

无线电监测与测向定位技术的探讨

刘亚欧

石家庄诺通人力资源有限公司 河北 石家庄 050000

摘要：本文对无线电监测与测向定位技术进行了全面探讨。首先阐述了无线电监测技术的概念，包括频谱监测与信号分析，以及其在国防、通信、航空航天等多个领域的广泛应用。接着介绍了传统与现代的监测及测向方法，分析了该技术面临的干扰、精度、设备性能与成本等问题，最后展望了其技术融合、智能化发展、小型化低功耗等发展趋势，为相关研究和实践提供了有益参考。

关键词：无线电监测；测向定位；技术探讨

引言：随着无线电技术的飞速发展，其应用领域不断拓展，从国防安全到民用通信，从航空航天到工业科研等，都离不开该技术的支持。无线电监测通过频谱监测与信号分析等手段，对无线电信号进行探测、识别和监视，而测向定位则是确定信号源的位置。了解其主要方法、面临的问题及发展趋势，对于更好地应用和发展该技术，保障无线电频谱资源的合理利用和各类无线电业务的正常运行至关重要。

1 无线电监测技术的概念

1.1 频谱监测与信号分析

频谱监测是无线电监测的重要组成部分，旨在对特定频段内的无线电信号进行实时监测和分析。频谱监测通过接收天线收集空中的无线电信号，然后将其转换为电信号进行处理。通过频谱分析仪、监测接收机等设备，可以将接收到的信号在频域上进行显示，直观地呈现出不同频率上信号的强度和分布情况。信号分析则是对监测到的无线电信号进行深入研究，以获取更多关于信号的特征和信息。这包括对信号的调制方式、编码方式、功率、带宽等参数的分析。通过信号分析，可以识别信号的类型，如语音信号、数据信号、图像信号等，还可以判断信号是否存在干扰或异常情况。常用的信号分析方法包括傅立叶变换、小波变换等，这些方法可以将信号从时域转换到频域，以便更好地进行分析和处理。

1.2 无线电监测技术的应用

无线电监测技术在多个领域都有着广泛的应用：

（1）国防安全领域：用于军事通信监听、电子战侦察、雷达信号监测等。通过监测敌方的无线电信号，获取情报信息，为军事决策提供支持。也可用于保障己方通信的安全，防止敌方的干扰和窃听。

（2）通信领域：在移动通信网络的建设和优化中，无线电监测技术可以帮助确定基站的位置和覆盖范围，监测信号的质量和干扰情

况，从而提高网络的性能和服务质量。还可用于检测和打击非法的通信设备和行为，如伪基站、非法电台等，维护通信秩序。

（3）航空航天领域：对航空通信频率进行监测，确保飞机与地面之间的通信安全和顺畅。也可用于卫星通信的监测和管理，保障卫星的正常运行和通信服务。

（4）工业与科学研究领域：在工业自动化、物联网、智能交通等领域，无线电监测技术可以用于监测和管理无线设备的通信，确保设备之间的正常通信和协同工作。在科学研究中，如射电天文学，通过对宇宙中的无线电信号进行监测和分析，获取有关天体的信息。

（5）公共安全领域：在大型活动、突发事件等情况下，无线电监测技术可以用于监测和定位可疑的无线电信号，为安全保障提供支持。比如，在奥运会、世博会等大型活动中，通过实时监测和定位可疑信号，保障活动的顺利进行。

2 无线电监测与测向定位技术的主要方法

2.1 传统的无线电监测方法

在无线电监测技术发展的早期阶段，人工监测是关键^[1]。监测人员凭借自身的专业知识和经验，手动操作监测设备，如接收机等，通过仔细地调节频率、增益等参数，来搜索和检测无线电信号。这种方式在当时的技术条件下，对于一些简单的、小范围的监测任务有一定的可行性。随着无线电技术的飞速发展，信号数量和频段的不断增加，其弊端愈发明显。一方面，人工操作的效率极为低下，需要耗费大量的时间和人力成本来完成监测任务；另一方面，由于人为因素的影响，容易出现操作失误，导致监测结果不准确。而且，面对日益复杂的电磁环境和大量频段的信号，人工监测难以实现对其进行实时、全面的监测，无法满足现代无线电管理和应用的需求。为了提高无线电监测的能力和精度，固定监测站监测应运而生。通过在特定的地理位置建立配备有

大型、专业监测设备的固定监测站，能够对一定区域内的无线电频谱进行较为稳定和精确的监测。这些监测设备通常具有高灵敏度的接收机、高性能的天线以及先进的数据处理系统，能够有效地捕捉和分析无线电信号的各种参数，如频率、幅度、调制方式等。固定监测站的优点在于其监测能力强、精度高，能够为无线电频谱管理、通信保障等提供可靠的数据支持。

2.2 现代无线电监测技术

随着信息技术和网络技术的不断进步，网络化监测成为现代无线电监测的重要发展方向。它利用多个分布在不同地点的监测站组成一个有机的监测网络，从而实现更大范围的无线电频谱的实时、动态监测。各监测站之间通过高速、稳定的网络连接，能够实时共享监测数据，将分散的监测资源整合起来，大大提高了监测效率和精度。比如，在一个地区的多个城市建立监测站，并通过网络将它们连接成一个整体，就可以对整个地区的无线电频谱进行全面、有效的监测，及时发现和处理各种无线电干扰和非法信号发射等问题，为保障无线电通信的正常运行和维护空中电波秩序发挥了重要作用。软件定义无线电（SDR）技术的出现为无线电监测带来了新的变革。SDR技术将传统的无线电功能通过软件编程的方式来实现，打破了以往硬件对无线电功能的限制。监测设备基于SDR技术，可以通过灵活地调整软件参数，如接收频率、调制方式、带宽等，快速地适应不同的监测需求，大大提高了监测设备的通用性和灵活性^[2]。与传统的基于硬件的监测设备相比，SDR监测设备具有成本低、可扩展性强、易于升级等优点。它能够根据无线电技术的发展和监测任务的变化，及时更新软件算法和功能模块，始终保持对新的信号类型和调制方式的监测能力，为无线电监测工作提供了更加高效、便捷的技术手段。

2.3 传统的无线电测向方法

（1）比幅测向法是一种较为简单、直观的传统测向方法。它使用可旋转的天线，通过手动或电动方式缓慢地旋转天线，在旋转过程中，监测人员观察接收信号的强度变化，寻找信号强度最大或最小的方向，以此来确定信号源的大致方向。这种方法的优点是操作相对简单，不需要复杂的设备和技术支持，成本较低，易于实现。然而，其缺点也比较明显，由于受到天线方向性、环境噪声、多径效应等因素的影响，其测向精度较低，往往只能提供一个大致方向估计，无法满足高精度测向的要求。而且，旋转天线的过程较为缓慢，导致测向速度慢，难以在短时间内确定信号源的位置，在一些对

实时性要求较高的应用场景中受到限制。

（2）干涉仪测向法是目前主要使用的传统测向方法。它的测向原理是：电波在行进中，从不同方向来的电波到达测向天线阵时，空间上各测向天线单元接收的相位不同，因而。相互间的相位差也不同，通过测定来波相位和相位差，即可确定来波方向。

干涉仪测向体制的优点是：采用变基线技术，可以使用中、大基础天线阵，可采用多信道接收机、计算机和FFT技术，使得该体制测向灵敏度高，测向准确度高，测向速度快，有一定的抗波前失真能力。干涉仪测向是当代比较好的测向体制，但由于研制技术较复杂、天线阵各接收单元及接收机各通路之间接收一致性要求较高，技术实现难度较大，因此造价较高。

2.4 现代无线电测向技术

空间谱测向法是现代无线电测向领域的一项重要技术，空间谱估计测向体制的测向原理为，在已知座标的多元天线阵中，测量单元或多元电波场的来波参数，经过多信道接收机变频、放大，得到矢量信号，利用数字信号处理算法，如快速傅里叶变换（FFT）、小波变换等，对接收的无线电信号进行数字化处理，提取信号的各种特征参数，如频率、相位、幅度等，将其采样量化为数字信号阵列，并根据这些特征参数进行测向计算。

与传统的测向方法相比，空间谱测向技术具有更高的分辨率和抗干扰能力，能够在复杂的电磁环境中有效地分离和识别多个信号源，实现对多个信号的同时测向。这对于现代通信、电子战、频谱管理等领域具有重要的意义，能够为相关应用提供更加准确、及时的测向信息，提高系统的性能和作战效能。随着数字信号处理技术的不断发展和成熟，基于数字信号处理的测向技术在无线电测向领域得到了广泛的应用。

3 无线电监测与测向定位技术面临的问题

3.1 干扰问题

（1）同频干扰：无线电频谱资源有限，多个发射源使用相同频率的情况时有发生，从而产生同频干扰。在城市这样的复杂环境中，各类无线电台、通信设备密集分布，许多设备可能会使用相近频率^[3]。比如，不同的广播电台、对讲机系统等，这使得监测设备接收到的信号相互交织、重叠，难以准确区分不同信号源的特征和位置信息，严重影响了无线电监测的准确性和测向定位的精度。（2）多径干扰：无线电波在传播过程中会因反射、折射等特性产生多径干扰。当信号在不同路径传播后到达接收端时，其幅度、相位等特性会发生变化。在城市峡谷或山区等复杂地形中，信号会在建筑物、山体

等之间多次反射和折射,导致接收信号变得杂乱无章。这对测向定位技术造成了极大的干扰,使测向精度大幅下降,增加了准确确定信号源位置的难度。

3.2 精度问题

(1) 测向精度:无线电测向定位的精度受到多种因素的制约。环境因素是其中重要的一方面,在复杂的城市环境中,高大建筑物会对信号产生遮挡和反射,改变信号的传播路径和强度,使得测向设备难以准确捕捉信号的真实方向。同时,设备性能也直接影响测向精度,低精度的测向设备本身存在较大的测量误差,难以满足高精度定位的需求。(2) 定位精度:除了测向精度的影响外,定位精度还与测向点的数量、分布以及定位算法密切相关。如果测向点数量不足,获取的信号信息有限,无法通过有效的算法准确确定目标位置。测向点分布不合理,如过于集中在某一区域,也会导致定位结果出现偏差。

3.3 设备性能与成本问题

高性能的无线电监测与测向定位设备往往价格昂贵。例如,高精度的矢量测向设备由于其复杂的技术原理和精密的制造工艺,成本居高不下,这使得一些小型监测机构或业余无线电爱好者难以承受,限制了此类设备的广泛应用。在一些特殊应用场景,如便携式监测设备或无人机搭载的监测装置,要求设备体积小、功耗低,以便于携带和长时间运行。但目前部分高性能设备因技术限制,难以在保证性能的同时满足体积和功耗的要求,制约了其在特定领域的应用拓展。

4 无线电监测与测向定位技术的发展趋势

4.1 技术融合

无线电监测与测向定位技术正与多种技术深度融合,以实现功能的拓展与性能的提升。与卫星定位技术结合,如将无线电测向定位与GPS、北斗等系统相融合,能够取长补短,借助卫星定位的高精度位置信息,有效提高无线电测向定位的精度和可靠性,在复杂环境下实现更精准的信号源定位。同时与地理信息系统(GIS)技术融合,可将信号源的位置信息直观地呈现在地理地图上,使操作人员能清晰了解信号源所处的地理环境,为监测与定位工作提供更全面的信息支持。此外,不同频段的无线电监测与测向技术也在走向融合,多频段设备

的研发与应用,可实现对无线电频谱的统一监测和无缝覆盖,提高频谱资源的管理效率。

4.2 智能化发展

人工智能和机器学习技术为无线电监测与测向定位技术注入了新的活力。通过机器学习算法对海量的无线电信号特征进行学习和分析,设备能够自动识别不同类型的信号,如调制方式、信号格式等,大大提高了监测效率和准确性,减少了人工分析的工作量和误差。在测向定位方面,智能化算法能够实时感知环境变化,根据地形、建筑物等因素自动调整测向和定位策略,克服复杂环境对信号传播的影响,从而提高在城市峡谷、室内等复杂场景下的定位精度。

4.3 小型化和低功耗

随着电子技术的不断进步,无线电监测与测向定位设备正朝着小型化和低功耗的方向发展。新型的电子器件和集成技术使得设备的体积不断缩小,同时功耗也大幅降低^[4]。这不仅使设备更加便携,便于在野外应急救援、个人无线电活动等场景中使用,还降低了设备的使用成本和部署难度,有助于提高设备的普及程度,使无线电监测与测向定位技术能够应用于更多的领域和场景。

结语

综上所述,无线电监测与测向定位技术在诸多领域发挥着关键作用,但也面临着干扰、精度、设备性能与成本等问题的挑战。随着技术的不断进步,其发展趋势向好,技术融合将提升其性能,智能化发展会提高监测与定位效率和精度,小型化低功耗则使其应用场景更加广泛。未来,需进一步加强研究与创新,以推动该技术不断发展,更好地满足社会各方面的需求。

参考文献

- [1]崔杨.无线电监测测向与定位技术研究[J].信息记录材料,2022,23(3):169-171.
- [2]何世鉴.无线电监测中信号处理技术的研究[J].科技资讯,2024,22(17):16-18.
- [3]张其宝.无线电信号测向技术的发展及实际应用[J].移动信息,2024,46(5):33-34+46.
- [4]热孜彦木·黑力力,何宏基.无线电监测中的信号处理技术应用[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2024(2):0128-0131.