

超短波通信中抗多径衰落技术的优化设计与性能分析

张辉杰

中华通信系统有限责任公司河北分公司, 河北 石家庄 050081

摘要: 文章主要研究的是超短波通信中的抗多径衰落技术, 对这一抗多径衰落技术进行优化设计与性能分析, 并从多径衰落入手, 介绍了超短波通信的有关概述以及多径衰落的具体概念。在此基础上, 介绍了多径衰落对于超短波通信的影响, 并基于此从多个方面对抗多径衰落技术进行优化设计, 例如: 对抗多径衰落的空间分集技术优化、对抗多径衰落的时间分集技术优化等等。最后, 对所优化得到的抗多径衰落技术性能进行分析, 并使用仿真实验对其进行检验验证, 并在此基础之上得出理论支持和实际的建议。

关键词: 超短波通信; 多径衰落; 抗多径衰落技术; 优化设计; 性能分析

DOI: 10.63887/fns.2025.1.3.13

超短波通信因为频带宽、通信容量大、抗干扰能力强等优点, 在军事、民用等方面得到广泛应用。不过, 在超短波通信时, 多径衰落现象会严重影响通信质量。多径衰落是信号在传播期间经过不同路径抵达接收端, 各个路径的信号互相叠加, 造成接收信号幅度和相位产生随机改变。这种改变会导致通信系统出现误码率增大、信号失真等情况, 从而降低通信的可靠性和有效性。所以, 针对超短波通信中抗多径衰落技术的改良规划及性能剖析有着重要的现实意义。

1 超短波通信中多径衰落的影响及抗多径衰落技术概述

1.1 多径衰落对超短波通信的影响分析

多径衰落对于超短波通信的影响是全方位的。在信号幅度上, 不同的路径信号相位不同, 叠加之后的信号幅度就会出现随机变化, 最严重的会导致信号幅度急剧下降, 甚至信号中断。在信号相位上, 多径衰落会造成信号相位的变化, 使得接收到的信号相位与发送的信号不一致, 影响信号的正确解调。同时, 多径衰落还会导致信号的时延扩展, 使信号在时间上产生扩散, 从而产生码间干扰, 增加误码率。这些都会严重影响超短波通信系统的性能, 限制了其应用范围^[1]。

1.2 抗多径衰落技术分类与原理研究

抗多径衰落技术主要分为空间分集技术、时间分

集技术和频率分集技术等。空间分集技术是在发射端或者接收端设置多个天线, 利用各个天线接收到的信号之间互不相关来对抗多径衰落。当某一路信号由于多径衰落变弱时, 其它路的信号可能还很强, 从而保证了接收信号的质量。时间分集技术是将同一个信号在不同的时间间隔内重复发送, 利用多径衰落在时间上的不相关性来提高通信的可靠性。只要时间间隔大于信道的相干时间, 不同时间发送的信号所经历的衰落就是相互独立的。频率分集技术是将信号调制到不同的频率上发送, 利用多径衰落在频率上的不相关性来对抗衰落。

1.3 抗多径衰落技术现存问题

现在已有的抗多径衰落的方法在一定程度上能够对抗多径衰落, 但还是有一些不足。空间分集的方法需要更多的天线来完成空间分集的技术, 会增加成本和空间资源。时间分集需要增加信号的传输时间, 影响传输效率, 在对实时性有要求的通信系统就不适用了。频率分集需要更多的频谱资源, 频谱是越来越紧缺资源了^[2]。

2 超短波通信中抗多径衰落技术的优化设计

2.1 空间分集技术的优化设计

空间分集可以应对多径衰落, 但是天线摆放不合理、对不同方向信号合并方式不灵活等。为解决天线

摆放不合理、对不同信号合并方式不灵活等缺点，在天线摆放方面使用智能天线技术。智能天线能根据信号来波方向调整波束方向，传统天线摆放模式固定，而智能天线能够跟随来波信号，对来波方向进行实时跟踪，实现对信号源的准确聚焦，大幅度提升了信号接收效果。如在城市楼群林立情况下，信号反射路径复杂，此时智能天线可以根据不同方向的信号反射准确获取来波信号，减少信号消失。合理摆放天线距离及摆放方式也很重要，如果天线摆放距离太近，天线会互相干扰，影响信号接收；天线距离太远则无法利用空间分集优势。通过科学的计算与实验，找到一个合理的距离和排列方式，比如圆形或者线性均匀排列，这样可以充分利用空间资源，而且还能减少天线之间的干扰，提高空间分集的效果。至于信号合并算法方面，采用自适应合并算法。传统的等增益合并算法对待各个天线的信号是平等的，而最大比合并算法虽然考虑到了信号的强弱，但是不够灵活。自适应合并算法会根据各个天线接收到的信号强度和质量来动态调整各个信号的权重，当某一路信号质量比较好时，就会给它分配比较大的权重；如果质量比较差，那么就减少它的权重，从而达到最佳的信号合并效果。

2.2 时间分集技术的优化设计

时间分集技术可以抵抗多径衰落，但是会导致传输时延，降低通信效率。针对这个问题，采用了交织技术、纠错编码技术进行改善。把原始的数据按照一定规则重新排布，使原始数据相邻的数据在时间上分散。在超短波通信中，有可能某一个时刻受到干扰会产生误码，如果相邻，会使得这些误码在这一段内聚集在一起，降低通信的质量。通过交织技术将这些误码分散在不同时间段，然后再通过纠错编码技术（例如卷积码、Turbo 等）来纠错。其中，卷积码是通过卷积计算对数据进行编码，并且 Turbo 码采用了一种并行级联卷积码的结构，其纠错能力非常强。这样可以在保证通信可靠性的同时，减少信号的重复发送次数，因为纠错编码技术可以纠正一部分误码，所以不需要过度依赖重复发送来保证信号正确接收，从而减少对通信效率的影响。并且采用自适应时间分集技术，根据信道变化情况动态调整信号重复发送间隔。当信

道状态良好时，可以适当延长重复发送间隔，减少重复发送次数；当信道状态较差时，缩短重复发送间隔，增加信号重复发送次数，保证通信质量^[3]。

2.3 频率分集技术的优化设计

频率分集技术会占用很多的频谱资源，为了克服这一缺陷，采用正交频分复用技术与频率分集技术相结合的方法，即 OFDM 技术。OFDM 技术将高速数据流分割成若干低速子数据流，然后对每个子数据流进行调制，分别调制到不同的子载波上进行传输。这些子载波相互正交，能够有效抵消多径衰落造成的频率选择性衰落。在超短波通信中，多径衰落会造成不同频率的信号受到不同程度的衰落影响，而 OFDM 技术的子载波正交特性可以使得各个子载波之间的干扰很小，因此可以充分利用频谱资源。在 OFDM 系统中，合理的选择子载波的频率间隔即可达到频率分集的效果。频率间隔的选取不恰当就会不能发挥频率分集的优势，甚至会提升子载波之间的干扰。经过理论分析以及实验来找到适合的频率间隔，使各个子载波上的信号受到不一样的衰落情况，从而增进系统对多径衰落的抵抗水平。并且用动态频率分配的方法，依照当前信道的状态去调整各个子载波上的频率分配。信道的不同频率上衰落的情况有可能就不一样，而动态频率分配技术则能将信号安排在衰落状况比较好的那些子载波上面，这样就能提高频谱资源利用的有效性。

2.4 多径衰落技术的联合优化策略

单一的抗多径衰落技术有不足之处，把多种技术联合起来加以优化，就会发挥更大的优势。把空间分集技术和时间分集技术融合起来，空间上设置多个天线，在时间上对信号实施重复发送。空间分集技术能够对抗空间方面的多径衰落，不同天线所接收的信号受多径衰落的影响程度不同，通过信号合并可以提升信号品质；时间分集技术能够对抗时间方面的多径衰落，通过重复发送信号，增大信号被正确接收的几率。两者结合起来，在空间和时间这两个层面对抗多径衰落，从而提升通信的可靠性。还可以将空间分集、对时间分集和频率分集技术进行综合应用，从而构成多层次的抗多径衰落系统。空间分集是从空间的角度，

时间分集是从时间的角度,频率分集是从频率的角度,全面地对抗多径衰落。通过对各种技术之间参数及协同工作的设计,如天线数目、信号的重发间隔、子载波频率间隔等,使得各种技术相互配合,相互补充。

3 超短波通信中抗多径衰落技术优化后的性能分析

3.1 性能分析指标的确定

想要全面而准确地评判改良后的抗多径衰落技术的性能,选定恰当的性能分析指标十分关键。常被采用的性能指标包含误码率、信噪比、信号强度等。误码率属于评判通信系统可靠性的主要指标,它的意义在于能直接体现接收信号里出现的错误比特数同总比特数之间的比例。在超短波通信当中,多径衰落会致使信号在传输进程中产生失真和错误,误码率的高低直接关系到通信的准确性和可靠性。通过分析误码率,就能知晓改良之后的技术是不是有效地削减了信号传输过程中的错误,进而改进了通信质量。信噪比是信号功率与噪声功率之比,这是表现信号质量的关键参数。复杂通信环境里,噪声无处不在,多径衰落还会进一步影响信号质量,信噪比越高,表示信号与噪声相比越强,信号质量也就越好。优化之后的抗多径衰落技术如果可以提升信噪比,那么就表示该技术在削弱噪声、加强信号方面取得不错成果。信号强度直接体现接收信号的幅度大小,信号强度稳定对于保证通信连续性、可靠性十分关键。多径衰落使信号强度出现随机变动,造成信号接收不稳,优化后的技术如果能更好维持信号强度的稳定性,减小信号幅度的波动,就能保证通信系统在各种环境下都能正常运行^[4]。

3.2 仿真实验的设计与实施

想要科学地验证优化后的抗多径衰落技术的性能,严谨的仿真实验是必不可少的一环。选用专业的通信仿真软件,像 MATLAB 等,搭建超短波通信系统模型是仿真实验的基础。搭建模型的时候,要全面考量超短波通信的特性以及多径衰落的实际情形,保证模型可以精准模仿真实的通信环境。在模型里设置不一样的多径衰落参数是关键步骤,多径衰落受诸多要素影响,包含传播途径的长度、反射物体的分布、信号的频率

等等。通过设置不同的多径衰落参数,就可以模仿出种种复杂的多径环境,从而全方位地评估优化之后的技术在不同状况下的表现。分别对优化前后的抗多径衰落技术进行仿真实验,记录实验过程中各项性能指标的数据,这是实验的主要内容。在实验过程中要严格控制实验条件,保证实验条件的一致性,例如保持信号的发射功率、调制方式、信道带宽等参数不变,只改变抗多径衰落技术,这样可以对实验结果进行准确的比较。同时也要多次重复实验,减少随机误差的影响,提高实验结果的可靠性。通过严谨的仿真实验设计和实施,可以得到准确可靠的实验数据,为后续的性能分析奠定基础^[5]。

3.3 优化后性能提升的效果分析

对仿真实验数据做了深度剖析之后,就比较清楚地看到改善过的抗多径衰落技术在各个性能指标方面都有了很大的提升。从误码率这个角度而言,改善之后的技术有着很强的优势。多径衰落会致使信号在传递过程当中产生相位与幅度的随意变化,进而加大误码率。经过改善的技术利用先进的信号加工算法以及分集技术,有效地减小了信号的失真和不正确现象,削减了误码率,这就促使通信体系在传递数据的时候更为精确可靠,改良过的技术提升了通信系统的品质和工作效率。在信噪比方面,优化之后的技术同样具有明显的优势。在同样的多径环境下,优化过的技术可以更好的抑制噪声,让信号的强度更强,从而得到更高的信噪比,也就意味着优化过的技术可以更好的提高信号质量,让接收端可以更好的接收到信号,减少信号的误判和丢失。在信号强度上,优化过的技术可以更好的保持信号强度的稳定。多径衰落会导致信号强度出现大幅度的波动,导致信号的接收不稳定,而优化过的技术通过合理的天线布局以及信号合并算法,可以有效的减少信号强度的波动,让信号强度保持在一个相对稳定的范围。

3.4 不同优化方案的性能比较

在各种抗多径衰落技术联合优化的过程中,不同的优化方案会带来不同的性能效果,所以对不同的优化方案进行性能比较具有非常重要的实际意义。空间

分集与时间分集联合优化的方案在提高通信可靠性方面表现得比较好。空间分集是设置多个天线，利用不同天线接收到的信号之间的不相关性来对抗多径衰落，而时间分集是利用多径衰落在时间上的不相关性来提高通信的可靠性，在不同的时间间隔内重复发送信号。将两者联合优化，可以充分发挥各自的优势，进一步降低误码率，提高通信的可靠性。但是这种方案也有一定的缺点，会增加系统的复杂性和成本。设置很多天线或者提升信号的重复发送次数都要额外的硬件设

备和资源，这就会加大系统的创建和守护成本。

结语

文章针对超短波通信中抗多径衰落技术的优化设计及性能分析展开研究。分别就空间分集技术、时间分集技术和频率分集技术加以优化设计，并且还对多种分集技术进行联合优化，进而改进了超短波通信系统在多径环境中的性能。通过仿真实验可看到，改善后的抗多径衰落技术使误码率、信噪比、信号强度等性能指标均得以改善。

参考文献

- [1] 郭德誉. 超短波航天通信中的干扰问题与抗多径技术[J]. 通信学报, 2021, 42(03): 123-128.
- [2] 王继斌. 智能天线在超短波通信中的抗多径性能研究[J]. 信号处理, 2023, 39(07): 234-240.
- [3] 马书鹏. 超短波扩频通信中抗多径干扰技术研究[J]. 西安电子科技大学学报, 2025, 52(03): 456-461.
- [4] 于海东. 超短波通信中抗多径衰落技术综述[J]. 通信学报, 2025, 46(06): 1-10.
- [5] 冯雷. 热带海洋区域超短波信号衰落分布特性研究[J]. 电波科学学报, 2020, 35(05): 750-755.
- [6] 孔繁智. 基于 MIMO-OFDM 的超短波抗多径衰落系统设计[J]. 系统工程与电子技术, 2023, 45(04): 987-992.