

非法电台定位TDOA解决方案

俞一鸣

上海聚星仪器有限公司

1 应用需求

随着广播发射设备日益小型化,许多地区架设了非法的广播发射设备,干扰了正常的广播节目。由于非法广播危害较大,需要对其进行取缔,维护正常的播出秩序,因此需要对非法广播进行监听和定位。传统的定位方法基于相干干涉测向,对测向天线相位一致性要求苛刻,使得设备成本高居不下。因此需要一个快速方便的定位设备来发现非法广播设备。

2 技术原理

2.1 监测定位工作方式

对于广播信号的监测定位系统工作方式主要有日常监测、干扰分析、测向定位等。日常的工作内容主要包括以下几点:

1)对于正常发射的广播信号,需要监测其信号特征和频谱占用度,记录使用状态。

2)对于非法发射的广播信号,需要分析其信号特征,记录干扰过程(包括音频和频谱证据),对干扰信号源进行定位,找到干扰源并排查干扰原因。

3)对发射信号的定位,可以用多套设备进行交汇定位,当远距离交汇定位受复杂的电磁环境影响时,还可以通过移动设备作逼近定位。

非法电台定位的TDOA解决方案就是充分利用广播监测设备,运用TDOA算法,实现对非法发射信号的定位。由于采用监测设备进行定位,系统不包含复杂的测向天线,因此具有设备简单、使用方便、灵活性高等特点。

2.2 信号监测分析

现有的广播信号监测系统包含了频谱监测和解调监听两个部分。频谱监测是指对广播频段的信号持续扫描得到频谱,通过门限判别,识别正在播出的广播信号。对正常信号可以进行定时测量,记录其播出状态,对非法电台则记录其占用的频率和播出的功率。解调监听是指对单个广播电台进行解调,对正常信号监听其播放质量,对于非法电台则记录其播出内容。

2.3 测向定位原理

对非法广播的定位采用达到时间差(TDOA)的方法。到达时间差定位依据时差测向法技术体制,利用地

理位置不同的3个以上监测系统联合监测同一干扰信号,根据这一干扰信号源的无线电辐射到达不同监测系统时间差,计算出干扰源位置。例如x坐标轴上对称于y轴间隔 $2L$ 的2个监测系统*i*和*j*,接收到同一信源时间差为 $t(i,j)$,信号源就在以下公式表述的双曲函数上。

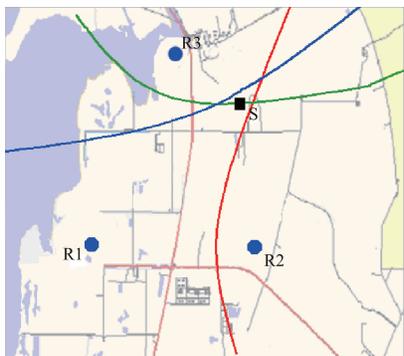
$$\frac{x^2}{\frac{1}{4}c^2t(i,j)^2} - \frac{y^2}{\frac{1}{4}(4L^2 - c^2t(i,j)^2)} = 1$$

式中: c 就是光速。如果有3个或3个以上接收机同时测量,就可以得到多个双曲函数,它们的共同交点就是信号发射地点。如图1所示,3个圆点表示3个监测站位置,它们两两之间的时间差推导出3根目标所在的双曲函数,这3根函数的交点就是信号发出的地点。

3 基本监测系统

3.1 系统目标

构建广播信号的监测和定位系统,必须能够有效监测信号发射占用的频率,记录发射的内容,对非法信号进行快速的排查,准确定位非法信号的发射源。



Spectrum-4.7-14

图1 到达时间差定位原理示意

因此系统需具备以下特征：

- 1) 单套系统应满足体积小、重量轻的要求，便于携带；
- 2) 设备使用的硬件应结构合理、模块化，并具备可扩展性；
- 3) 系统应具备日常频谱监测功能，包括频段扫描、中频频谱、信号解调；
- 4) 系统应具有信号记录功能，

能够回放信号的频谱、音频，便于事后分析；

5) 系统应支持对信号进行定位的功能，能够快速查找非法电台；

6) 系统应支持多系统联动；

7) 系统应具有良好的人机操作界面。

3.2 系统组成

系统由接收机，天线，辅助系统以及监测定位软件组成。单套系统独立运行时，能够进行广播信号的监测识别，及时发现非法广播。当两个或者以上系统实现联合工作时，能够对信号进行定位。

如图2所示为单个车载测向监测系统构成，主要包括：监测天线、监测接收机、电池（逆变器）等硬件；同时，集成了接收机控制、数据库、报表生成等相应的系统软件，共同组成

测，发挥其灵活机动、贴近发射源等优势，提供更精确地监测信息。此外对于场强覆盖等特殊监测任务，移动式监测站可结合地图信息，作出准确的描述。

单台车载监测系统具有结构简单，使用方便等优点。而两个车载监测系统构成的监测网就能无缝升级成为定位系统，通过多个监测站联合定位的方式实现交汇定位，仅需要软件上的配置，无需增加额外的硬件成本。多台监测车协同工作时形成监测网，通过GPS同步采集，通过3G移动网络汇集数据进行计算，得到干扰源具体位置。发挥了整个监测系统硬件利用率高、软件组织灵活、系统结构可靠的优势。

3.2.1 监测天线

监测天线需要具有高灵敏度，可以捕获到弱小的干扰信号，提高监测站的覆盖范围。同时通过两组监测天线和双信道接收机的组合，可以覆盖更广泛的频率范围，同时满足调频和调幅信号的监测功能。

M205是一款便携无源监测天线。它体积小、结构强度大、环境耐受特性较好，同时灵敏度高、线性度好。无源设计使得它在大信号下有非常好的抗阻塞能力。此外天线安装方便，便于隐蔽的特点使得监测车在目标附近测量时，不易引起注意。

3.2.2 监测接收机

监测接收机用来查找干扰信号源，通过快速扫描全频段频谱，发现

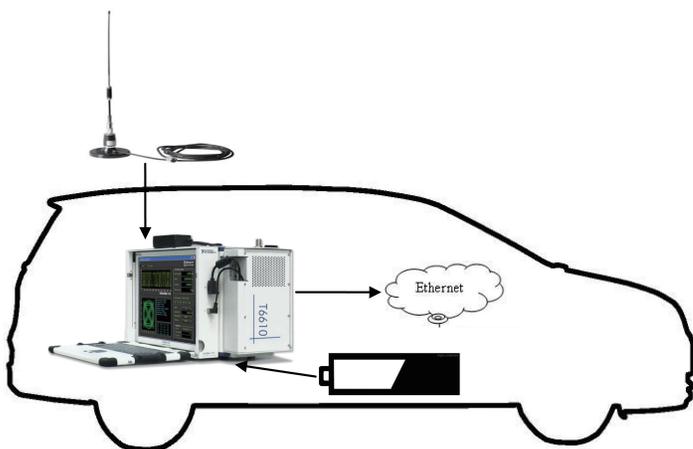


图2 监测车系统示意图

了一个车载监测站。

车载测向监测系统能够提供完整的监测功能，包括对频谱扫描，记

录信号强度，对单个信号进行解调监听，是一个完整的监测接收系统。同时作为车载系统，还可以通过移动监



图3 M205监测天线

非法发射的信号, 对其进行测量和记录。同时也可以对已知信号进行解调分析, 确认其发射参数正常。

V-6613是一款紧凑型高性能接收机, 是针对广播监测应用专门设计的接收机, 具有动态高、速度快、双通道等优点, 结合软件无线电技术, 能够对广播信号进行测量分析。



图4 监测接收机

3.2.3 授时同步模块

授时同步模块用于同步各个监测系统的信号采集时间, 保证每个监测站在同一时刻采集, 采集到的信号可以通过相关运算得到到达各个监测站的时间差。授时同步模块的同步精度影响系统的定位精度, 是系统十分重

要的一部分。

同时授时同步模块内置GPS, 能够提供监测站地理位置信息。当车载站在进行移动监测时, 能够实时返回

移动位置信息, 并在地图上进行标注。通过比较不同位置测得的信号强度可以得到发射台信号的场强覆盖。另一方面TDOA计算曲线也是以车载



图5 车载监测站的地理位置

站的位置作为焦点, 通过不同位置上的双曲线在地图上的分布汇总, 就可以得到发射台的实际位置。

3.2.4 电源模组

电源模组提供了整个系统的供电, 包括电池、UPS等。

常用的电池模块一般为铅酸电池组, 主要考虑到铅酸电池输出电流大, 环境耐受性好。考虑到监测车长时间工作, 并且车内温度高, 行驶过程中比较颠簸, 铅酸电池能够有效的适应各种恶劣环境, 提供可靠的供电保障。此外, 一般车载电池也为铅酸电池, 可以通过线路改造, 利用汽车发动机直接给电池充电。

UPS主要保证逆变器的输出比较可靠, 由于接收机和天线都是贵重设备, 对输入电源的要求比较高, 现在高端UPS能够对电源进行稳压滤波,

保证电源品质。

3.2.5 通信模组

通信模组主要实现车载监测站和监测网的连接, 包括3G路由设备、VPN设备。

3G路由设备提供网络接入, 使得监测数据能够和中心服务器保持同步。同时中心监控站也可以下达任务给监测车, 实现远程控制。

VPN用来组建虚拟专网, 使得外部人员无法获取监测资料, 提高了系统的安全性。VPN也可以通过软件来实现。

3.2.6 信号测量与分析软件

监测站需要对信号解调分析和测量, 记录信号的特征参数。并且利用信息化手段对信号进行归档识别, 利用流盘回放对信号进行再现和高级处理。

V-5421信号参数测量软件，能够提供宽带信号扫描功能，及时发现非法广播；能够提供符合ITU标准的参数测量规范，可以准确的统计发射台的工作状态；提供信号解调与录制功能，能够识别和记录广播的内容。



图6 V-5421信号测量分析软件

如图7所示，红线是某次测量得到的信号可能出现位置的双曲线集合，通过观察双曲线的曲率，得到信号在更靠近R2的一侧。通过移动R1，使双曲线曲率发生变化，监测车就能够更靠近发射信号源。通过反复不断调整R1和R2的位置，最终能够找到发射信号的具体位置。

3.2.8 工作流程

如图8所示为两辆车组成的定位系统的工作流程。首先两辆车分别监测到有非法电台的发射，然后进行联合测向得到一条双曲线，根据双曲线的曲率，移动其中一辆监测车到新的位置，再进行一次联合测

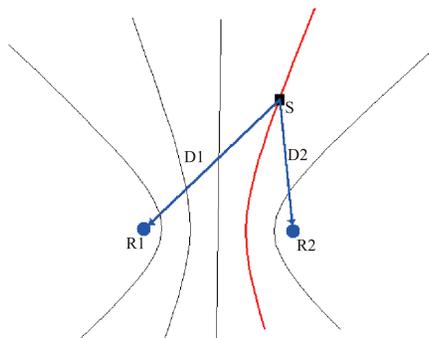
向，得到更新的曲线。根据双曲线的交汇位置，反复移动两辆监测车，实时进行测向，逐步逼近，最终查找到非法信号。

在查找过程中，能够得到双曲线交汇的位置图，将每次测向的结果交汇在同一坐标上，得到最有可能的发射位置，即为非法信号的发生地点。

V-1125多站联合测量软件实现了多站多点的联合测量分析。可以通过两个车载站移动站进行TDOA测向，将多点多次测向得到的数据汇总分析，从而实现定位。在汇总分析过程中，可以设置信号门限，从而避免因监测距离过远造成的误判；也可以

3.2.7 TDOA定位分析软件

当两个监测系统对同一信号进行TDOA测量后得到一条对应的双曲线，然后根据双曲线的曲率，移动其中一个监测车移动相应的位置，再次测量得到对应的双曲线，将多条双曲线汇总，结合地图进行显示，则得到非法发射信号的位置。



Spectrum-4.7-13

图7 TDOA曲率

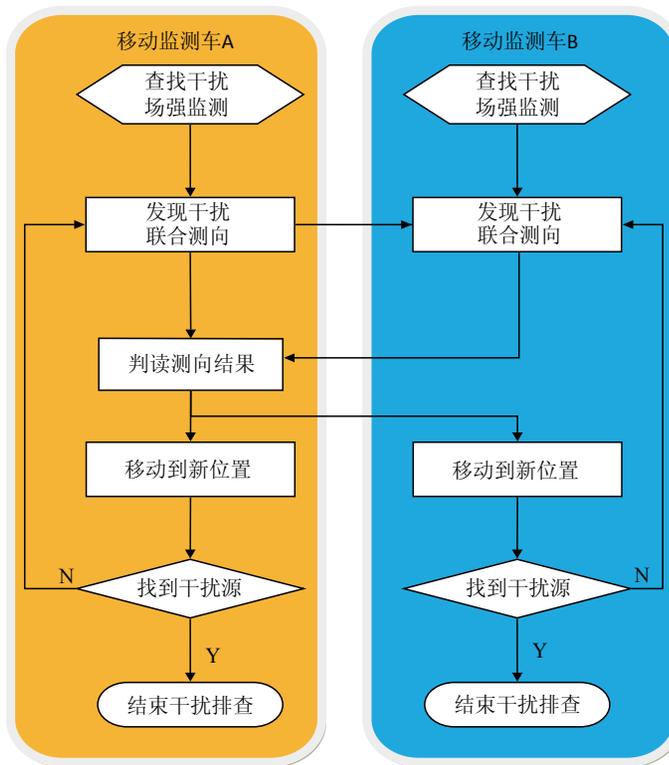


图8 TDOA查找信号流程

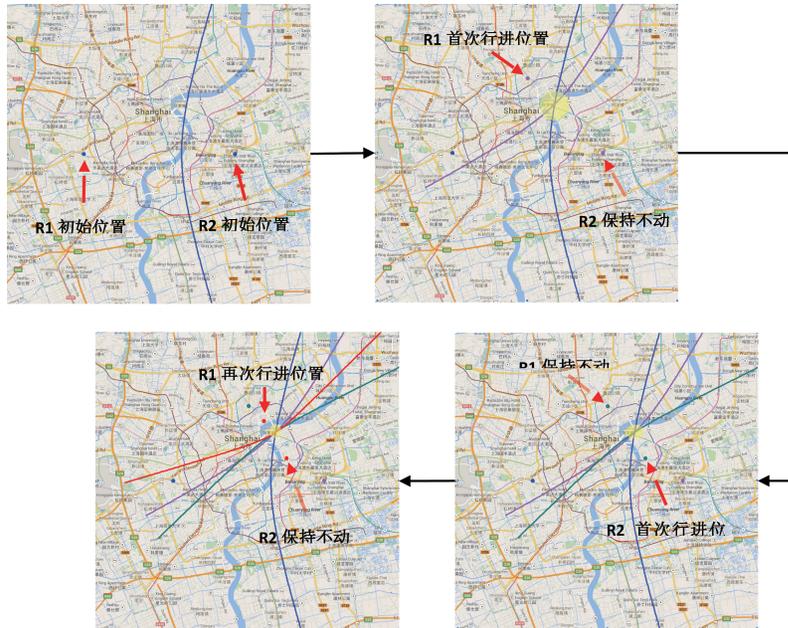


图9 TDQA曲线交汇流程

设置双曲线的曲率门限，避免在交点附近测量误差较大的情形。也可以手动挑选需进行交汇的曲线，排除未知的测量误差。

而在车载监测站行进过程中，还能实时对监测数据进行汇总分析，计算不同位置的场强，实现对信号场强覆盖统计，对发射电台的影响范围得到更多的认知。

4 TDQA定位小结

综上所述，TODA定位是一个稳定可靠的定位方式。TODA定位系统是一种多站联合定位方式，最大限度的利用了现有的检测设备资源，提供高精度的定位方法，适用于新型无线电信号的定位和监测。

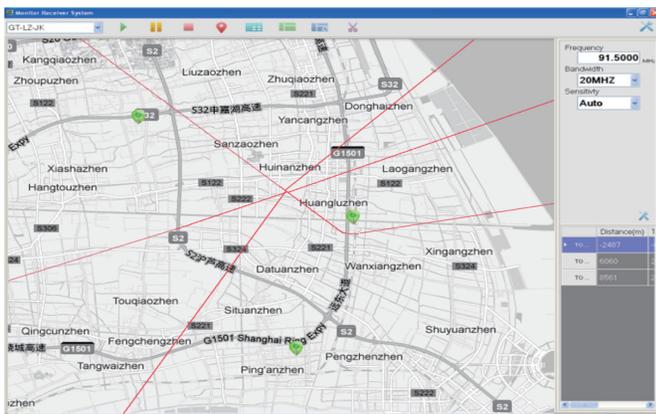


图10 TDQA多双曲线汇总

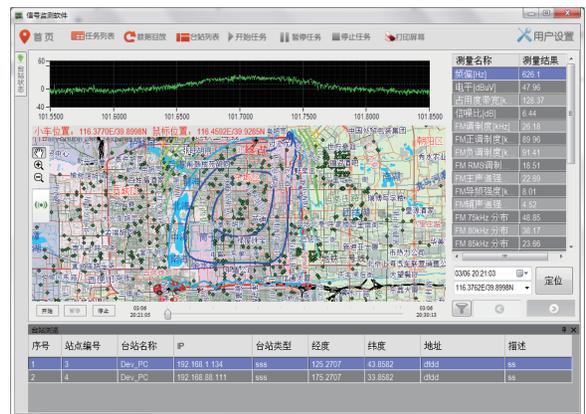


图11 移动站场强覆盖