

文章编号: 2096-1618(2018)04-0391-04

网格化监测站中基于差分场强的信号源定位方法

苏良成, 王建波

(成都信息工程大学通信工程学院, 四川 成都 610225)

摘要:无线电监测和管理工作中经常需要对未知信号源进行定位。在网格化的无线电监测站中,首先对各节点测量得到的场强值进行预处理,并计算出各节点与参考节点之间的差分场强值。基于 Okumura-Hata 模型和差分场强给出了求解信号源位置的方程组,然后利用遗传算法解算出信号源的位置和发射天线高度。通过仿真分析,验证了该方法对信号源定位的准确性。

关键词:信号与信息处理;网格化监测站;场强定位;差分场强;Okumura-Hata 模型;遗传算法

中图分类号:TN98

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2018.04.007

0 引言

为有效提升无线电频谱资源的使用效率,实现监测工作的精细化、科学化,在大城市环境下,建立网格化的无线电监测网已经成为无线电监测系统的发展趋势^[1]。与传统的大型固定监测/测向和移动监测/测向站不同,网格化监测系统采用多站址、分布式的监测方式,监测网有效覆盖能力更强,同时可以引入适当的定位技术例如 RSS(received signal strength)、TDOA(time difference of arrival)等,实现干扰源的快速准确定位^[2-3]。

主要讨论网格化监测站中一种利用差分场强值的定位方法。在建设过程中先按统一标准建设若干小型监测站,将辖区划分为单元网格,各站能独立或联合进行数据采集并通过网络发送到控制中心。这种系统结构为未知信号的定位提供了有利条件:

(1)覆盖能力强,对监测区域内无线电信号发射情况做到时域、频域、空域的全面覆盖。

(2)对无线电信号各种指标参数进行实时精确测量和记录,并联合多站址的数据,使得对未知信号的数据描述更加丰富。

(3)将多站的监测数据和地理信息系统数据结合起来为未知信号定位提供了一定先验信息,有助于系统快速定位未知信号。

1 定位算法描述

1.1 RSS 值的干扰处理

无线电信号场强定位主要基于无线电传播模型。

电磁波在自由空间中传播,其场强随传播距离呈规律性衰减,因而能通过无线电信号的 RRS 值计算信号源与接收设备的距离,进而可采用基于测距的定位算法解算出信号源的位置^[4]。而实际应用中无线电的传播与地理环境密切相关,极易受到干扰,造成 RRS 值的测量误差进而产生更大的定位误差。

在无线电信号传输过程中,信号衰落主要有路径损耗、阴影衰落、多径衰落。阴影衰落主要由物体遮挡和地形变化引起,多径衰落由无线电信号沿多个路径传播到达接收机时相互干涉引起接收信号幅度的快速衰落,路径损耗可忽略不计。因此无线电信号传播过程中引起的衰落^[5],可表示为

$$L(r) = L_0(r) + L_1(r) + L_2(r, t) \quad (1)$$

其中 $L_0(r)$ 为路径衰落,与传播距离呈对数关系。 $L_1(r)$ 为阴影衰落, $L_2(r, t)$ 为多径衰落,主要由动态的传播环境变化引起,是时间和距离的函数。大量研究表明,式(1)中 $L_1(r)$ 符合正态分布、 $L_2(r, t)$ 符合瑞利分布^[5-8],文献[9]提出了多种 RSS 值的滤波算法,包括均值滤波、中值滤波、狄克逊检验法滤波、高斯滤波等,采用中值滤波能有效消除由于多径传播引起的快衰落信号。因此,文中使用中值滤波算法对测量得到的 RRS 值做预处理。

1.2 接收信号的差分场强

接收信号强度可表示为

$$P_r = P_t - L(r) \quad (2)$$

其中 P_t 为发射信号强度、 $L(r)$ 为传播过程中引起的衰落,处理后的 RSS 值不考虑多径传播引起的快衰落可表示为

$$\overline{P_r} = P_t - (\overline{L_0(r)} + \overline{L_1(r)}) \quad (3)$$

在网格化监测站中,不同监测站 M_i 、 M_j 之间接收信号场强之差可表示为

$$\overline{P_{r,ij}} = \overline{P_{r,i}} - \overline{P_{r,j}} = \overline{L_{0,ji}(r)} + \overline{L_{1,ji}(r)} \quad (4)$$

其中 $\overline{L_{0,ji}(r)}$ 为路径衰落之差,在一定区域范围内可认为地形环境相同,从而消除了传播模型中其他参数影响,仅与监测站 M_i 、 M_j 之间的距离有关。 $\overline{L_{1,ji}(r)}$ 为阴影衰落之差,服从 $N(0, \sigma^2 L_{1,ij}(r))$ 的高斯分布,因此差分场强值也服从高斯分布:

$$\overline{P_{r,ij}} \sim N(\overline{L_{0,ji}(r)}, \sigma^2 L_{1,ji}(r)) \quad (5)$$

为使测量得到的差分场强值更准确和稳定,使用高斯滤波算法对其进行处理,其基本原理是:对于连续测量得到的样本值先通过高斯模型选取高概率发生区的样本值为有效值,再求所有有效值的几何平均作为最终的测量值。假设样本服从 $N(\mu, \sigma^2)$ 的高斯分布,文献[9]指出在区间 $[\mu - \sigma, \mu + \sigma]$ 的概率为 0.6826,为高概率发生区,因此选择 $\mu - \sigma \leq L_i \leq \mu + \sigma$ 的差分场强值为有效测量值,而滤除在该区间之外的误差较大的值以提高测量的准确度和稳定性,有效解决了 RSS 值测量易受干扰、稳定性差的问题。

1.3 定位算法

传播模型表征了在某种特定环境下电磁波的传播损耗情况。Okumura-Hata 预测模型基于大量实验数据,并使用线性回归等数学手段拟合获得了传播损耗预测模型,该模型对地形、地物进行分类,利用相应曲线进行进一步的修正,使其在不同环境下能得到较准确的预测^[10-11],因此得到广泛的应用,基本公式为

$$L = 69.55 + 26.16 \lg f - 13.82 \lg h_t - a(h_r) + (44.9 - 6.55 \lg h_t) \lg r \quad (6)$$

其中, L 为电磁波传播过程中引起的衰落; f 为工作频率; h_t 为发射天线高度; h_r 为接收天线高度; r 为发射台到接收站的距离; $a(h_r)$ 为校正因子,例如对于大城市校正因子为

$$a(h_r) = \begin{cases} 8.29(\lg 1.54 h_r)^2 - 1.1, & f \leq 300 \\ 3.2(\lg 11.75 h_r)^2 - 4.97, & f > 300 \end{cases}$$

网格化监测站中,设监测站 M_i 接收到的信号场强为 $P_{r,i}$,电波从信号源 S 传播到监测站引起的衰落为 $L(r_i)$,则信号源处场强为

$$P_t = P_{r,i} + L(r_i) \quad (7)$$

则不同监测站对信号源接收场强之差为

$$P_{r,i} - P_{r,j} = L_j - L_i = (44.9 - 6.55 \lg h_t) \lg \frac{r_j}{r_i} \quad (8)$$

为方便计算,在所有监测站中取某一站点为坐标原点 $M_0(x_0, y_0, z_0)$,接收场强为 P_0 ,在该坐标系内其余监测站坐标为 $M_i(x_i, y_i, z_i)$,接收天线高度相同,信号源坐标为 $S(x, y, z)$ 。则由式(8)可以得到非线性

方程组:

$$C_i(x, y, z) = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2 - (x^2 + y^2 + z^2) 10^{\frac{2(P_0 - P_i)}{44.9 - 6.55 \lg(z)}} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

通过求解方程组(9)即可得到信号源坐标及发射天线高度。工程中求解该类方程组一般转化为求最优解问题。遗传算法通过模仿自然界选择与遗传的机理来寻找最优解,是一种全局优化算法,对于求解此类问题有较高的准确度和稳定性^[12]。为使用遗传算法求解,选取的适应度函数为

$$F_u = (\sum_{i=1}^N |C_i|) / N \quad (10)$$

使用遗传算法求解的最优解为

$$\hat{S} = \arg \min(F_u) \quad (11)$$

2 定位算法验证

2.1 验证方法

在一监测区域内有呈网格排列的 20 个监测站,各站之间间隔约为 5 km。假设在区域内 $S(x, y, z)$ 处有一发射频率为 300 MHz、功率为 2 W、发射天线高度为 50 m 的信号源。考虑在城市环境下电波传播过程中的快衰落和阴影衰落影响,接收的场强值在理想传播的条件下叠加服从瑞利分布和高斯分布的噪声,模拟实际传播过程中引起的衰落。分别使用中值滤波和高斯滤波算法对叠加了噪声的 RSS 值和差分场强值进行处理,再使用遗传算法按式(11)求解定位结果。

2.2 滤波效果验证

中值滤波算法取 50 个 RSS 样本值作为一个采样,按大小排序后取中间的 10 个样本的均值作为测量结果,在不同的接收距离上与均值滤波结果进行比较,如图 1,结果表明中值滤波算法能更有效地抑制 RSS 受到的干扰。

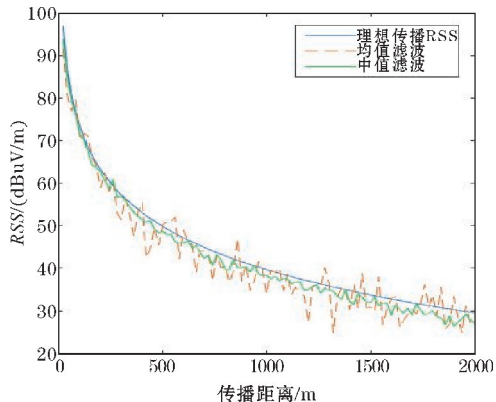


图1 RSS 的干扰处理

各监测站经过中值滤波后的 RSS 测量值每次取 20 个样本,以距离发射机200 m的监测站为参考点,减去其他监测站的 RSS 测量值做差分场强,再对产生的 20 个差分值做高斯滤波。差分场强与监测站之间距离的关系如图 2 所示,结果表明差分场强曲线更为平滑,仅与距离有关,能有效抑制其他环境因素的干扰。

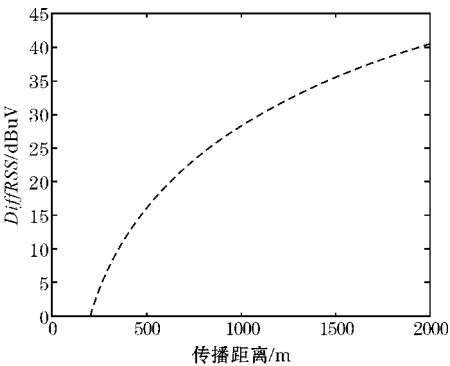


图 2 差分场强值曲线

2.3 定位算法验证

根据电波传播引起的衰落和距离的关系得知,离信号源近的地方接收场强大并且受环境影响较小,RSS 值与距离的对应关系也就越好^[14]。为进一步提高定位精度,选取所有监测站中场强值最大的4个监

测站构成定位区域 D,并以场强值最大的监测站为坐标原点参与遗传算法的定位计算。由于监测站呈网格分布,一般来说信号源会位于定位区域 D 内或附近,利用这一先验信息可以极大缩小遗传算法搜索范围。

根据选取的监测站和式(9)~(11)利用遗传算法进行信号源的位置求解,遗传算法设置的初始种群大小为 60,最大遗传代数为 20,种群向量 x,y 的范围规定为定位区域 D 范围内,定位结果如图 3 所示。

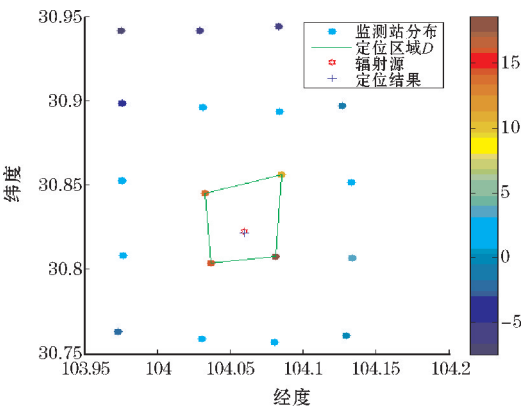


图 3 定位结果

经过多次验证,算法能对网格化监测区域中的未知信号源实现有效定位,位置误差平均距离为117 m,天线高度定位误差平均为11 m,见表 1。

表 1 定位测试结果数据

信号源经度	信号源纬度	定位经度	定位纬度	天线高度/m	位置误差/m	天线高度误差/m
104.0474	30.87034	104.0459	30.87034	51	149	1
104.0157	30.84625	104.0164	30.84617	51	75	1
104.0728	30.86141	104.072	30.86292	63	182	13
104.0642	30.84435	104.0651	30.84409	10	84	40
104.0656	30.86178	104.0652	30.86098	46	98	4

2.4 结果分析

利用无线电信号场强值进行定位易受传播环境和噪声影响,是限制 RSS 定位方法使用范围的因素之一。首先对接收的场强值进行中值滤波处理,减小了测量场强值的误差,同时定位算法中所取的是两监测站接收的场强值之差并选取场强值较大的监测站,能在一定程度上抵消环境噪声的影响,有利于提高定位精度,由以上定位结果分析可知本方法在验证条件下能满足对未知信号源的定位要求,其误差主要来源于以下两个方面:

使用遗传算法对未知信号源的位置进行解算,大量研究和实验证明遗传算法对求解此类问题有很高精度和稳定性。遗传算法作为一种随机搜索算法能快速

收敛到全局最优解,但难以求得方程组的解析解,因此也会引入一定的误差。

对于天线高度的定位结果稳定性较差,易出现较大的定位误差,由于定位算法依赖于无线电传播模型,需要对天线高度因子的修正做进一步研究。

3 结束语

提出一种在网格化的无线电监测站中对未知信号源进行定位的方法,联合多站址的监测数据,使用差分场强值和 Okumura-Hata 模型给出了能直接进行信号源位置解算的非线性方程组,再利用遗传算法求解该方程组的最优解。仿真表明方法能在一定程度上抑制电磁环境噪声的影响,对监测区域内未知信号源进行

有效定位。与传统的大型无线电监测/测向站和移动式无线电监测/测向的定位方法相比,方法只依赖于既有监测设备,实施简单,并同时解算出发射天线高度信息,为无线电监测工作带来更大的便利。

参考文献:

- [1] 孙小红. 基于网格化的无线监测系统研究[J]. 信息技术, 2013(8): 136-139.
- [2] 马婧. 网格化无线电监测系统的规划设计[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2014.
- [3] 袁冰清, 陶建胜, 周明, 等. TDOA 定位技术在网格化无线电监测系统中的应用[J]. 中国无线电, 2014(6): 55-57.
- [4] 张兢, 史文进, 李冠迪, 等. 无线传感网络中基于RSSI 质心定位的改进算法[J]. 重庆理工大学学报(自然科学版), 2017, 31(3): 132-136.
- [5] 徐丽. 增强型差分场强定位方法研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2009.
- [6] 王少尉. 移动通信场强传播损耗预测算法研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2004.
- [7] Junhui Zhang. RSS Based Location technique with the unknown transmit power and PLE using dimension reduction[A]. 信息化与工程国际学会, 2016.
- [8] Daoxin Li. RSS Based Method for Sensor Localization with Unknown Transmit Power and Uncertainty in Path Loss Exponent[A]. IEEE: , 2016.
- [9] 张铮, 饶志训, 黄志峰. 无线传感器网络中RSSI滤波的若干处理方法[J]. 现代电子技术, 2013, 36(20): 4-10.
- [10] 张鑫, 杨明华. 基于城郊环境下 Okumura-Hata 预测模型的校正与实现[J]. 通信技术, 2008(5): 67-68, 78.
- [11] 张延华, 段占云, 沈兰荪, 等. Okumura-Hata 传播预测模型的可视化仿真研究[J]. 电波科学学报, 2001(1): 89-92, 117.
- [12] 燕乐纬, 陈树辉. 基于改进遗传算法的非线性方程组求解[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2011, 50(1): 9-13.
- [13] 毕伟伟. 基于RSSI 的WSN 抗干扰定位算法研究与实现[D]. 沈阳: 东北大学, 2009.
- [14] 谢树果, 叶知秋, 王磊, 等. 一种基于场强测量的信号源定位方法[J]. 电波科学学报, 2013, 28(6): 1133-1138.
- [15] 陈豫章. 基于RSSI 的室内三维定位技术研究与实现[D]. 昆明: 云南大学, 2013.

Radio Source Locating Method based on Signal-strength-difference in Gridded Radio Monitoring System

SU Liang-cheng, WANG Jian-bo

(College of Communication Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: In radio monitoring and management work, it is often necessary to locate unknown sources. In the gridded radio monitoring station, firstly, the field strengths of each node are preprocessed and the differential field strength value between each node and the reference node is calculated. Then, an equation for calculating the location of the radiation source is obtained based on the Okumura-Hata radio propagation models and signal-strength-difference. Finally, the radio source location and the height of the launch antenna are achieved by genetic algorithm. The computer simulation shows the effectiveness of this algorithm.

Keywords: signal and information processing; grid radio monitoring system; received signal strength positioning; signal-strength-difference; Okumura-Hata; genetic algorithm