基于网格化频谱监测结果的无线干扰源定位研究

李金山 邵玉斌 龙 华
(昆明理工大学信息工程与自动化学院 昆明 650500)

摘 要 为了快速且高效地找出干扰源或非法电台,提出一种寻找干扰源位置的定位方法。该方法通过在待监测区域设置网格化分布的多个监测点来检测获取接收功率的大小,从而推测出干扰源的位置。通过仿真验证分析,验证了所提算法的正确性和有效性。

关键词 干扰源,网格化,无线电定位
中图法分类号 TP301.6 **文献标识码** A

Research on Wireless Interference Source Localization Based on Grid Spectrum Monitoring

LI Jin-shan SHAO Yu-bin LONG Hua
(Faculty of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

Abstract In order to find out the source of interference or illegal radio quickly and efficiently, in this method, a localization algorithm for interference position was proposed. The method is used to detect the size of the receiving power by setting up a grid distribution in the test area. Based on the radio signal source location algorithm proposed in this paper, the location of the interference source is found. The correctness and effectiveness of the proposed algorithm are proved by the simulation results.

Keywords Interference source, Meshing, Radio positioning

1 引言

随着我国无线电通信技术的进步和信息产业的兴起,频谱资源日益稀缺,频谱监管越来越重要,加强对干扰源或非法电台的查出力度势在必行,无线电监测部门准确地查找和排除干扰源以确保通信畅通显得尤为重要[1-3]。

传统的定位方法中,无源测向交叉定位技术的核心是测量信号的到达角度,到达时间差算法通过检测目标源发射无线电信号[4]的时间与传感器采集到信号的到达时间之差来对目标源进行定位,目前已广泛应用于无线电定位中[5-7]。

现有的无线电干扰源定位技术,根据定位时采用的特征参数的不同,发展出了以下几类基本的无线电定位技术:测向(AOA)交会定位、到达时间(TOA)定位、到达时差(TDOA)定位、多普勒频差(FDOA)定位以及联合定位等。以上几种基于时间和角度的定位方法,虽然能获得较高等级的定位精度,但是受限于目标干扰源的持续工作,定位算法也非常复杂[8-15]。

本文提出了一种快速直观、算法简单的寻找干扰源位置的定位方法。在一片待测区域中,设有若干个矩阵排列的无线电监测器,构成一个无线电监测网,用于监测该区域干扰源的信号强度,测出其接收功率的大小,对无线电监测器接收功率的大小进行分析,根据无线电监测器检测的数据,通过本文给出的算法,推测出干扰源的位置,并通过仿真给出了验证。

2 二维空间中干扰源的定位算法

2.1 电磁波的传播模型

在二维自由空间中,假设信号源的发射功率为 P_t,首先确定电磁波在二维自由空间的传播模型为:

$$P_r=\frac{A_r}{d^2}P_tG_t$$

其中,P_t 为发射功率,以圆辐射;$A_r=\frac{\lambda^2G_r}{4\pi}$;$\lambda$ 为工作波长;G_t,G_r 分别表示发射天线和接受天线增益;d 为发射天线和接受天线间的距离。

在二维自由空间中,接收功率 P_r 与发射天线和接受天线间的距离 d^2 成反比,G_t,G_r,A_r 均为已知常量,则电磁波在二维自由空间的传播模型可简化为:

$$P_r=\frac{k}{d^2}P_t$$

其中,$k=A_rG_t$[16]。

2.2 定位算法

假设在一待测区域中,设有若干个矩阵排列的无线电监测器,构成一个无线电监测网,用于监测该区域的干扰源的信号强度,测出其接收功率的大小,通过对无线电监测器接收功率的大小进行分析,根据无线电监测器测得的干扰源功率的大小,找出相邻 4 个监测点数据之和最大的小矩形区域,即为干扰源所在的一个小矩形区域。

设干扰源坐标为(X_0,Y_0),发射功率为 P_t,干扰源所在矩形区域的 4 个监测点坐标分别为 $a_1(X_1,Y_1)$,$a_2(X_2,Y_2)$,$a_3(X_3,Y_3)$,$a_4(X_4,Y_4)$,在没有噪声干扰的理想环境下,对应监测点测得的接收功率为 P_{r1},P_{r2},P_{r3}、P_{r4},其中 $X_1=X_4$,$X_2=X_3$,$Y_1=Y_2$,$Y_3=Y_4$,则 $X_1<X_0<X_2$,$Y_1<Y_0<Y_3$,故根据电磁波在二维自由空间的传播模型可得:

$$(X_1-X_0)^2+(Y_1-Y_0)^2=\frac{kP_t}{P_{r1}} \tag{1}$$

$$(X_2-X_0)^2+(Y_2-Y_0)^2=\frac{kP_t}{P_{r2}} \tag{2}$$

李金山(1989-),男,硕士生,主要研究方向为移动通信和无线网络,E-mail:592766356@qq.com;邵玉斌(1970-),男,硕士,教授,主要研究方向为移动通信和个人通信系统,E-mail:792396962@qq.com(通信作者)。

$$(X_3-X_0)^2+(Y_3-Y_0)^2=\frac{kP_t}{P_{r3}} \tag{3}$$

$$(X_4-X_0)^2+(Y_4-Y_0)^2=\frac{kP_t}{P_{r4}} \tag{4}$$

根据式(1)－式(4)便可得到：

$$\frac{P_{r2}}{P_{r1}}[(X_2-X_0)^2+(Y_2-Y_0)^2]-(X_1-X_0)^2-(Y_1-Y_0)^2=0 \tag{5}$$

$$\frac{P_{r2}}{P_{r3}}[(X_2-X_0)^2+(Y_2-Y_0)^2]-(X_3-X_0)^2-(Y_3-Y_0)^2=0 \tag{6}$$

$$\frac{P_{r2}}{P_{r4}}[(X_2-X_0)^2+(Y_2-Y_0)^2]-(X_4-X_0)^2-(Y_4-Y_0)^2=0 \tag{7}$$

$$\frac{P_{r3}}{P_{r1}}[(X_3-X_0)^2+(Y_3-Y_0)^2]-(X_1-X_0)^2-(Y_1-Y_0)^2=0 \tag{8}$$

$$\frac{P_{r3}}{P_{r4}}[(X_3-X_0)^2+(Y_3-Y_0)^2]-(X_4-X_0)^2-(Y_4-Y_0)^2=0 \tag{9}$$

$$\frac{P_{r4}}{P_{r1}}[(X_4-X_0)^2+(Y_4-Y_0)^2]-(X_1-X_0)^2-(Y_1-Y_0)^2=0 \tag{10}$$

假设电波在空中传播受到瑞利噪声的影响，随机数 R 服从方差为 c、均值为 u 的瑞利分布，则在实际中对应监测点测得的接收功率分别为 P_{n1}，P_{n2}，P_{n3}，P_{n4}，其中 $P_{n1}=P_{r1}+R$，$P_{n2}=P_{r2}+R$，$P_{n3}=P_{r3}+R$，$P_{n4}=P_{r4}+R$。

故由电磁波在含有噪声的二维空间中传播可得：

$$\left|\frac{P_{n2}}{P_{n1}}[(X_2-X_0)^2+(Y_2-Y_0)^2]-(X_1-X_0)^2-(Y_1-Y_0)^2\right|<d \tag{11}$$

$$\left|\frac{P_{n2}}{P_{n3}}[(X_2-X_0)^2+(Y_2-Y_0)^2]-(X_3-X_0)^2-(Y_3-Y_0)^2\right|<d \tag{12}$$

$$\left|\frac{P_{n2}}{P_{n4}}[(X_2-X_0)^2+(Y_2-Y_0)^2]-(X_4-X_0)^2-(Y_4-Y_0)^2\right|<d \tag{13}$$

$$\left|\frac{P_{n3}}{P_{n1}}[(X_3-X_0)^2+(Y_3-Y_0)^2]-(X_1-X_0)^2-(Y_1-Y_0)^2\right|<d \tag{14}$$

$$\left|\frac{P_{n3}}{P_{n4}}[(X_3-X_0)^2+(Y_3-Y_0)^2]-(X_4-X_0)^2-(Y_4-Y_0)^2\right|<d \tag{15}$$

$$\left|\frac{P_{n4}}{P_{n1}}[(X_4-X_0)^2+(Y_4-Y_0)^2]-(X_1-X_0)^2-(Y_1-Y_0)^2\right|<d \tag{16}$$

其中，d 为每个式子的误差值，误差值 d 由相邻传感器的间距确定，经过大量的实验可知，当相邻传感器的间隔为 100m 时，误差 d 的取值为 100～800；当相邻传感器的间隔为 1000m 时，误差 d 的取值为 10000～80000，所计算出的干扰源位置才较为合理。

所测干扰源位于一个小矩形区域的 4 个顶点，分别为 a_1，a_2，a_3，a_4，设定合适的误差值 d，X_0 和 Y_0 在矩形区域内遍历取值，标记出能同时满足式(11)－式(16)中所有式子的坐标点，这些点所在的区域即为干扰源所在的区域。

3　验证分析

3.1　仿真实验

假设在(600，600)处有一个发射功率为 10W 的干扰源，传播中受到均值为 0、方差为 0.0015 的高斯白噪声的影响。

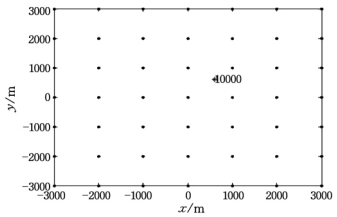


图 1　矩阵排列的无线电监测器

由若干个矩阵排列的无线电监测器构成一个无线电监测网，相邻监测器的间隔为 1000m(见图 1)，用于监测该区域的干扰源的信号强度，测出其接收功率的大小，如表 1 所列。

表 1　对应位置的监测器接收到的功率值

功率/dBm　x/m　y/m	−3000	−2000	−1000	0	1000	2000	3000
−3000	−31.8303	−33.2597	−33.0426	−33.3649	−32.7157	−27.6817	−30.1368
−2000	−23.4501	−29.6924	−29.8729	−31.9812	−25.5524	−32.5220	−30.1909
−1000	−27.9748	−34.6636	−33.7706	−26.5212	−21.7559	−29.6690	−27.8410
0	−35.1258	−26.5667	−30.1737	−18.7125	−17.1384	−23.7231	−29.9568
1000	−27.9997	−32.5259	−24.5749	−16.9050	−15.2749	−25.1334	−26.4302
2000	−30.9253	−25.1380	−26.8984	−25.1534	−22.4211	−25.7432	−32.4872
3000	−25.0562	−29.1257	−25.1177	−28.3559	−26.0852	−24.4199	−21.8963

对无线电监测器接收功率的大小进行分析，根据无线电监测器检测的数据，找出相邻 4 个监测点数据之和最大的小矩形区域，即为干扰源所在的一个小矩形区域。由表 1 可知，干扰源所在的小矩形区域的 4 个顶点对应的接收功率分别为 0.013451mW，0.019327mW，0.029683mW，0.020394mW，对应点的位置坐标值为(0，0)，(1000，0)，(1000，1000)，(0，1000)。

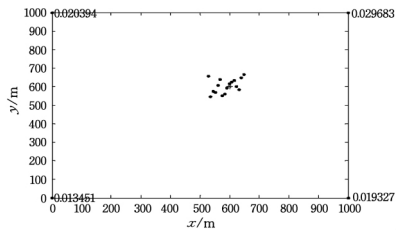


图 2　推测出的干扰源位置

采用本文提出的算法得到的仿真结果如图 2 所示。

(下转第 299 页)

International Conference on RFID. IEEE，2008：320-327.
[12] EPCglobal Inc. EPC Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860-960 MHz [S/OL]. [2015-11-24]. http://www.gs1.org/epcrfid/epc-rfid-uhf-air-interface-protocol/2-0-1.
[13] YEAGER D，ZHANG F，ZARRASVAND A，et al. A 9μA，addressable gen2 sensor tag for biosignal acquisition[J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits，2010，45(10)：2198-2209.
[14] MONTEFIORE A，PARRY D，PHILPOTT A. A Radio Frequency Identification (RFID)-based wireless sensor device for drug compliance measurement [EB/OL]. [2015-11-14]. http://wisp.wikispaces.com/file/view/Montefior_2010_HINZ.pdf.
[15] HOQUE E，DICKERSON R F，STANKOVIC J A. Monitoring body positions and movements during sleep using WISPs [C]// ACM Wireless Health 2010. ACM，2010：44-53.
[16] GUMMESON J，CLARK S S，FU K，et al. On the limits of effective hybrid micro-energy harvesting on mobile CRFID sensors [C]// Proceedings of the 8th International Conference on Mobile Systems，Applications，and Services. ACM，2010：195-208.
[17] GASCO F，FERABOLI P，BRAUN J，et al. Wireless strain measurement for structural testing and health monitoring of carbon fiber composites [J]. Composites Part A：Applied Science and Manufacturing，2011，42(9)：1263-1274.
[18] VISVANATHAN R，RANASINGHE D C，SHINIMOTO T R L，et al. Framework for preventing falls in acute hospitals using passive sensor enabled radio frequency identification technology [C]// 2012 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). IEEE，2012：5858-5862.
[19] TALLA V，BUETTNER M，WETHERALL D，et al. Hybrid analog-digital backscatter platform for high data rate，battery-free sensing [C]// 2013 IEEE Topical Conference on Wireless Sensors and Sensor Networks (WiSNet). IEEE，2013：1-3.
[20] CZESKIS A，KOSCHER K，SMITH J R，et al. RFIDs and secret handshakes：defending against ghost-and-leech attacks and unauthorized reads with context-aware communications [C]// Proceedings of the 15th ACM Conference on Computer and Communications Security. ACM，2008：479-490.
[21] SHU Y，CHEN J，JIANG F，et al. Demo：WISP-based access control combining electronic and mechanical authentication[C]// Proceedings of the 9th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems. ACM，2011：433-434.
[22] CHAE H J，SALAJEGHEH M，YEAGER D J，et al. Maximalist cryptography and computation on the WISP UHF RFID tag-Wirelessly Powered Sensor Networks and Computational RFID [M]. New York：Springer，2013：175-187.

（上接第 275 页）

3.2　误差分析

图 2 中得到的点的分布区域，即为推测出的干扰源所在位置。仿真所得到的干扰源可能的位置坐标分别为(600，616)，(608，624)，(616，632)，(560，608)，(568，640)，(592，592)，(624，600)，(544，576)，(552，568)，(576，552)，(584，560)，(632，584)，(640，648)，(536，544)，(528，656)，(648，664)。

仿真得到的点到真实干扰源位置的平均距离为 48.393m，对干扰源可能的位置坐标取平均得到一个推测的干扰源位置坐标(588，604)，此干扰源的位置距真实干扰源的位置偏差约为 12m。相比于现在已有的无线定位方法[17]，本文所采用的定位方法精确度更高，复杂程度更低，实用性更强。

从仿真结果以及对于结果的误差分析可知，干扰源被确定在一个很小的区域内，对这些推测点取平均后，所得到的干扰源位置与真实干扰源位置的偏差在一个很小的误差范围内，验证了本文所提出算法的可靠性和有效性。

结束语　本文提出的基于网格化频谱监测结果的无线干扰源定位方法，实施简单，可以快速、直观地判断出干扰源所在的一个小区域，通过在一片待测区域，设有若干个矩阵排列的无线电监测器，构成一个无线电监测网，利用对频谱监测结果的分析，采用本文提供的算法，便可以定位出干扰源所在的位置。同时，为现实生活中对于无线干扰源定位的研究，提供了一个新的方向。

参 考 文 献

[1] 李艳斌. 通信电子战面临的挑战[J]. 无线电通信技术，2013，39(2)：1-3.
[2] 郑春锋，徐扬. 一种基于方位角和网络拓扑的定位算法及应用[J]. 计算机科学，2014，41(6A)：273-275，295.
[3] 李宁，曹祯，邓中亮，等. 干扰源定位中到达时间差参数估计方法[J]. 系统工程与电子技术，2016，38(5)：994-997.
[4] 徐冉. 无源测向定位算法研究[D]. 长春：长春理工大学，2013.
[5] CHEN M，FOWLER M L. Geometry-adaptive data compression for TDOA/FDOA location[C]// 2005 IEEE International Conference on Acoustics，Speech，and Signal Processing. 2005：1069-1072.
[6] FLETCHER F，RISTIC B，MUICKI D. Recursive estimation of emitter location using TDOA measurements from two UAVs [C]// 10th International Conference on Information Fusion. 2007：1-8.
[7] 陈德章，唐插，吴季达. 基于 Chan 和 Taylor 的 TDOA 协同定位算法研究[J]. 计算机科学，2011，38(B10)：406-407，411.
[8] LIU C F，YANG J，WANG F S. Joint TDOA and AOA Location algorithm[J]. Systems Engineering and Electronics，2013，24(2)：183-187.
[9] YAN C H，JIN L. Accurate Positioning Approach of Multiple Source Target Under Time Offest[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators，2015，28(2)：178-182.
[10] 李振强，黄振，陈曦，等. 时频差精度的时变性影响及补偿估计方法[J]. 系统工程与电子技术，2016，38(3)：481-486.
[11] 周益明，朱佳伟. 差分进化算法在时差频差高精度实时定位中的应用[J]. 通信对抗，2014，33(3)：27-30.
[12] 史小红. 基于 TDOA 的无线定位方法及其性能分析[J]. 东南大学学报(自然科学版)，2013，43(2)：252-257.
[13] 王鹏，雷斌，张洪顺. TDOA 定位系统的设计与实现[J]. 中国无线电，2013(1)：63-64.
[14] 杨俊峰，张丕状. 基于 Chan 算法和 Taylor 级数混合算法的到达时差定位[J]. 核电子学与探测技术，2013，33(4)：480-482.
[15] 谢莹丽，施继红，蔡光卉，等. 基于 TDOA 机场无线电监管能力的仿真与优化[J]. 无线电工程，2015，45(12)：69-73.
[16] 西蒙·赫金. 现代无线通信[M]. 北京：电子工业出版社，2006.
[17] 彭宇，王丹. 无线传感器网络定位技术综述[J]. 电子测量与仪器学报，2011，25(5)：389-396.