合适的定位法来提升定位精度, 为无线传感网中的实际定位应用奠定基础。

1 NLOS 误差模型

M 个已知无线传感网传感器锚节点 (x_j, y_j) 测量得到的待估计未知节点 (x, y) 的 TOA_{τ_j} , 转换为 TOA 距离值为 R_j , 即

$$R_j = c\tau_j = l_j + l_j^{\text{NLOS}} + n_j \quad (i = 1, \dots, M) \quad (1)$$

式中: c ——光速, l_j ——第 j 个传感器锚节点至未知节点的视距传播 (LOS) 距离值, n_j ——距离测量误差, l_j^{NLOS} ——NLOS 误差距离。

NLOS 误差作为影响定位效果的主要误差, 主要模型

收稿日期: 2012-12-10; **修订日期:** 2013-02-17

基金项目: 浙江省教育厅科研基金项目 (Y201225848); 国家自然科学基金项目 (U1204606)

作者简介: 徐彤阳 (1976-), 男, 浙江诸暨人, 博士, 讲师, 研究方向为无线传感网、数字图像处理技术。E-mail: tyxu2004@163.com

为指数分布、均匀分布、高斯分布、圆盘散射模型和距离因子模型。

1.1 指数分布模型

一些文献^[6]中利用以时间为变量的指数分布来产生 NLOS 超量时延,同时存在 NLOS 超量时延可能过大的缺陷,使得生成的超量 NLOS 时延随机数据不稳定,无法精确的反映 NLOS 的本质,另外也没有以距离为变量直观,这里我们改进 NLOS 指数分布模型,以 NLOS 误差距离(非负值)为变量,其条件概率密度函数为

$$f(l_j^{\text{NLOS}}, \beta) = \frac{1}{\beta} e^{-\frac{l_j^{\text{NLOS}}}{\beta}}, \quad l_j^{\text{NLOS}} \geq 0 \quad (2)$$

定位参数 β 为

$$\beta = \alpha(l_j)^\varphi \lambda \quad (3)$$

其中 α 为距离扩展因子, φ 为 0.5~1 之间的指数, λ 为服从均值为 0, 标准差 λ_0 (dB) 的对数正态分布的随机变量。

1.2 高斯分布模型

对于 NLOS 高斯分布模型,其概率密度函数为

$$f(l_j^{\text{NLOS}}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(l_j^{\text{NLOS}} - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

式中: μ, σ ——常数,即 l_j^{NLOS} 为服从均值为 μ (m), 标准差为 σ (m) 的高斯分布的非负随机变量。

1.3 均匀分布模型

对于由均匀分布产生的 NLOS 误差,主要考虑两种模型。均匀分布模型 I 仍考虑 NLOS 误差依赖于各自 l_j 关系,第 j 个传感器锚节点至未知节点的 NLOS 距离误差服从 $[0, \gamma]$ 的均匀分布,其中

$$\gamma = \eta(l_j)^\epsilon \quad (5)$$

ϵ 为 0.5~1 之间的指数。

均匀分布模型 II 为模型 I 的简化模型,不考虑 NLOS 距离误差与 l_j 的约束关系,依据无线传感网的布局将其 NLOS 距离误差的分布总体考虑,即 NLOS 距离误差服从 $[0, \gamma]$ (m) 的均匀分布。

1.4 圆盘散射模型

圆盘散射模型(disk of scatterers model)是指未知节点发射的电波信号经过其周围分布的散射体一次散射后再到达基站,该模型比较符合实际的定位场景,从而也被广泛应用和研究^[2,7]。引起 NLOS 误差的散射体可认为随机分布在未知节点附近的半径为 r 米的圆盘区域,未知节点至每个锚节点的信号路径均会经历该散射体。圆盘散射模型如图 1 所示。

通过基于圆盘散射模型的无线定位环境建模,对于式(1)的 TOA 测量量变形为

$$R_j = R_j^{\text{AS}} + R_j^{\text{SU}} \quad (6)$$

式中: R_j^{AS} ——锚节点至散射体的距离, R_j^{SU} ——散射体至未知节点的距离。

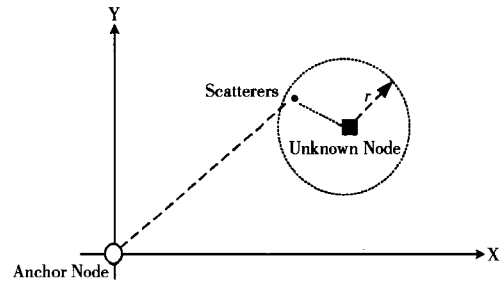


图1 圆盘散射模型

1.5 距离因子模型

在距离因子模型^[9]中,第 j 路径的 NLOS 误差与该路径距离之比为常数因子 λ

$$l_j^{\text{NLOS}} = \lambda l_j \quad (7)$$

显然,路径距离越大,其经历的 NLOS 误差相对就越大。

2 计算机仿真分析

对于 TOA 测量存在距离约束,可得到以下方程

$$R_j^2 = (x_j - x)^2 + (y_j - y)^2 = k_j - 2x_j x - 2y_j y + R \quad (8)$$

式中 $k_j = (x_j)^2 + (y_j)^2$, $R = x^2 + y^2$ 。

由经典的 Chan 定位法演进的两步加权最小二乘定位法(TWLS)^[8,9]计算简单实用,需要已知 NLOS 误差分布的标准差,其定位精度较易受到误差的影响。TWLS 定位法以 $Q = [x, y, R]^T$ 为未知矢量进行初次加权最小二乘估计后,利用 $R = x^2 + y^2$ 的关系再次进行第二步最小二乘估计,进而得到定位结果。LLOP(线性位置线)定位法^[10]其实是简化的 TDOA 方法,具有较好的抗干扰性能,但是无法适应各路径 NLOS 差别较大的场景。另外,经改进优化和方法融合还形成了 Taylor 定位法^[11,12],其定位效果较好,但是依赖于初始定位参考点,同时迭代计算复杂度较高。本文后续仿真中 Taylor 定位法主要以 TWLS 或者 LLOP 定位法已经得到的定位结果作为初始参考点。

TOA 距离测量误差服从均值为 0,标准差为 50 (单位: m) 的高斯分布。用本文中提到的 4 种 NLOS 误差典型分布模型产生随机误差数据进行蒙特卡罗仿真,定位性能如下。图表中的 Location Errors 为定位误差, CDF (cumulative distribution function) 为误差累计概率密度, RMSE 为均方根定位误差 (单位: m)。仿真中 NLOS 误差分布模型采用的典型参数见表 1。

表1 NLOS 误差分布模型采用的典型参数

α	φ	λ_0	ϵ	η	γ	μ	σ	r	λ
3	0.5	4	0.7	1	600	500	100	200	0.05

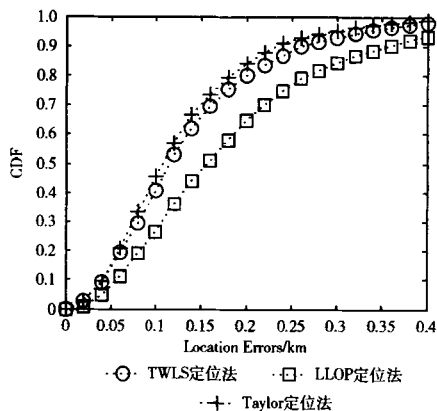


图2 NLOS误差指数分布模型时 CDF 性能

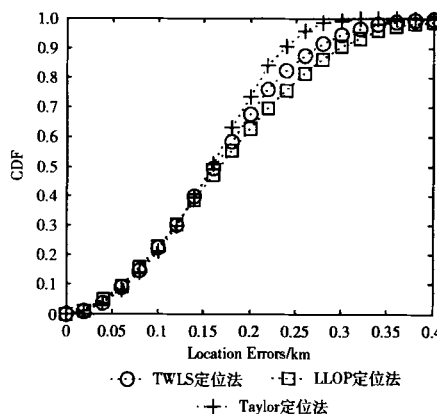


图5 NLOS误差圆盘散射模型时 CDF 性能

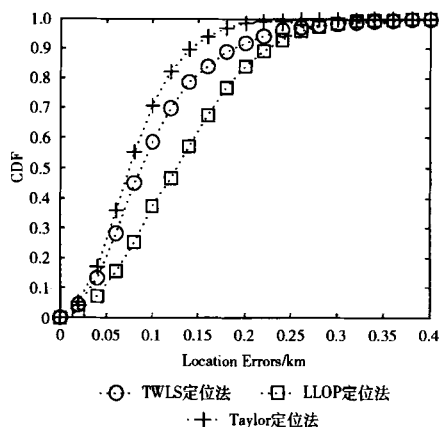


图3 NLOS误差均匀分布模型 I 时 CDF 性能

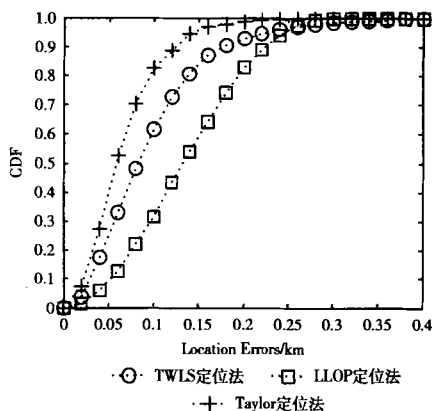


图6 NLOS误差距离因子模型时 CDF 性能

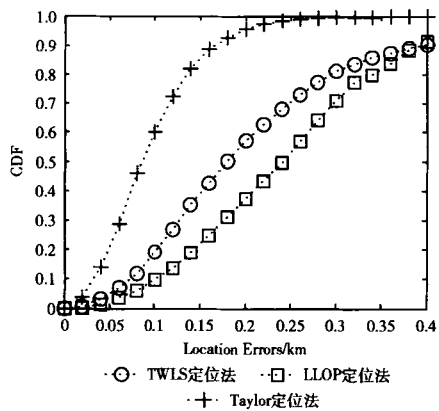


图4 NLOS误差高斯分布时 CDF 性能

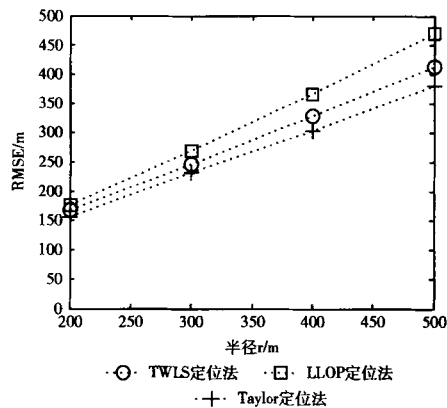


图7 DSM模型中随 r 变化时的 RMSE

表2 NLOS误差指数分布模型时不同定位法的 RMSE

定位方法	TWLS 定位法	LLOP 定位法	Taylor 定位法
RMSE (m)	138.2	186.6	126.9

表3 NLOS误差均匀分布模型 I 时不同定位法的 RMSE

定位方法	TWLS 定位法	LLOP 定位法	Taylor 定位法
RMSE (m)	102.1	131.9	81.9

表4 NLOS误差均匀分布模型 II 时不同定位法的 RMSE

定位方法	TWLS 定位法	LLOP 定位法	Taylor 定位法
RMSE (m)	196.5	213.9	154.4

表5 NLOS误差高斯分布模型时不同定位法的 RMSE

定位方法	TWLS 定位法	LLOP 定位法	Taylor 定位法
RMSE (m)	209.1	243.4	94.7

表 6 NLOS 误差圆盘散射模型时不同定位法的 RMSE

定位方法	TWLS 定位法	LLOP 定位法	Taylor 定位法
RMSE (m)	166.7	175.8	155.9

表 7 NLOS 距离因子模型时不同定位法的 RMSE

定位方法	TWLS 定位法	LLOP 定位法	Taylor 定位法
RMSE (m)	96.5	135.8	66.9

从图 2~图 7 和表 2~表 7 的实验结果可以看出, 在 6 种不同的 NLOS 误差模型下, Taylor 定位法的效果较好, 其次是 TWLS 定位法, LLOP 定位法最差。再次验证了各定位法的特性, 因为 TWLS 中用到了已知 NLOS 误差分布的标准差, 所以其定位精度较 LLOP 定位法效果好点。LLOP (线性位置线) 定位法无法适应各路径 NLOS 差别较大的场景, 由于各种 NLOS 误差模型产生的 NLOS 误差数据随机差别较大, 故 LLOP 定位法的效果很差。另外, 由于 Taylor 定位法采用的初始定位参考点是已经由 TWLS 或 LLOP 定位法得到了的较精确数据, 故其定位效果最好, 但是也存在迭代计算复杂度较高的缺陷。

图 7 中可以看出, DSM 模型中 r 变大时各定位法的单位误差也逐渐变大。类似地, 在 NLOS 误差距离因子模型中, 定位误差也严重依赖 λ 的大小。

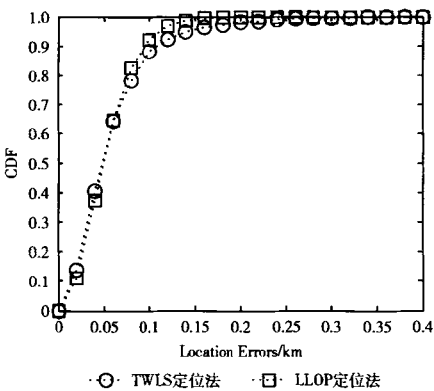


图 8 TOA 距离测量误差标准差为 60 时的 CDF

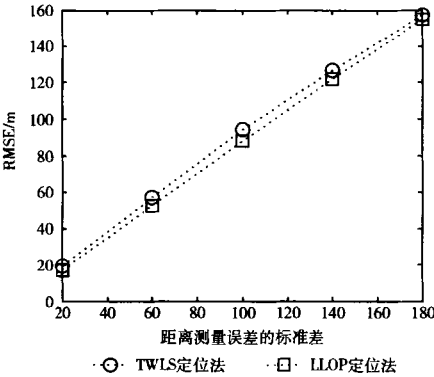


图 9 随 TOA 测量误差变化时的 RMSE 比较

以上图 8 和图 9 均为在无 NLOS 误差时的仿真, 从图 8 和图 9 中的仿真结果是将 TWLS 定位法和 LLOP 定位法座比较, 再结合之前的分析, 可以得出在无 NLOS 误差的场景下, 也就是 LOS 场景时, LLOP 定位法要稍优于 TWLS 定位法, 这是因为此时各路径不存在 NLOS 差别较大的条件, LLOP 较易发挥性能, 同时 TWLS 定位法本身依赖于 TOA 距离误差的标准差, 所以 LLOP 定位法在这种场景下定位性能较好。

图 10 为 NLOS 误差指数分布模型时, Taylor 定位法随机选取未知节点真实位置附近较远的一点作为初始参考点时的 RMSE 比较。从图 10 的结果可以看出, Taylor 定位法并不是在所有条件和各种模型下均优于其他定位法, 当初始定位参考点不合理时, 效果很差, 也就是说 Taylor 定位法的效果严重依赖于初始定位参考点的准确度。

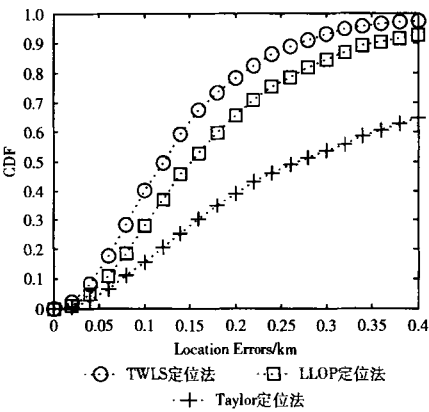


图 10 Taylor 法选取较远参考点的 RMSE

从以上实验数据可以看出在不同模型和各种场景下, 不同的经典定位法效果不同, 在实际的定位应用中, 我们可以区分条件, 选取较适合的定位法, 从而可以有效的提高定位精度。诸如在初始位置未知, NLOS 较小和 LOS 较多的场景下, 我们可以选用 LLOP 定位法。当已知较为精确的未知节点的位置且对计算复杂度不敏感的条件下, 我们可以选用 Taylor 定位法进行定位。

3 结束语

现今, 定位技术作为无线传感网的关键基础技术, 在非视距传播 (NLOS) 环境下, 本文对不同模型和不同场景的定位性能进行仿真验证和分析。实验结果清晰地反映了各种定位法在不同 NLOS 误差环境下的定位性能, 反应出 Taylor 定位法效果较好, 其次是 TWLS 定位法和 LLOP 定位法; 然而在无 NLOS 误差场景下, LLOP 定位法要稍优于 TWLS 定位法; 并且 Taylor 定位法并不是在所有场景下均优于其他定位法。本文中不同定位法在不同场景下的性能差异结果为无线传感网中的实际定位应用奠定理论基础。

参考文献:

- [1] Guvenc I, Chong Chia. A survey on TOA based wireless localization and NLOS mitigation techniques [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2009, 11 (3): 107-124.
- [2] Al-Jazzar S. Scattering-model-based methods for TOA location in NLOS environments [J]. IEEE Trans Vehicular Technology, 2007, 56 (2): 583-593.
- [3] Gillette M D, Silverman H F. A linear closed algorithm for source localization from time-differences of arrival [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2008 (15): 1-4.
- [4] WANG Lei. High precise location system for WSN, design and simulation [J]. Computer Engineering and Applications, 2012, 48 (5): 107-109 (in Chinese). [王磊. 一种传感器网络高精度定位系统: 设计与仿真 [J]. 计算机工程与应用, 2012, 48 (5): 107 - 109.]
- [5] LEI Xin. Research and simulation on data aggregation in wireless sensor network [J]. Computer Engineering and Design, 2008, 29 (18): 111 - 114 (in Chinese). [雷昕. 无线传感器网络数据融合技术的研究与仿真 [J]. 计算机工程与设计, 2008, 29 (18): 111 - 114.]
- [6] XIE Hong. A simple NLOS error mitigation algorithm based on TDOA [J]. Journal of Harbin Engineering University, 2009, 26 (1): 114-118 (in Chinese). [谢红. 基于 TDOA 的一种简化的非视距误差抑制算法 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2009, 26 (1): 114 - 118.]
- [7] Zhaounia M Bouallegue. Hybrid TOA/AOA mobile localization with NLOS mitigation in ring scattering environments [C] // 3rd International Symposium on Wireless Pervasive Computing, 2008: 370-373.
- [8] SONG Y. Improved location algorithm based on TDOA under NLOS environment [J]. Computer Engineering and Applications, 2008, 44 (5): 99-100 (in Chinese). [宋玉. 非视距环境下改进的到达时间差定位算法 [J]. 计算机工程与应用, 2008, 44 (5): 99-100.]
- [9] ZHOU Yifeng, Lamont L. Constrained linear least squares approach for TDOA localization: A global optimum solution [C] // IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 2008: 2577-2580.
- [10] James Caffery Jr. A new approach to the geometry of toa location [C] // IEE Conference, 2010: 1943-1949.
- [11] ZHANG Yongshun, HU Qing. Nodes positioning technology based on Taylor series expansion in Ad Hoc network [J]. Information Technology, 2007, 31 (4): 352 - 354 (in Chinese). [张永顺, 胡庆. 无线 Ad Hoc 网络基于泰勒级数展开的节点定位技术 [J]. 信息技术, 2007, 31 (4): 352 - 354.]
- [12] HONG T, Yongwan P, Tianshuang Q. A TOA-AOA-based NLOS error mitigation method for location estimation [J]. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2008: 1-14.