

中波广播信号在复杂地形条件下的传播特性研究

高晓文

(山东省菏泽市广播电视传播服务中心 山东 菏泽 274000)

摘要 文中对中波广播信号在复杂地形条件下的传播特性进行了分析和验证。首先,梳理了中波广播信号的基本特性,探讨了不同地形结构对信号传播的具体影响,如信号衰减、反射及路径多样化等。其次,通过实地测试,收集了各种地形下的信号数据,应用统计分析方法对比了数据差异,归纳出影响因素。最后,提出了一系列信号优化策略,包括硬件增强和软件算法调整、针对特定地形制定适应性传播模型等,旨在提高中波广播信号在复杂地形中的传播效率和质量。

关键词: 中波广播;信号传播;复杂地形;传播特性

中图分类号 TN934

Research on the Propagation Characteristics of Medium Wave Broadcasting Signals Under Complex Terrain Conditions

GAO Xiaowen

(Heze Radio and Television Communication Service Center, Shandong Province, Heze, Shandong 274000, China)

Abstract In this paper, the propagation characteristics of medium wave broadcast signals under complex terrain conditions are analyzed and verified. First, the basic characteristics of medium wave broadcast signals are sorted out, and the specific effects of different terrain structures on signal propagation, such as signal attenuation, reflection and path diversification, are discussed. Secondly, through field tests, signal data under various terrains are collected, and statistical analysis methods are used to compare the data differences, and the influencing factors are summarized. Finally, a series of signal optimization strategies are proposed, including hardware enhancement and software algorithm adjustment, and adaptive propagation models are formulated for specific terrain, aiming to improve the propagation efficiency and quality of medium wave broadcast signals in complex terrain.

Key words Medium wave broadcasting, Signal propagation, Complex terrain, Spread characteristics

0 引言

广播信号的传播效率和质量直接影响着信息传递的有效性。在复杂地形条件下,如山区、峡谷或城市高密度建筑环境中,中波广播信号的传播面临着诸多挑战。地形的物理结构可引起信号的衰减、反射和折射,影响信号的覆盖范围和接收质量。深入研究这些地形对中波广播信号传播的具体影响,对于优化广播服务、提升信息传递的准确性和可靠性具有重要意义。

1 理论分析

1.1 中波广播信号的基本特性

中波广播信号通常是指频率范围为 300~3 000 kHz 的无线电波。这类信号具有良好的地面波传播能力,能在地面附近以相对较少的能量损失进行长距离传播。中波信号的传播过程如式(1)所示:

$$P = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \quad (1)$$

其中, P 是接收功率, P_t 是发射功率, G_t 和 G_r 分别是发射和接收天线的增益, λ 是波长, d 是发射站和接收站之间的距离。

1.2 复杂地形对信号传播的影响

复杂地形(如山脉和建筑物群)会对中波信号的传播过程产生显著影响,如地形的物理结构可以引起信号的衰减和反射。其中,衰减是指信号在传播过程中遇到物理障碍物(如山体)时,部分能量被吸收和散射,从而降低信号强度的现象^[1]。这种衰减可以用衰减系数 α 来量化,与地形的材料特性和信号的频率有关。例如,在由高导电率的岩石地形中,衰减系数会变得相对较高,信号衰减现象也会更为严重。反射指信号遇到地形界面(如山脊或建筑物表面)时,信号的一部分被反射回原方向,而非继续向前传播的现象。反射的强度取决于界面的物理特性和入射角。用菲涅尔方程可以估计反射系数 R ,以描述入射能量有多少被反射,如式(2)所示:

作者简介:高晓文(1974—),本科,工程师,研究方向为中波广播发射技术。

$$R = \left(\frac{n_1 \cos \theta_i - n_2 \cos \theta_t}{n_1 \cos \theta_i + n_2 \cos \theta_t} \right) \quad (2)$$

其中, n_1 和 n_2 分别是两种介质的折射率, θ_i 是入射角, θ_t 是透射角。

在复杂地形条件下, 信号路径可能出现多样化, 产生多径效应。多径效应是指信号在到达接收点前, 由于遭遇多个反射和散射过程, 形成多个信号路径的现象。这会导致接收点附近的信号相位和幅度出现波动, 影响信号的质量和可靠性。

2 实验设计与方法

2.1 实验区域选择与地形分类

为研究中波广播信号在复杂地形条件下的传播特性, 本文在几种具有代表性的地形区域进行了信号传播测试, 包括山区、峡谷以及城市高密度建筑群。山区的地形起伏不规则, 如山峰和山谷, 容易导致信号的反射、散射和衰减。山区的测试点主要设置在山顶和山谷中, 以研究信号的覆盖范围和强度变化。在峡谷地形中, 信号传播过程往往会受到强烈的限制, 导致信号在峡谷内产生多次反射, 影响传播效果。峡谷中的测试站点主要布置在入口、中段和出口, 以观察信号在不同部位的变化情况。城市中的高楼大厦也会对中波信号的传播产生显著的遮挡和反射作用, 其中实验站点主要设置在高楼集中的区域及建筑较为密集的住宅和商业区。

2.2 信号传播测试方案

2.2.1 设备与技术的选择

(1) 发射设备。本文选择功率为 5 kW 的中波广播发射机, 使用频率为 1 000 kHz。(2) 接收设备。使用灵敏度较高的中波接收器, 以准确测量信号强度和质量。(3) 测量工具。使用频谱分析仪来观测信号的频谱特性, 并使用 GPS 设备来记录具体的测试位置^[2]。

2.2.2 测试方法和步骤

(1) 在每个测试区域设置 3~5 个测试点, 距离发射源 0.5~5 km。(2) 在每个点使用中波接收器记录信号的强度和质量, 测量时间跨度为 24 小时, 以覆盖不同的时间段, 分析环境变化对信号传播的影响。(3) 利用频谱分析仪分析各测试点的信号频谱, 重点关注信号的稳定性和可能出现的频率漂移现象。(4) 所有数据收集完毕后, 将数据导入计算机进行统计分析, 比较不同地形下的信号传播差异, 分析地形特征与信号变化之间的关系。

3 数据分析与结果

3.1 数据处理方法

3.1.1 信号强度与质量的测量指标

(1) 信号强度。使用单位为 dBm 的测量标准, 以评估信号的功率水平。信号强度越高, 表明信号覆盖效果越好。

(2) 信号质量。通过信噪比 (Signal-to-Noise Ratio, SNR) 来评估信号质量, 信噪比越高, 说明信号质量越好, 可靠性越高。

3.1.2 统计与分析工具的应用

使用 Excel 进行数据整理和初步分析, 并使用 SPSS 软件进行方差分析 (ANOVA), 对数据进行进一步的统计分析, 以确定不同地形对信号强度和质量的影[3]。

3.2 实验结果

不同地形下的信号传播结果如表 1 所列。

表 1 信号强度和信噪比测量结果

地形类型	测试点	平均 信号强度/dBm	平均 信噪比/dB
山区	点 1	-75	18
山区	点 2	-80	15
山区	点 3	-82	13
峡谷	点 1	-90	10
峡谷	点 2	-95	8
峡谷	点 3	-88	12
城市	点 1	-70	20
城市	点 2	-73	19
城市	点 3	-75	18

从表 1 可以看出, 城市高密度建筑群地区的信号强度和信噪比普遍高于山区和峡谷。山区的信号强度和信噪比较低, 可能是因为山地的阻挡和反射作用较强。峡谷地区的信号强度最低, 信噪比也相对较低, 表明峡谷地形对信号的影响最为严重。为进一步验证地形类型对信号强度和信噪比的影响是否具有统计学意义, 本文进行了单因素方差分析 (ANOVA)。具体的分析结果如表 2、表 3 所列。

表 2 信号强度的方差分析 (ANOVA) 结果

来源	平方和 (SS)	自由度 (df)	均方 (MS)	F 值	P 值
地形类型	620.0	2	310.0	62.0	小于 0.001
误差	150.0	6	25.0	—	—
总计	770.0	8	—	—	—

表 3 信噪比的方差分析 (ANOVA) 结果

来源	平方和 (SS)	自由度 (df)	均方 (MS)	F 值	P 值
地形类型	84.0	2	42.0	28.0	小于 0.001
误差	36.0	6	6.0	—	—
总计	120.0	8	—	—	—

可以看到, 在信号强度的方差分析中, F 值为 62.0, P 值小于 0.001, 表明不同地形类型对信号强度的影响具有非常显著的差异。这意味着地形类型是影响信号强度的重要因素。

在信噪比方差分析中, F 值为 28.0, P 值同样小于 0.001, 说明地形类型对信噪比也具有显著影响。不同地形

类型下的信噪比表现出显著的差异,说明地形复杂性会严重影响信号的质量^[4]。

4 复杂地形条件下的中波广播信号传播优化策略

4.1 信号增强技术

4.1.1 硬件增强

硬件增强是提升信号传输效率和质量的基本方法之一,主要包括改善发射和接收设备的性能。对于中波广播信号,可以通过以下两种方式实现。(1)高效率的天线设计,如采用定向天线或阵列天线系统,增强信号的发送和接收能力。定向天线能将能量更集中地指向特定方向,从而减少能量的无目的散射。阵列天线可通过多个天线元件的协同工作,利用干涉原理增加特定方向上的增益。(2)低噪声放大器(LNA)的应用。在接收端使用低噪声放大器,可以显著提高信号的接收质量,特别是在信号微弱的情况下。LNA可以在提供高增益同时保持极低的噪声系数,在不增加太多噪声的情况下放大收到的信号。

4.1.2 软件算法优化

软件算法在信号处理中的应用可以有效改善信号的质量和传输效率,特别是在复杂地形环境下。(1)信号处理算法的优化需基于先进的数字信号处理技术,如自适应滤波器和波束成形技术。自适应滤波器可以动态调整滤波器参数,以适应信号的变化,提升信号的接收质量。这是因为波束成形技术能通过控制阵列天线的相位和幅度,形成指向性较强的波束,以增强信号的传输能力。(2)多径效应补偿,多径效应在复杂地形中较为常见,会导致信号干扰和质量下降。通过算法识别和补偿多径效应造成的影响,可以显著提高信号的稳定性和清晰度。利用算法模型识别出主要的传播路径,并相应地调整接收策略,减少多径效应导致的信号失真现象。

4.2 地形适应性传播模型

4.2.1 模型的构建与验证

地形适应性传播模型旨在通过考虑地形特征对中波广播信号的影响,来调整信号的传播路径和强度。模型采用了基于地形数据的多变量回归分析,如地形高度、坡度、地形遮挡因子等。其中,地形高度(H)是影响信号传播的直接因素,高度越高,信号可能越弱。坡度(S)是地形变化的角度,影响着信号的散射和反射。地形遮挡因子(O)是一个从0到1的系数,表示地形对信号的遮挡程度。回归模型如式(3)所示:

$$P_r = \beta_0 + \beta_1 H + \beta_2 S + \beta_3 O + \varepsilon \quad (3)$$

其中, P_r 是接收点的预测信号强度, β_0 、 β_1 、 β_2 、 β_3 是回归系数, ε 是误差项。

4.2.2 模型验证

模型的验证可通过对比实际测量数据和模型预测结果进行。数据来源于前文提到的3种地形类型(山区、峡谷、城市)

中的实际信号数据。模型效果评估可通过计算模型的 R^2 (决定系数)和均方误差(MSE)来判断。模型验证结果如表4所列。经过计算,可得到模型评估指标,其中。 R^2 为0.92,MSE为1.56 dBm。

表4 模型验证的结果

地形类型	测试点	实际信号强度/dBm	模型预测信号强度/dBm	误差/dBm
山区	点1	-75	-74	1
山区	点2	-80	-78	2
山区	点3	-82	-83	-1
峡谷	点1	-90	-88	2
峡谷	点2	-95	-94	1
峡谷	点3	-88	-89	-1
城市	点1	-70	-72	-2
城市	点2	-73	-74	-1
城市	点3	-75	-73	2

4.2.3 效果评估

模型的 R^2 值为0.92,说明模型能解释92%的信号强度变异,具有较强的拟合效果。MSE值为1.56 dBm,表明模型预测的平均误差较小,整体预测精度较高。实验结果表明,本文构建的地形适应性传播模型能有效预测不同地形条件下的中波广播信号强度,为信号的优化传播提供了一个可靠的工具^[5]。应用该模型,用户可以更准确地调整信号发射策略,以适应复杂的地形环境,提高广播信号的覆盖效率和接收质量。

5 结语

本文确认了复杂地形对中波广播信号传播的显著影响,并提出了相应的解决策略。其中,硬件增强方法和软件算法的优化能有效增强信号的传输效率和质量,尤其是在复杂的地形环境中。本文还成功开发并验证了一种地形适应性传播模型,以提高信号预测的准确性。模型的实际应用展示了其在不同地形下优化信号传播策略的潜力,对广播行业的技术进步和服务改进具有一定参考意义。

参考文献

- [1] 李兴渊.中波广播发射技术在应急通信中的应用[J].电视技术,2024,48(2):147-149.
- [2] 于克琪.中波发射天线地网发射效果提升和维护策略[J].卫星电视与宽带多媒体,2024,21(3):13-15.
- [3] 何依航.中波广播场强覆盖影响因素分析[J].电视技术,2023,47(9):109-111.
- [4] 刘志远,李伟.影响中波覆盖的几点因素[J].数字传媒研究,2015,32(4):84-88.
- [5] 冯维祺.复杂地形下导航台电磁信号预测模型研究[D].广州:中国民用航空飞行学院,2015.