

杨小凤, 黄正彬, 梁家溪. 一种新颖的移动通信网络定位方法[J]. 智能计算机与应用, 2024, 14(8): 19-22. DOI: 10.20169/j.issn.2095-2163.240803

一种新颖的移动通信网络定位方法

杨小凤¹, 黄正彬², 梁家溪²

(1 玉林师范学院 物理与电信工程学院, 广西 玉林 537000;

2 中国移动通信集团广西有限公司玉林分公司 网络运营中心, 广西 玉林 537000)

摘要: 针对普通的基于时间提前量、信号到达角度的移动通信网络信号定位方法受非视距传播的影响较大, 定位精度较低的问题, 本文提出了一种基于最小二乘法和梯度法的接收信号强度定位方法。首先, 用最小二乘法得到待定位坐标的初始解; 其次, 以该点为迭代起点, 用梯度法求出定位的最优解。应用案例证明该方法的定位精度为 20 m 左右, 达到通信业界领先水平。

关键词: 定位; 移动通信网络; 最小二乘法; 梯度下降

中图分类号: TN911.7

文献标志码: A

文章编号: 2095-2163(2024)08-0019-04

A novel positioning method for mobile communication network

YANG Xiaofeng¹, HUANG Zhengbin², LIANG Jiayi²

(1 School of Physics and Telecommunication Engineering, Yulin Normal University, Yulin 537000, Guangxi, China;

2 Network Operation Center, China Mobile Group Guangxi Co. Ltd Yulin Branch, Yulin 537000, Guangxi, China)

Abstract: In response to the problem that ordinary signal localization methods based on time advance and signal arrival angle in mobile communication networks are greatly affected by non line of sight propagation and have low localization accuracy, this paper proposes a received signal strength localization method based on least squares and gradient methods. Firstly, obtain the initial solution of the coordinates to be located using the least squares method; Secondly, using this point as the starting point for iteration, use the gradient method to find the optimal solution for localization. The application case proves that the positioning accuracy of this method is about 20 meters, reaching the leading level in the communication industry.

Key words: positioning; mobile communication network; least square estimator; gradient decent

0 引言

随着移动通信网络的快速发展, 运营商更关注网络的深度覆盖质量, 其中一个重要问题是弱覆盖区域的评估和定位。传统的网络评估和优化手段如路测、拨测等需要耗费大量的时间、人力和物力, 优化周期比较长, 制约了网络规划、建设、优化等工作效率^[1]。终端测量报告 (Measurement Report, MR) 包含参考信号接收功率 (Reference Signal Receiving Power, RSRP)、时间提前量 (Time Advance, TA)、信号到达角度 (Angle of Arrival, AOA) 等信息^[2]。如果知道 MR 采样点的位置信息, 即可准确评估网络覆盖情况。普通的基于 TA、AOA 的定位方法受非

视距信号的影响较大, 定位精度较低。欧洲有研究 FDD-LTE (Frequency Division Duplex-Long Term Evolution) 移动通信网络定位的精度为 43 m^[3]。本文提出基于最小二乘法和梯度法的接收信号强度 (Received Signal Strength, RSS) 定位方法, 并应用案例证明该方法的定位精度为 20 m 左右, 达到通信业界领先水平。

1 基于 RSS 的定位方法

在实际的通信环境中, 发射机和接收机之间的视距路径被障碍物阻挡, 信号传播路径通常为非视距路径, 也就是信号要经过更长的路径才能到达接收机^[4]。这样测量 TA 会偏大, 测量 AOA 也不准

基金项目: 广西省玉林市自然科学基金 (202125002)。

作者简介: 黄正彬 (1979-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 移动通信网络优化; 梁家溪 (1979-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 移动通信网络优化。

通讯作者: 杨小凤 (1984-), 女, 硕士, 副教授, 主要研究方向: 智能算法与应用, 无线网络优化。Email: yy2822205@163.com

收稿日期: 2023-05-31

确,造成利用 MR 中的 TA、AOA 数据的定位方法的误差较大;而 MR 中 RSRP 测量是非常准确的,因此可以采用基于 RSS 的定位方法准确定位 MR 采样点。基本原理如下:利用路损模型求出 MR 采样点和至少 3 个基站之间的距离测量值 d_i ,只要路损模型选取合理,并且各个基站不在同一直线上,则 MR 采样点位于以基站为圆心、以 d_i 为半径的至少 3 个圆的交点。如果 d_i 的测算是准确的,则各个圆的交点就是唯一的,如图 1 所示。但是由于距离测算难免存在误差,导致各个圆不能交于单个点,这也是基于 RSS 的定位方法的关键问题^[5]。本文提出把定位问题作为最优化问题处理,设计目标函数采用最优化算法找到定位坐标的最优解。第一步设计目标函数为最小化 d_i 的估计值函数和测量值函数之间的误差平方和,用最小二乘法得到 MR 采样点坐标定位的初始解;第二步设计目标函数为最小化 d_i 观测值和测量值的误差,以 MR 采样点坐标初始解为迭代起点,用梯度法求出定位的最优解。

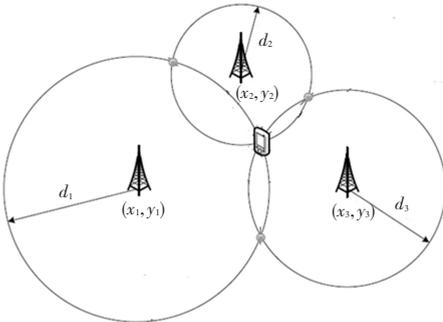


图 1 RSS 定位原理

Fig. 1 RSS positioning principle

1.1 最小二乘法

最小二乘法把位置坐标估计问题作为确定的最优化问题来处理,不需要知道待估计参量或观测样本的任何统计特性,且能得到较好的估计质量^[6]。最小二乘法的本质在于最小化模型的估计数据与测量数据之差的平方和,得到使观测数据的出现概率最大的解。之所以选取误差的平方和而不是绝对值之和来最小化,是因为根据中心极限定理,任何随机误差(包括定位误差)都可以看成多种独立的微小误差相加而成的,总体分布趋近于高斯分布,其概率密度函数如式(1)所示。移动通信网络定位要求算法输出的 MR 采样点坐标估计值和实际值最为相符,即要求偏差最符合正态分布,也就是要最大化各偏差出现的概率相乘值,取对数后就得到最小化各偏差的平方和,此即最小二乘法的原理。本文利用 d_i 的观测方程式求 MR 采样点坐标的最小二乘估

计,可以使得 d_i 的估计值函数和测量值函数之间的误差平方和最小。

$$p(\Delta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(\Delta - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

其中, Δ 为随机误差变量; μ 为 Δ 的期望; σ 为 Δ 的方差。

设 MR 采样点坐标的初始估计为 (x_0, y_0) , 基站坐标为 (x_i, y_i) , 其中 $1 \leq i \leq n$, n 为基站的数目, $n \geq 3$, v_i 为测量噪声。根据节点坐标和 d_i 的关系得到式(2):

$$\begin{cases} (x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + v_1 = d_1^2 \\ (x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 + v_2 = d_2^2 \\ \vdots \\ (x_n - x_0)^2 + (y_n - y_0)^2 + v_n = d_n^2 \end{cases} \quad (2)$$

式(1)中从第 2 个方程开始每一个方程都减去第 1 个方程,并写成矩阵的形式,得到式(3):

$$\mathbf{A}\mathbf{P}_0 + \mathbf{V} = \mathbf{B} \quad (3)$$

$$\text{其中, } \mathbf{A} = \begin{bmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 \\ \vdots & \vdots \\ x_n - x_1 & y_n - y_1 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{B} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} x_2^2 + y_2^2 - d_2^2 - (x_1^2 + y_1^2 - d_1^2) \\ x_3^2 + y_3^2 - d_3^2 - (x_1^2 + y_1^2 - d_1^2) \\ \vdots \\ x_n^2 + y_n^2 - d_n^2 - (x_1^2 + y_1^2 - d_1^2) \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{P}_0 = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix}, \mathbf{V} \text{ 为测量噪声。}$$

则 \mathbf{P}_0 的最小二乘估计,式(4):

$$\mathbf{P}_0 = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{B} \quad (4)$$

1.2 梯度法

梯度法是求解最优化问题最经典的方法之一,通过求目标函数关于决策变量的梯度即目标函数的最速变化方向求该变量的最优解^[7]。如果希望最小化一个关于决策变量的误差函数,可以给定决策变量的一个初始值,按照梯度下降方向即误差函数的最速变化方向进行调整,可以使函数值更小。一般地,当梯度向量为 0 时,说明到了一个极小点,所以算法迭代的终止条件是梯度向量的范数接近于 0 即可,可以设置一个非常小的常数阈值。梯度法的性能受初始值的影响较大,如果初始值选择不当,可能使目标函数陷入局部极值点而不是全局极值点。

本文设立一个关于待定位坐标的 d_i 的误差函数, 并选取上文最小二乘法得到的坐标解作为梯度法迭代的初始值, 可以获得较好的定位性能。

设 MR 采样点坐标定位的最优解为 $\mathbf{P} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$,

根据最小化 MR 采样点和各个基站之间的距离观测值和测量值的误差设立目标函数式(5):

$$\arg \min_{x,y} f(\mathbf{P}) =$$

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n (\sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} - d_i)^2} \quad (5)$$

具体计算步骤如下:

步骤 1 令 $k = 0$, 由 \mathbf{P}_0 开始, 容许误差 $0 < \varepsilon < 1$;

步骤 2 计算梯度向量 $\mathbf{g}_k = \begin{bmatrix} \partial f(\mathbf{P}_k) / \partial x \\ \partial f(\mathbf{P}_k) / \partial y \end{bmatrix}$, 若 $\|\mathbf{g}_k\| < \varepsilon$, 则输出 \mathbf{P}_k 为最后定位结果;

步骤 3 若 $\|\mathbf{g}_k\| > \varepsilon$, 则 $k = k + 1, \mathbf{P}_{k+1} = \mathbf{P}_k - c \mathbf{g}_k$, c 为步长, 转步骤 2;

步长太大的话容易发散, 太小收敛速度慢, 一般可以用线搜索方法确定。

本文提出的定位方法流程图如图 2 所示。

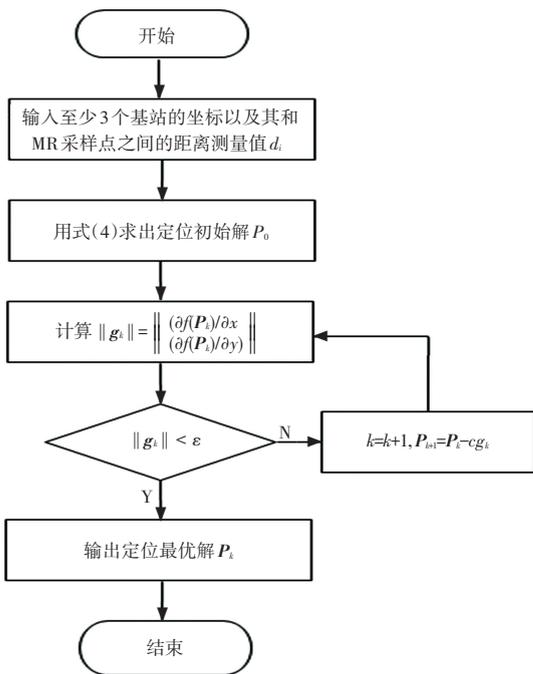


图 2 本文提出的定位方法流程图

Fig. 2 Flowchart of the proposed positioning method

研究表明尽可能多地增加坐标已知基站的数目、采用合理的路损模型能够提高 RSS 定位的精度。

1.3 路损模型

路径传播损耗, 一般也称路损, 指的是无线电磁

波在传输过程中由于传输介质的因素而造成的损耗。这些损耗中既有自由空间损耗也有散射、绕射等引起的损耗。评估路损的最好方法是建立合理的路损模型, 采用合理的路损模型是提高 RSS 定位精度的重要因素。本文分析比较了几种典型的路损模型:

(1) 奥村-哈塔 (Okumura-HATA) 模型, 该模型是根据实测数据建立的模型, 适用于 150 ~ 1 500 MHz 的信号, 可应用于大城市、中小城市和郊区的场强中值路损计算, 但是对乡村地区的路损模拟不够准确^[8];

(2) COST-231 模型是欧洲研究委员会将奥村-哈塔模型扩展到 1 500 ~ 2 000 MHz 频段的版本, 只适用于基站天线比周围建筑物高的情形^[9];

(3) 3GPP 3D (3rd Generation Partnership Project 3 Dimensional) 模型, 最适合移动通信网络频段信号, 而且可模拟室外视距 (LOS) 传播、室外非视距 (NLOS) 传播、室外向室内 (O-to-I) 传播等情形^[10]。

本文通过应用案例比较发现, 用 3GPP 3D 模型的 Uma (Urban Macrocell) NLOS 子模型计算玉林市的室外传播路损是最准确的, 该模型的计算公式(6):

$$PL = 161.04 - 7.1 \log_{10} W + 7.5 \log_{10} h - \left(24.37 - 3.7 \left(\frac{h}{h_{BS}}\right)^2\right) \log_{10} h_{BS} + (43.42 - 3.1 \log_{10} h_{BS})(\log_{10} d - 3) + 20 \log_{10} f_c \quad (6)$$

其中, $5 < W < 50$ m 为街道宽度; $5 < h < 50$ m 为建筑物平均高度; $10 < h_{BS} < 150$ m 为基站天线高度; d 为基站天线到接收天线的距离; f_c 为信号频率。

由 $PL = RSP - RSRP + G$ 算出 PL , RSP 为信号发射功率 (dBm), $RSRP$ 为信号接收功率 (dBm), G 为天线增益, 代入式(6)算出 d , 即可利用本文算法进行定位。

2 应用案例

选取一条 MR 信息, 根据下行频点和物理小区标识选取待定位 MR 采样点周围 3 个基站, 结合基站工参, 得到基站数据见表 1。

其它主要参数选取: $W = 30$ m, $h = 20$ m。输出 MR 采样点的坐标为 110.174 46 E, 22.644 63 N, 与 GPS 定位坐标 110.174 71 E, 22.644 72 N 比较, 误差为 27 m。用同样的方法选取 50 个 MR 采样点进行定位, 用公式(7)计算得到定位算法的均方根误差为 23 m, 定位精度达到通信业界领先水平。

表1 基站数据

Table 1 Base station data

基站中文名 eNodeBName	下行频点 DownFreq	物理小区标识 PCI	信号发射功率 RSP/dBm	信号接收功率 RSRP/dBm	天线挂高 h_BS/m	天线增益 G/dBi	经度 Longitude	纬度 Latitude
玉林玉州区运通大厦宾馆-HLH	37 900	312	9.2	-75.32	25	13.5	110.173 33	22.643 611
玉林玉州区香格里拉-HLH	38 400	325	12.2	-96.72	23	13.5	110.178 23	22.646 71
玉林玉州区城东-HLH	37 900	97	16.2	-96.39	28	13.5	110.172 22	22.649 166

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{50} (P_i - GPS_i)^2}{50}} \quad (7)$$

其中, P_i 为第 i 个 MR 采样点的本文算法定位坐标, GPS_i 为第 i 个 MR 采样点的 GPS 定位坐标。

3 结束语

本文提出把移动通信网络 MR 定位问题作为最优化问题处理,用最小二乘法求出 MR 采样点坐标的初始解;以初始解为迭代起点,用梯度法求出 MR 采样点坐标的最优解。应用案例证明该方法的定位精度为 20 m 左右,达到通信业界领先水平。

参考文献

- [1] 张振刚,金瑞. 基于 MR 和信令数据的 LTE 网络覆盖评估及盲区识别 [J]. 山东通信技术, 2016, 36(3): 23-25.
- [2] YD/T 2122-2011, TD-LTE 数字蜂窝移动通信网无线操作维护中心(OMC-R)测量报告技术要求[S]. 中国通信标准化协会, 2011.

- [3] KNUTTI F, SABATHY M, DRIUSSO M, et al. Positioning using LTE signals [C]//Proceedings of International Conference on IPIN, Alcalá de Henares.IEEE, 2016: 1-8.
- [4] ZEKAVAT R, BUEHRER M. Handbook of Position Location: Theory, Practice and Advances [M]. Hoboken: Wiley - IEEE Press, 2011: 524.
- [5] LIU Y, HAN G, WANG Y, et al. Received signal strength-based wireless source localization with inaccurate anchor positions [J]. IEEE Sensors Journal, 2022, 22(23): 23539-23551.
- [6] 杨小凤,陈铁军,黄志文. 基于超宽带的 TOA-DOA 联合定位方法 [J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2016, 28(2): 194-199.
- [7] 马昌凤,柯艺芬,谢亚君. 最优化计算方法及其 MATLAB 程序实现 [M]. 北京:国防工业出版社, 2015: 31-32.
- [8] HATA M. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1980, 29(3): 317-325.
- [9] CHARITYEV A, JUNG L, SAAD M, et al. Path loss simulation in different radio propagation models with 1.8 GHz and 2.6 GHz bands [C]// Proceedings of ICCOINS. Kuala Lumpur: IEEE, 2014: 1-5.
- [10] 3GPP TR 36.873 V1.0.0. 3D channel model for LTE [R]. 2013.