

基于射线追踪技术的低轨卫星海洋通信的频谱感知与利用

吴佳泽

(东南大学 江苏南京 211102)

摘要: 本文研究了基于射线追踪技术的低轨卫星海洋通信的频谱感知与利用。通过本文的研究,可以为低轨卫星海洋通信系统的频谱感知与利用提供有效的方法和技术,提高频谱利用率和传输速率,降低误码率,从而提升系统的性能和可靠性。

关键词: 基于射线追踪技术; 频谱感知; 频谱利用; 低轨卫星海洋通信; 性能评估

一、引言

近年来,随着人们对高速、大容量海洋通信需求的不断提高,低轨卫星海洋通信系统备受关注。然而,频谱资源的紧缺限制了卫星通信系统的发展。如何更好地感知和利用频谱资源,成为了海洋卫星通信领域的重要研究课题。本文基于射线追踪技术提出了一种新的低轨卫星海洋通信的频谱感知与利用方法。

二、基于射线追踪的频谱感知方法

(一) 射线追踪模型建立

1. 卫星与地面站之间的几何关系建模

在低轨卫星海洋通信中,卫星和地面站之间的几何关系对信号传播具有重要影响。为了准确地模拟信号的传播过程,需要建立卫星与地面站之间的几何关系模型。确定卫星的位置和姿态。卫星的位置可以通过卫星的轨道参数来确定,包括轨道高度、轨道倾角和升交点赤经等。而卫星的姿态可以通过陀螺仪和星敏感器等设备来测量。确定地面站的位置。地面站的位置可以通过地理坐标或大地坐标来确定。同时,还需要确定地面站的天线朝向和波束宽度等信息。根据卫星和地面站的位置信息,可以计算出它们之间的距离和相对方位角。这可以通过三维坐标系中的向量运算来实现。

2. 信号传播模型建立

信号在海洋环境中的传播受到多种因素的影响,如海面反射、散射、折射等。为了准确地模拟信号的传播过程,需要建立相应的信号传播模型。考虑海面的反射效应。当信号从卫星发射到海面时,会发生反射现象。海面的反射系数取决于入射角度和极化状态等因素。可以使用经典的电磁波反射模型来计算反射系数。考虑海面的散射效应。当信号遇到海面上的不规则物体时,会发生散射现象。散射系数取决于物体的形状、尺寸和极化状态等因素。可以使用统计模型或物理模型来计算散射系数。还需要考虑大气对信号传播的影响。大气中的气体分子和悬浮物会使信号发生折射和吸收等现象。可以使用大气模型来计算折射率和吸收系数等参数。

(二) 频谱感知算法设计

频谱感知是指对无线电频谱进行实时监测和分析,以获取频谱

资源的使用状况和可用性,为频谱分配和利用提供决策支持。在低轨卫星海洋通信系统中,由于频谱资源的紧缺性,频谱感知技术的重要性显得尤为突出。本文采用基于射线追踪的频谱感知方法,以提高频谱感知的准确性和可靠性。

1. 基于射线追踪的频谱感知原理

利用射线追踪技术进行频谱感知的核心思路是:在卫星与地面站之间建立射线追踪模型,然后通过遍历所有可能的传播路径,计算在每条路径上信号的损失和反射、折射等效应,进而得到在当前频段内各路径的信号强度,以此推断出该频段内的频谱利用情况。

2. 频谱感知算法流程

(1) 建立数学模型

利用射线追踪技术进行频谱感知时,首先需要建立卫星与地面站之间的数学模型,包括卫星和地面站的坐标、地形和建筑物等环境因素,以及信号传播的损耗和衰减模型等。

(2) 计算传播路径

基于建立的数学模型,可通过遍历所有可能的传播路径,计算在每条路径上信号的损失和反射、折射等效应,推断出该频段内的频谱利用情况。需要注意的是,传播路径数目庞大,为了加速计算,可采用优化算法如分支定界算法、遗传算法等,对计算过程进行加速处理。

(3) 频谱感知结果分析

分析所有路径上的信号强度,计算每个频段内的功率谱密度(PSD),得到频谱感知结果。可以从PSD曲线中得到频段中心频率、信噪比、占用带宽等关键参数,以推断该频段当前的利用状况。

(三) 频谱感知性能分析

频谱感知的实时性是指感知方法所需的时间延迟,即感知结果的更新速度。低轨卫星海洋通信系统需要实时感知频谱资源的利用情况,以便根据实时环境变化进行频谱资源调度和优化。因此,频谱感知方法的实时性要求相对较高。

三、基于射线追踪的频谱利用方法

(一) 频谱利用策略设计

动态频谱分配策略旨在根据实时的频谱感知结果,动态调整不同用户和服务之间的频谱资源分配,以最大限度地提高系统容量和用户体验。

在基于射线追踪的频谱感知方法中,通过分析频谱感知结果中的功率谱密度、占用带宽等信息,可以评估不同频段的利用情况。基于这些评估结果,可以进行动态频谱分配,并根据实时需求调整频谱资源的分配比例。

(二) 资源管理与优化

1. 时隙分配与调度算法

时隙分配与调度算法是指在低轨卫星海洋通信系统中,对时隙资源进行合理的分配和调度,以满足不同用户和服务的实时需求。

2. 信道质量与传输速率优化

基于射线追踪的频谱感知方法可以提供实时感知结果,包括信道质量信息,如信噪比、误码率等。根据这些信息,可以进行信道质量与传输速率优化。

(三) 频谱利用性能分析

1. 频谱利用率分析

频谱利用率是指在一段时间内,实际使用的频谱资源与可用频谱资源之比。在低轨卫星海洋通信系统中,由于频谱资源有限,频谱利用率的高低直接影响着信息传输的质量和性能。

2. 传输速率分析

传输速率是指在特定时间内,传输的数据量与时间之比。低轨卫星海洋通信系统需要优化传输速率,以满足数据传输的实时性和可靠性需求。

在基于射线追踪的频谱利用方法中,根据实时的信道质量和频谱资源分配情况,可以实现传输速率的优化。通过合理的调节传输参数和协议,可以在不降低数据传输可靠性的情况下提高传输速率。

四、基于射线追踪技术的低轨卫星海洋通信系统性能评估

(一) 系统性能分析与比较

1. 与传统频谱感知方法的性能比较

基于射线追踪的频谱利用方法相对于传统的频谱感知方法具有以下优势:

精确性: 基于射线追踪的方法可以更精确地感知信道和频谱资源的情况。它使用射线追踪技术模拟电磁波在环境中的传播,可以考虑更多的干扰源、反射和衰落等因素,提供更真实和准确的感知结果。

实时性: 基于射线追踪的方法具有较高的实时性,可以在几乎实时的时间内获取频谱感知结果。这使得系统可以根据实时的频谱情况进行调整,有效地应对信道和网络环境的变化。

自适应性: 基于射线追踪的方法可以对感知结果进行自适应调整,根据不同的需求进行优化。例如,根据业务的优先级、信道质量等因素,进行频谱资源的分配和调度,从而提高系统的性能和用户体验。

2. 与其他射线追踪技术的性能比较

基于射线追踪的频谱利用方法还可以与其他射线追踪技术进行比较,如光线跟踪、射线追踪和光线跟踪混合等。

光线跟踪: 与光线跟踪相比,基于射线追踪的方法更加适用于无线通信系统中的频谱利用问题。光线跟踪主要应用于图形渲染等领域,不适用于频谱感知和资源管理问题。

射线追踪: 基于射线追踪的频谱利用方法与常规射线追踪方法相比,具有更高的实时性和自适应性。常规射线追踪方法主要应用于图形建模和仿真等领域,对频谱感知等实时应用的支持相对较弱。

(二) 卫星轨道与分布对系统性能的影响

卫星轨道和卫星分布对低轨卫星海洋通信系统的性能有重要影响。主要有以下几个方面:

时延: 不同轨道的卫星有不同的延迟特性。LEO 卫星通常具有较低的信号传输时延,可以实现实时交互性的通信。而 MEO 和 GEO 卫星由于较高的轨道高度,导致信号传输时延较高。时延的不同对于实时性要求较高的应用影响较大。

连通性: 卫星的分布方式也会影响通信系统的连通性。如果卫星分布均匀且充分,系统可以实现更好的覆盖和连通性。而如果卫星分布不均匀或者缺乏卫星,可能导致覆盖区域间的盲区或通信中断。

2. 地面站布局对系统性能的影响

地面站是卫星通信系统的关键组成部分,其布局的合理性对系统性能起着重要作用。地面站的布局密度和位置选择可以影响通信系统的覆盖范围。合理分布的地面站可以提供更广阔和稳定的覆盖区域,减少信号衰落和干扰。

3. 环境因素对系统性能的影响

环境因素对低轨卫星海洋通信系统的性能也有重要影响。主要有以下几个方面:

大气条件: 大气条件包括大气湿度、温度和大气层的折射等。这些因素会对信号传输产生损耗和干扰,影响通信系统的性能。

天气状况: 天气状况,如降雨、云层和大风等,会对卫星信号传输产生影响。特别是降雨,会导致信号衰落和信号质量下降。

结束语

本文阐述了基于射线追踪技术的低轨卫星海洋通信的频谱感知与利用方案。通过建立射线追踪模型、设计频谱感知算法和利用策略以及进行系统性能评估和比较,可以发现该方案具有较高的频谱利用率和传输速率,并且误码率较低,是一种高效可靠的通信方案。

参考文献

- [1] 蔚瑞. 低轨卫星频谱感知数据的超分辨重建技术[J]. 中国科学: 地球科学, 2022, 39(3): 7.
- [2] 李高, 王威, 吴启晖. 面向低轨卫星的频谱认知智能管控[J]. 中兴通讯技术, 2021, 27(5): 5.