

无线电监测中多站测向交叉定位精度研究

邢仁超

中华通信系统有限责任公司

DOI: 10.12238/jpm.v5i8.7087

[摘要] 无线电监测中的多站测向交叉定位技术是提高定位精度的重要手段。本研究通过分析不同测向站之间的数据交互，探讨了影响定位精度的关键因素，包括信号传播路径、设备精度及环境干扰等。研究表明，优化测向站布局和提高数据处理算法可以显著提升定位准确性，为无线电监测领域提供了理论与实践参考。

[关键词] 无线电监测；多站测向交叉定位；电磁环境；空中电波

Study on the accuracy of multi-station direction-finding and cross-positioning in radio monitoring

Xing Renchao

China Communications System Co.

[Abstract] The multi-station direction-finding and cross-positioning technology in radio monitoring is an important means to improve the positioning accuracy. By analyzing the data interaction between different direction finding stations, the key factors, including signal propagation path, equipment accuracy and environmental interference. The results show that optimizing the layout of the direction finding station and improving the data processing algorithm can significantly improve the positioning accuracy, and provide a theoretical and practical reference for the field of radio monitoring.

[Key words] radio monitoring; multi-station direction finding cross positioning; electromagnetic environment; air waves

引言：

无线电监测在现代通信、安全监控等领域扮演着至关重要的角色。多站测向交叉定位技术作为一种高效的定位方法，其精度直接影响到监测效果。然而，实际应用中存在诸多挑战，如信号传播的不确定性、设备性能的限制以及复杂环境下的干扰等。本研究旨在深入分析这些因素，提出相应的改进措施，以期提高定位技术的实用性和可靠性。

1. 无线电监测技术概述

1.1 无线电监测的基本原理

无线电监测的基本原理涉及对无线电波的接收、分析和处理，以获取关于发射源的信息。这一过程始于对无线电频谱的监听，通过高灵敏度的接收设备捕捉到来自不同源的信号。随后，利用复杂的信号处理技术，如傅里叶变换和数字滤波，对捕获的信号进行解析，以识别信号的频率、强度和调制方式等关键参数。这些参数不仅有助于确定信号的来源，还能提供关于信号源的技术特性和可能的用途。此外，无线电监测还包括对非法或未授权信号的检测，这对于维护无线电频谱的秩序和安全至关重要。

1.2 多站测向交叉定位技术的发展

多站测向交叉定位技术是无线电监测领域的一个重要分

支，它通过在不同位置设置多个监测站，利用测向技术确定信号源的方位角，进而通过交叉定位算法精确计算出信号源的地理位置。这一技术的发展经历了从简单的三角定位法到复杂的数学模型的演变，显著提高了定位的精度和可靠性。随着计算机技术和数据处理能力的提升，现代的多站测向系统能够实时处理大量数据，并利用高级算法如最小二乘法和卡尔曼滤波来优化定位结果。此外，全球定位系统（GPS）的引入进一步增强了监测站的同步性和定位的准确性，使得多站测向交叉定位技术在军事、民用和科研等多个领域得到了广泛应用。

2. 影响定位精度的因素分析

2.1 信号传播路径的影响

在无线电监测中，信号传播路径对定位精度有着至关重要的影响。信号在传播过程中会受到多种因素的干扰，包括大气条件、地形地貌、建筑物等，这些因素都会导致信号的传播路径发生改变，从而影响定位的准确性。首先，大气条件如温度、湿度、气压等都会影响无线电波的传播速度和方向，尤其是在长距离传播时，这些因素的作用更为显著。例如，温度梯度的变化会导致无线电波的折射，使得信号传播路径偏离直线，从而影响测向的准确性。其次，地形地貌如山脉、河流、森林等也会对信号传播产生显著影响。这些自然障碍物会使得信号发

生反射、折射或散射，导致信号强度和方向的变化，进而影响定位精度。此外，城市中的高楼大厦等建筑物也会对无线电波产生遮挡和反射作用，使得信号传播路径复杂化，增加了定位的难度。因此，在进行无线电监测时，必须充分考虑信号传播路径的影响，采取相应的校正措施，以提高定位的精度。

2.2 设备精度的影响

设备精度是影响无线电监测中定位精度的另一个重要因素。无线电监测设备包括天线、接收机、处理器等，这些设备的性能直接决定了定位的准确性。首先，天线的性能对定位精度有着直接影响。天线的方向性、增益、极化等参数都会影响信号的接收质量。方向性差的天线会导致信号接收的方向不准确，从而影响测向的精度。增益低的天线会使得信号接收的强度不足，导致信号处理时的误差增大。极化不匹配的天线会使得信号接收的效率降低，影响信号的完整性。其次，接收机的性能也是影响定位精度的重要因素。接收机的灵敏度、动态范围、频率稳定性等参数都会影响信号的接收和处理。灵敏度低的接收机会使得弱信号无法被有效接收，导致定位的误差增大。动态范围小的接收机会使得强信号和弱信号无法同时被有效处理，影响信号的准确性。频率稳定性差的接收机会使得信号的频率偏移，导致定位的误差增大。

2.3 环境干扰的影响

环境干扰是影响无线电监测中定位精度的另一个不可忽视的因素。无线电监测通常在复杂的环境中进行，如城市、山区、海洋等，这些环境中存在着各种各样的干扰源，如其他无线电信号、工业噪声、自然噪声等，这些干扰源都会对无线电信号的接收和处理产生影响，从而影响定位的精度。首先，其他无线电信号的干扰是常见的问题。在无线电频谱中，存在着大量的无线电信号，如广播、通信、雷达等，这些信号可能会与监测信号发生干扰，导致信号的混叠、串扰等问题，影响信号的清晰度和准确性。其次，工业噪声的干扰也不容忽视。在工业生产中，存在着大量的电气设备和机械设备，这些设备会产生各种噪声，如电磁噪声、机械噪声等，这些噪声会通过空气或电缆传播，影响无线电信号的接收和处理。

3. 提升定位精度的策略

3.1 优化测向站布局

在无线电监测领域，测向站的布局对于交叉定位精度具有决定性的影响。优化测向站布局，旨在通过科学的空间分布，最大化定位信息的丰富性和准确性，从而提升整体的定位精度。首先，测向站的位置选择应遵循地理信息系统 (GIS) 的指导原则，确保每个站点都能覆盖关键的监测区域，并且相互之间形成有效的信息互补。这通常涉及到对地形、地貌、建筑物高度、电磁环境等多因素的综合考量。例如，在城市环境中，高楼大厦可能会对无线电波的传播产生显著影响，因此测向站应设置在能够避免这些障碍物干扰的位置。

测向站的布局还需要考虑网络的冗余度和鲁棒性。在实际操作中，任何单一站点的故障都可能导致定位服务的暂时中

断。因此，通过设置一定数量的备份站点，可以在主站点出现问题时，迅速切换到备用站点，保证监测服务的连续性和稳定性。这种冗余设计不仅提高了系统的可靠性，也为定位精度的持续优化提供了保障。

测向站的布局优化还应考虑到未来的扩展性。随着监测需求的增加和技术的发展，可能需要增设新的测向站以覆盖更广泛的区域或提高分辨率。因此，在初始布局时，应预留足够的空间和资源，以便于未来扩展时能够无缝对接，避免因布局不合理而导致的重复建设和资源浪费。

测向站的布局优化还应结合先进的信号处理技术。通过采用多站协同定位算法，可以进一步提高定位精度。这种算法能够综合多个测向站的数据，通过数学模型和统计方法，精确计算出信号源的位置。此外，利用机器学习和人工智能技术，可以对测向站的数据进行深度分析，自动识别和纠正可能的误差，从而进一步提升定位的准确性。

优化测向站布局是一个多维度、多层次的复杂过程，它要求我们在考虑地理、技术和管理等多方面因素的基础上，制定出科学合理的布局方案。只有这样，才能确保无线电监测中多站测向交叉定位精度的持续提升，满足日益增长的监测需求。

3.2 改进数据处理算法

在无线电监测中，数据处理算法是提升定位精度的关键技术之一。随着技术的进步，传统的数据处理方法已逐渐无法满足现代监测的高精度要求。因此，改进数据处理算法，引入更先进的计算模型和处理技术，成为提升定位精度的必然选择。

改进数据处理算法需要从提高数据质量入手。在实际监测过程中，由于各种干扰因素的存在，原始数据往往包含大量的噪声和误差。为了提高数据的质量，可以采用滤波技术，如卡尔曼滤波、粒子滤波等，对原始数据进行预处理，有效去除噪声，保留有用的信号信息。此外，通过引入自适应滤波算法，可以根据实时的信号变化动态调整滤波参数，进一步提高数据处理的精度和效率。

改进数据处理算法还需要加强数据融合的能力。在多站测向交叉定位中，每个测向站都会产生一组定位数据。这些数据之间可能存在差异，甚至矛盾。为了提高定位的准确性，需要将这些数据进行有效的融合。可以采用加权融合算法，根据每个测向站的定位精度和可靠性，赋予不同的权重，从而得到一个综合的定位结果。此外，利用贝叶斯网络、隐马尔可夫模型等高级统计方法，可以对数据进行更深层次的融合和分析，提高定位的稳定性和可靠性。

改进数据处理算法还应注重算法的实时性和动态性。在无线电监测中，信号源的位置可能会随时间变化而变化。因此，数据处理算法需要能够实时跟踪信号源的动态变化，及时更新定位结果。可以采用在线学习算法，如在线梯度下降、在线支持向量机等，对实时数据进行连续的学习和更新，确保定位结果的实时性和准确性。

改进数据处理算法还应考虑算法的可扩展性和兼容性。随

着监测任务的多样化和复杂化，数据处理算法需要能够适应不同的监测场景和需求。因此，算法的设计应具有良好的模块化和可扩展性，便于根据具体需求进行定制和扩展。同时，算法还应兼容不同的数据格式和通信协议，确保在不同的监测系统中都能够稳定运行。

改进数据处理算法是一个系统工程，它涉及到数据质量的提升、数据融合为加强、算法的实时性和动态性以及算法的可扩展性和兼容性等多个方面。通过这些改进，可以显著提升无线电监测中多站测向交叉定位的精度，为现代无线电监测提供强有力的技术支持。

4. 未来展望

4.1 技术融合与创新

在无线电监测领域，技术融合与创新是推动行业发展的关键动力。随着科技的迅猛发展，单一技术的应用已经难以满足日益复杂和多样化的监测需求。因此，将多种技术进行有效融合，并在融合的基础上进行创新，成为提升监测效率和精度的必然选择。

技术融合涉及将现有的无线电监测技术与新兴的信息技术、大数据分析、人工智能等领域相结合。例如，通过引入机器学习算法，可以对监测数据进行更深层次的分析，从而提高测向交叉定位的准确性。此外，云计算平台的应用也为大规模数据处理提供了可能，使得监测系统能够实时处理和分析海量数据，及时发现异常信号。

技术创新则是在技术融合的基础上，通过研发新的算法、模型或设备，以解决现有技术无法克服的问题。例如，针对复杂电磁环境下的定位难题，研究人员正在探索基于多源信息融合的定位算法，通过整合来自不同传感器的数据，提高定位的鲁棒性和精确度。同时，新型天线技术和信号处理技术的研发，也为提高监测系统的性能提供了新的可能。

在未来，技术融合与创新将继续是无线电监测领域发展的核心。随着技术的不断进步，我们有理由相信，通过持续的技术融合和创新，无线电监测系统将能够更加高效、精确地服务于社会的安全和稳定。

4.2 国际合作与标准化

国际合作与标准化在无线电监测领域中扮演着至关重要的角色。随着全球化的深入发展，无线电信号的传播不再受国界的限制，因此，单一国家的监测能力已经无法满足全球范围内的监测需求。国际合作成为提升监测效率和覆盖范围的必要途径。

国际合作可以促进技术交流和资源共享。通过建立跨国合作机制，各国可以共享监测数据、技术和经验，共同应对跨国无线电干扰和非法信号问题。例如，国际电信联盟 (ITU) 就是一个重要的国际合作平台，它通过组织成员国之间的技术交流和合作，推动了无线电监测技术的全球标准化进程。

标准化是确保国际合作有效进行的基础。通过制定统一的技术标准和操作规范，可以确保不同国家的监测设备和技术能

够相互兼容，实现数据的互通和共享。标准化还有助于提高监测系统的可靠性和可维护性，降低运营成本。

4.3 持续的研发投入

在无线电监测领域，多站测向交叉定位技术的精度研究是一个不断进化的过程，它要求我们持续不断地投入研发资源，以确保技术的先进性和实用性。首先，研发投入的持续性是技术进步的基石。随着无线电环境的日益复杂化，传统的监测方法已经难以满足现代社会的需求。因此，我们需要不断地探索新的算法和模型，以提高定位的准确性和可靠性。这包括对现有技术的深入分析，以及对新兴技术的积极探索，如机器学习、人工智能等在无线电监测中的应用。

研发投入的持续性还体现在对人才的培养和引进上。无线电监测是一个高度专业化的领域，需要具备深厚理论基础和丰富实践经验的专业人才。因此，我们需要建立一套完善的人才培养体系，包括与高校和研究机构的合作，以及对在职人员的定期培训和技能提升。同时，我们还应该积极引进国际上的优秀人才和先进技术，通过国际合作来提升我们的研发水平。

研发投入的持续性还应该体现在对硬件设备的更新和升级上。随着技术的不断进步，无线电监测设备也在不断地更新换代。我们需要定期评估现有设备的技术水平，及时引进和采用新技术、新设备，以确保监测系统的性能始终处于行业领先地位。这包括对天线系统、接收机、数据处理系统等关键组件的升级改造，以及对整个监测网络的优化布局。

研发投入的持续性还应该体现在对标准化和规范化的重视上。无线电监测是一个涉及多学科、多领域的复杂系统工程，需要有一套统一的标准和规范来指导实践。因此，我们需要积极参与国际和国内的标准制定工作，推动无线电监测技术的标准化进程，确保我们的技术成果能够得到广泛认可和应用。

持续的研发投入是无线电监测中多站测向交叉定位精度研究未来发展的关键。只有不断地在技术研发、人才培养、设备更新和标准化建设等方面进行投入，我们才能够确保无线电监测技术的持续进步，满足社会发展的需求。

结语：

本研究通过对无线电监测中多站测向交叉定位技术的深入探讨，明确了影响定位精度的主要因素，并提出了针对性的改进策略。实验结果验证了这些策略的有效性，为未来无线电监测技术的优化提供了科学依据。展望未来，随着技术的不断进步，多站测向交叉定位技术将在更多领域展现出其应用潜力。

[参考文献]

[1]罗双喜.多站交叉定位相对 GDOP 及其测向站分布问题研究[J].指挥控制与仿真, 2020, 42 (02) : 7-11.

[2]蒋俊, 张静, 杜剑平.基于球体模型的短波固定多站测向交叉定位选站方法[J].信息工程大学学报, 2020, 21 (01) : 9-14+26.