基于 Chan 和 Taylor 的 TDOA 协同定位算法研究

陈德章 唐 皓 吴季达

(云南省无线电检测中心 昆明 650000)

摘 要 在无线电定位技术中, Chan 算法的计算量小, 在噪声服从高斯分布的环境下, 定位精度高, 但在非视距环境 下定位精度下降。 Taylor 算法的精度高和顽健性强, 但它对初始值有很强的依赖性。在此基础上, 提出一种协同的定 位算法:将 Chan 算法和 Taylor 算法有机结合, 扬长避短, 既继承了 Chan 算法计算量小的特点, 又具备了 Taylor 算法 的精确性和顽健性。仿真结果表明, 协同定位算法能有效地抑制非视距传播中恶劣信道环境的影响, 且性能稳定。 关键词 协同定位, TDOA, 非视距传播, 广义互相关

Research of TDOA Cooperative Location Algorithm Based on Chan and Taylor

CHEN De-zhang TANG Hao WU Ji-da (Yunnan Radio Detection Center, Kunming 650000, China)

Abstract In the system of radio location, Chan algorithm has a small computational and high accuracy in the Gaussian noise environment. However, under the NLOS, it performs degradation. Taylor series expansion method has been widely used for its high accuracy and good robustness. Since the performance of Taylor algorithm depends highly on the initial estimation, a new cooperative location algorithm based on Chan and Taylor algorithm was proposed to inherit the characteristics of a small computational and the high accuracy and good robustness. The simulations and tests indicate that the cooperative algorithm can effective inhibit adverse noise environment in the NLOS channel, and has stable performance.

Keywords Cooperative location, TDOA, Non line of sight, Generalized cross correlation

1 引言

近年来,随着无线电通信技术的飞速发展,基于 TDOA 的无线电定位技术在无线电监控领域得到广泛应用。TDOA 是目前最有发展潜力的蜂窝系统移动台定位技术。它已经被 应用在 IS-95 CDMA 和 GSM^[1]。

根据 TDOA 测量值得到的定位方程组具有非线性特点, 通常需要先将其转化为线性方程组后再进行求解。Chan 采 用二重最小二乘算法给出了定位方程组的非迭代闭式解,在 TDOA 测量误差比较小时,具有最优估计性能,但随着 TDOA 测量误差的增加,该算法性能迅速下降^[2]。Taylor 算 法^[3]是求解非线性方程的有效方法,具有精度高的特点。但 是它要求迭代运算的初始值必须接近真值。在实际中较难选 择到满足条件的初始点。

本文提出一种 Chan 与 Taylor 的协同算法,使用 Chan 算 法估计得到用户初始位置坐标后,通过泰勒级数展开算法得 到用户最终位置坐标。本文将泰勒级数展开算法和二重最小 二乘算法有机结合,扬长避短,从而优化了定位搜索的整体过 程。最后对该算法的性能进行了分析和仿真。

2 算法描述

2.1 Chan 算法描述

Chan 算法是一种求解双曲线方程组的非递归算法。该

算法采用两步最大似然估计^[4]。该算法的特点是计算量小, 在噪声服从高斯分布的环境下,定位精度高,但在非视距环境 下^[5],Chan 算法^[6]的定位精度显著下降。

在无线电定位中,一旦取得 TDOA 测量值,就可以得到 MS 到两个 BS 之间的距离差,多个 TDOA 测量值就可以构 成一组关于 MS 位置的双曲线方程组,求解该双曲线方程组 就可得到 MS 的估计位置。设(x,y)为 MS 的待估计位置, (x_i , y_i)为第 t 个基站发射机的已知位置,则 MS 和第 t 个 BS 发射机之间的距离为:

$$R_{i} = \sqrt{(x_{i} - x)^{2} - (y_{i} - y)^{2}}$$

$$R_{i}^{2} = (x_{i} - x)^{2} - (y_{i} - y)^{2} = K_{i} - 2x_{i}x - 2x_{i}y + x^{2} + y^{2}$$
(1)

式中, $K_i = x_i^2 + y_i^2$ 。 $R_{i,1}$ 为 MS 与第 *i* 个台站和第一个台站的距离差,则:

$$R_1 = \sqrt{(x_i - x)^2 - (y_i - y)^2} - \sqrt{(x_1 - x)^2 - (y_1 - y)^2}$$
(2)

由式(2)整理得到:

$$R_{i,1}^2 + 2R_{i,1}R_1 + R_1^2 = K_i - 2X_ix - 2Y_iy + x^2 + y^2$$
 (3)
在 *i*=1 时,式(3)为:

$$R_1^2 = K_i - 2X_i x - 2Y_i y + x^2 + y^2$$
(4)

$$R_{i,1}^{2} + 2R_{i,1}R_{1} = K_{i} - 2X_{i,1}x - 2Y_{i,1}y + K_{1}$$
(5)

陈德章(1966一),男,硕士,副高,主要研究方向为无线电监测与管理,E-mail;cdz9948@126.com;**唐 皓**(1981一),男,硕士,工程师,主要研究方 向为无线电监测;**吴季达**(1983一),男,工程师,主要研究方向为无线电监测。 先假设 R_1 为已知,则 MS 位置(x, y)可由式(5)按以下形 式解出:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} X_{2,1} & Y_{2,1} \\ X_{3,1} & Y_{3,1} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{cases} \begin{bmatrix} R_{2,1} \\ R_{3,1} \end{bmatrix} R_1 + \\ \frac{1}{2} \begin{bmatrix} R_{2,1}^2 - K_2 + K_1 \\ R_{3,1}^2 - K_3 + K_1 \end{bmatrix} \end{cases}$$
(6)

将式(6)代人式(1),令 *i*=1,得到一个关于 R₁ 的二次方程,将其正根代回式(6),就得到 MS 的估计位置。

2.2 Taylor 算法描述

泰勒序列展开式是需要初始估计位置的递归算法^[6],在 每一次递归中通过求解 TDOA 测量误差的局部最小二乘 (LS)解来改进估计位置。对于一组 TDOA 测量值,该算法首 先将式(2)在选定 MS 初始位置(*x*₀,*y*₀)进行泰勒展开,忽略 掉二阶以上分量^[7],该式转化为:

 $h=G\Delta+\epsilon$

其中,

$$\Delta = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix}, h = \begin{bmatrix} R_{2,1} - (R_2 - R_1) \\ R_{3,1} - (R_3 - R_1) \\ \vdots \\ R_{m,1} - (R_m - R_1) \end{bmatrix}, G =$$

最小二乘估计为:

 $\Delta = (G^{\mathrm{T}}Q^{-1}G)^{-1}G^{\mathrm{T}}Q^{-1}h$

式中,Q为 TDOA 测量值的协方差矩阵。

2.3 协同定位

Taylor 级数展开法初始值的选取对定位结果影响很大, 如果 Taylor 算法的初始值选取不恰当,则会导致 Taylor 算法 的不收敛^[8]。因此,可以先通过某种算法,对测量数据进行初 始定位,并将定位的结果作为 Taylor 级数展开法的初始值, 然后再利用 Taylor 级数展开法进行定位运算。为了减小算 法的运算复杂性,作为初始定位的算法应该具备运算速度快、 定位结果较精确的特点,而 Chan 算法恰好具有以上的优点。 虽然,Chan 算法在信道环境比较差的情况下会使定位精度下 降,但它的定位结果仍然反映了 MS 位置与测量值之间的大 致特征,可以利于 Taylor 算法的收敛。因此,本文提出了基 于 Chan 算法和 Taylor 算法的协同定位的 TDOA 方法。

首先采用 Chan 算法对 TDOA 测量值进行定位计算,并 将 Chan 的定位结果作为 Taylor 级数展开算法的初始值,然 后进行多次迭代,当 Δ 的值小于阈值时,用 Chan 的定位结果 加上 Δ 便是最终的估计值。Chan 算法与 Taylor 算法协同定 位流程图如图 1 所示。



图 1 Chan 算法与 Taylor 算法协同定位流程图

3 算法仿真

(7)

为了验证定位算法的实际性能,仿真采用5个服务台站, 将其分布在长宽均为20公里的范围内,在区域内随机生成信 号源的位置。并在BS接受到的信号中加入随机噪声干扰。 台站对接收到的信号采用广义互相关法进行信号匹配和时差 估计,然后,用协同算法进行定位。

图 2 是 5 个服务台站接收到的经过不同随机干扰的无线 电信号及被测源发出的不经干扰的信号。



图 2 源信号与台站接收到的无线电信号

图 3 是对 5 个服务台站接收到的无线电信号用广义互相 关法进行信号匹配计算时间延迟。



图 3 广义互相关进行信号匹配

图 4 是在不同强度的噪声干扰下协同定位的误差。从图 中不难看出采用协同定位算法在信道环境差时也显示出了优 (下转第 411 页)



图 7 损伤厚度比识别值 rh 边缘分布概率

结束语 本文提出了一种基于 Bayes 定理和 μGA 的方法,用于识别结构中损伤的位置和程度等参数,并分析其不确定性。该方法根据 Bayes 定理采用测量信息更新获得损伤模型参数的后验概率密度函数,以实现含不确定性情况下对损伤的识别。为最大化损伤模型参数的后验概率密度函数,采用微种群遗传算法搜索获得描述损伤的全局最优参数。数值仿真研究表明,该方法不仅能同时识别板结构中描述损伤位置和程度的参数,还能对这些参数进行不确定性分析,为损伤识别和后继的维护决策提供更丰富的信息,这是 Bayes 方法与传统基于优化的损伤识别方法的一个重要区别和优势。

参考文献

- [1] Farrar C R, Worden K. An introduction to structural health monitoring [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 2007, 365(2), 303-315
- [2] Cheung A, Cabrera C, Sarabandi P, et al. The application of statistical pattern recognition methods for damage detection to field

data [J]. Smart Materials and Structures, 2008, 17:065023

- [3] Jiang X, Mahadevan S. Bayesian probabilistic inference for nonparametric damage detection of structures [J]. ASCE Journal of Engineering Mechanics, 2008, 134(10): 820-831
- [4] Beck J L, Katafygiotis L S. Updating models and their uncertainties I, Bayesian statistical framework [J]. Journal of Engineering Mechanics, ASCE, 1998, 124(4): 455-461
- [5] Beck J L, Yuen K V. Model selection using response measurement: a Bayesian probabilistic approach [J]. Journal of Engineering Mechanics, ASCE, 2004, 130(2): 192-203
- [6] Ching J, Beck J L, Porter K A. Bayesian state and parameter estimation of uncertain dynamical systems [J]. Probabilistic Engineering Mechanics, 2006, 21(1);81-96
- [7] 李功标,瞿伟廉.基于应变模态和贝叶斯方法的杆件损伤识别 [J]. 武汉理工大学学报,2007,29(1):135-138
- [8] 易伟建,周云,李浩.基于贝叶斯统计推断的框架损伤诊断研究 [J].工程力学,2009,26(5),121-129
- [9] Krishnakumar K. Micro-genetic algorithms for stationary and non-stationary function optimization [A] // Proceedings of SPIE, Intelligent Control and Adaptive Systems [C]. Philadelphia, PA, USA, 1989, 1196-1228
- [10] 严刚,周丽.应用遗传算法和散射 Lamb 波的板结构损伤识别 [J].振动工程学报,2007,20(3):291-296
- [11] Caroll D L. Genetic algorithms and optimizing chemical oxygeniodine lasers [J]. Developments in Theoretical and Applied Mechanics, 1996, 18:411-424
- [12] Roh Y S. Built-in diagnostics for identifying an anomaly in plates using wave scattering [D]. USA: Stanford University, 1998

(上接第407页)

越的性能,与单纯的 Chan 算法比较,残差加权算法对 NLOS 误差有了明显的抑制。另外,可以看出随着信道环境的恶化 使得定位估计误差逐步增大。仿真过程信道环境的恶化直接 影响了 Chan 与 Taylor 协同算法的收敛。



图 4 不同强度的噪声干扰下协同定位的误差

结束语 本文提出基于 Chan 和 Taylor 级数展开的协同 定位算法,该算法充分利用了 Chan 算法和 Taylor 算法的优势。利用 Chan 算法的估计值作为 Taylor 算法的初始值进行 迭代计算,解决了 Taylor 算法可能不收敛的问题。仿真结果 表明,本文提出的基于 Chan 和 Taylor 级数展开算法的协同 定位方法在信道环境恶劣的情况下能很好地提高算法的定位 精度,能有效地抑制非视距传播误差的影响,且性能稳定。

参考文献

- Yap J H, Ghaheri-Niri S, Tafazolli R. Accuracy and hearability of mobile positioning in GSM and CDMA networks [A] // 3G Mobile Communication Technologies, Third International Conference [C]. 2002;350-354
- [2] Chan Y T, Ho K C. A simple and efficient estimator for hyperbolic location[J]. Signal Processing, IEEE Transactions, 1994, 42(8):1905-1915
- [3] Foy W H. Position-location solutions by Taylor series estimation[J]. IEEE Trans Aerosp Electron Syst, 1976, 12(3): 187-194
- Schau H C, Robinson A Z. Passive source location employing intersecting spherical surfaces from time-of-arrival difference[J].
 IEEE Trans on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1987, ASSP-35(1):1223-1225
- [5] 桂忠,董利达,兰守珍.一种在非视距环境中的移动节点定位方 法[J].浙江大学学报:理学版,2009,36(1);52-56
- [6] 邓平.蜂窝网络移动台定位技术研究[D].成都;西南交通大学 出版社,2002;340-356
- [7] 张令文,谈振辉. 基于泰勒级数展开的蜂窝 TDOA 定位新算法 [J]. 通讯学报,2007,28(6);7-11
- [8] 周康磊,毛永毅.基于残差加权的 Taylor 级数展开 TDOA 无线 定位算法[J].西安邮电学院学报,2010,15(3):2-3