

卫星通信传输信号质量分析与 MATLAB 的融合教学应用

李曼¹ 陈哲²

(1.重庆移通学院 重庆 401520;
2.中国人民解放军 95696 部队 重庆 401329)

摘要 “电信传输原理”是通信专业的重要课程,但其理论性较强,计算内容较为复杂,使用传统的理论教学模式难以达到新工科建设的要求。为解决该问题,可在理论教学中引入 MATLAB 软件,将其作为理论推导和计算的辅助工具。在进行卫星通信传输信号质量分析教学时,利用 MATLAB 搭建仿真分析平台,能有效促进学生对理论内容的理解和应用,激发学习热情,提升课堂教学质量。

关键词: 卫星通信;通信链路;MATLAB;信噪比;误码率

中图分类号 TN927

Satellite Communication Transmission Signal Quality Analysis and MATLAB Fusion Application and Effect Evaluation

LI Man¹ and CHEN Zhe²

(1.Chongqing College of Mobile Communication, Chongqing 401520, China;
2.Chinese People's Liberation Army 95696 Troops, Chongqing 401329, China)

Abstract “Principles of Telecommunications Transmission” is an important course in the field of communication, but its theoretical nature is strong and the computational content is complex, making it difficult to meet the requirements of the new engineering construction using traditional theoretical teaching methods. To solve this problem, MATLAB software can be introduced into theoretical teaching as an auxiliary tool for theoretical deduction and calculation. When teaching the quality analysis of satellite communication transmission signals, using MATLAB to build a simulation analysis platform can effectively promote students' understanding and application of theoretical content, stimulate learning enthusiasm, improve classroom teaching quality.

Key words Satellite communications, Communication links, MATLAB, Signal-to-noise ratio, Ber

0 引言

MATLAB 软件包含了强大的控制系统工具箱,具有出色的数值计算能力和图形处理能力,可以提供直观的图形化仿真和丰富的模块库,其是一种被广泛采用的控制系统仿真工具。在理论教学中引入 MATLAB 软件,将其作为卫星通信传输信号质量分析过程中的推导和辅助工具,搭建仿真分析平台,可以促进学生对卫星通信传输信号质量分析的步骤和影响因子的理解,激发学习热情,提升教学质量。

1 卫星通信概述

卫星通信指利用人造地球卫星作为中继站来转发无线电波而进行的通信,主要包含 3 个部分,即卫星端、地面端

和用户端^[1]。卫星端负责转发信号;地面端包括地面站和控制中心,负责信号的发送、接收和控制;用户端则是用户的终端设备,如手机、电视等。卫星通信系统是一个复杂的网络,它利用人造地球卫星作为中继站来转发无线电波,从而实现跨越地理障碍的远距离通信。在卫星通信中,信号处理与传输是非常关键的环节。信号处理包括调制、解调、编码、解码等过程,用于将信息转换成适合传输的信号形式。传输则指将处理后的信号通过卫星和地面站之间的链路进行传输。高效的信号处理与传输技术可以确保通信的可靠性和稳定性。因此,对于信号的传输质量分析至关重要。

2 卫星通信链路及关键参数

首先,建立卫星通信链路的模型。一个常见的卫星通

作者简介:李曼(1988—),硕士,中级工程师,研究方向为通信与信息系统。

信线路模型如图1所示。具体的卫星通信链路系统由地面站、卫星和用户终端组成。地面站与卫星之间形成上行链路,而卫星与用户终端之间形成下行链路。

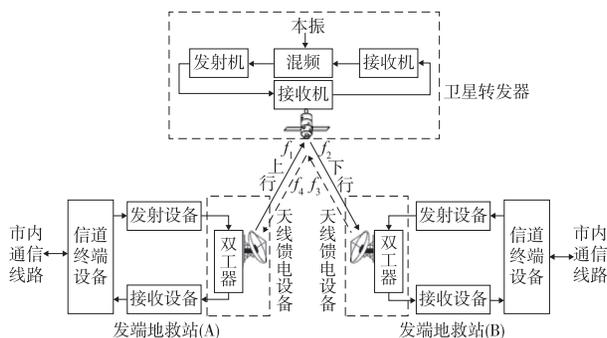


图1 卫星通信链路

由于上行和下行链路的收、发信号设备功率和信号频率都不一致,因此在进行卫星通信传输信号质量分析之初,要确定分析的传输信号的链路类型。此外,还要考虑地球站的站型。根据地球站天线口径的大小,地球站可以被划分为A、B、C 3种站型。3种站型的地球站的品质因数各有不同,也就是地球站接收天线的增益 G 与地球站接收系统的等效噪声温度 T 之比有所不同。品质因数的单位为 $\text{dB/K}^{[2]}$,具体如式(1)~式(3)所示:

$$\text{A型站: } \frac{G}{T} \geq 35.0 + 20 \lg \frac{f}{4} \quad (1)$$

$$\text{B型站: } \frac{G}{T} \geq 31.7 + 20 \lg \frac{f}{4} \quad (2)$$

$$\text{C型站: } \frac{G}{T} \geq 37.0 + 20 \lg \frac{f}{11.2} \quad (3)$$

3种站型的区别在于加权因子数的大小不同,还有在对数取值时的分母不同。因此在实际的通信链路质量分析时,要选择对应的地球站站型并按照相应的品质因数值进行计算。在卫星传输链路中想要分析的主要参数是信噪比(S/N)或载噪比(C/N)和误码率(BER)。信噪比(S/N)或载噪比(C/N)是信号功率与噪声功率之比,单位以分贝(dB)表示,用于评估信号在接收端的质量^[3]。误码率(BER)是在传输过程中错误接收的比特数与总接收比特数的比值,低BER表示较高的传输质量。在分析过程中还涉及到的关键参数有等效全向辐射功率(EIRP)、品质因数(G/T)、带宽 B 、路径损耗和自由空间损耗等合记为 L ,多径效应、极化损耗等。自由空间中信号经过传输后,接收机收到的功率为 P_R ,单位为dBm,如式(4)所示:

$$P_R = P_T + G_T + G_R - L - L_r - L_i - L_p \quad (4)$$

$$= P_T - L_p''$$

其中, P_T 为发射功率, G_T 和 G_R 分别为发射天线和接收天线的增益, L_r 和 L_i 分别为发射和接收馈线系统损耗, L_p'' 则为自由空间传输损耗。接收端的噪声温度为 T_r ,自由空间损耗以及路径损耗和极化损耗等合计为 L ,则载噪比 C/N 如式(5)所示:

$$C/N = P_T + G_T + G_R - L - N \quad (5)$$

$$= \text{EIRP} + G_R - L - kT_r B$$

卫星通信中的信号传输经过3个过程,分别是上行、下行以及转发处理,因此在计算和分析载噪比时,要根据不同情况而使用不同的EIRP和 G_R 、 T_r 进行计算。

3 基于MATLAB搭建仿真平台

基于MATLAB对卫星通信链路的传输信号质量分析仿真时,按照以下的基本流程进行。(1)需求分析。想要实现卫星通信的实时传输、定位追踪及远距离传输等功能,要先确定数据传输速率、误码率、可用频段、覆盖范围等性能参数的设计和选择^[4]。(2)信道建模。使用MATLAB提供的信道模型,如传输信道、传播信道和噪声信道等,模拟不同环境下的信道特性。(3)载波干扰仿真。考虑到卫星通信系统可能受到地面台站和其他卫星信号的干扰,使用MATLAB进行载波干扰仿真。(4)天线建模。天线是卫星通信系统中非常关键的组成部分。使用MATLAB的天线模型和算法,进行天线的建模和仿真,包括天线增益、方向图和极化等参数。(5)链路预算与优化。基于上述步骤,进行链路预算,确保通信质量,包括计算接收到的射频载波功率与噪声功率之比(如载噪比、品质因数等)。(6)调制与解调。选择合适的调制和解调技术,使用MATLAB进行仿真和验证,以确定最适合特定系统的方案。(7)信道估计与均衡。考虑到信道的不稳定性 and 干扰,使用MATLAB进行信道估计和均衡的仿真与优化,以提高信号的传输质量。(8)性能评估。使用MATLAB进行整体性能评估,包括误码率、吞吐量、延迟等指标。根据评估结果,对设计进行调整和优化。卫星通信链路设计是一个复杂的过程,在设计时需尽量考虑各种因素。利用MATLAB的强大功能和灵活性,可以有效地进行链路设计、仿真和优化,为卫星通信系统的性能提供助力。

4 参数设置及数据分析

在MATLAB中仿真卫星通信链路性能通常包括几个主要步骤,如天线设计、链路预算、信道建模、调制解调以及误码率(BER)分析,以下是这些步骤的基本参数设置。首先,需要设置卫星通信系统的关键参数,如频率、带宽、发射功率等,还要设定或计算得出通信链路中的自由空间损耗、波长、等效全向辐射功率、噪声、衰落等内容。为了方便学生理解卫星通信链路质量,可对系统参数进行初始设置,如表1所列。

在信号传输的过程中,不同的调制方式会给数据带来不同的结果。因此,在分析传输信号质量时,除了选取仅一种地球站接受系统的站型和具体链路为星地链路之外,分别对不同调制方式,即采用二进制相移键控(BPSK)、四相相移键控(QPSK)的情况下,分析误码率和信噪比之间的关系,以此来实现卫星通信链路下的传输

信号质量分析。

表 1 系统参数初始设置

参数名称	设置值	单位
频率 f	14×10^9	Hz
带宽 B	36×10^6	Hz
传输功率 P_{in}	10	Watts
接收灵敏度 P_{rs}	-120	dBm
发送天线增益 G_T	45	dB
接收天线增益 G_R	45	dB
距离 d	35786×10^3	m
波速 c	3×10^8	m/s
噪声	10	dB
噪声温度	290	K
玻尔兹曼常数 k	1.38×10^{-23}	J/K

在建立的传输信号质量分析模型中,信噪比的范围限制在 0~15。通过 BPSK 调制,采用的模型数据处理过程较简单,是随机生成数据量再进行二进制变换而形成的调制后的传输信号内容。QPSK 经过的是重构数组 reshape 函数、二进制数变换处理 bi2de 函数以及相位偏移键控调制 pskmod 函数处理后生成的传输信号内容。其中,重构数组 reshape 函数是使用大小向量重构数据来定义新的生成值;二进制数变换处理 bi2de 函数是通过创建一个函数来将二进制行向量转换为非负十进制整数;相位偏移键控调制 pskmod 函数是使用相位偏移键控调制对输入信号进行调制,如输入信号 x 是一个二进制向量,其中 0 和 1 表示不同的相位, M 表示调制的阶数 4,则通过此函数可以生成调制后的信号。模型中的误码率的理论值是根据函数 berawgn 生成的。berawgn 是一个用于返回未编码相移键控在加性高斯噪声信号上通过相干解调的比特误码率。经过以上的信号数据处理后,可以得到分别采用 BPSK 和 QPSK 调制后,对不不同信噪比取值所对应的误码率情况,如图 2、图 3 所示。

根据前续的分析和两幅图的结果可知,随着信噪比的增加,误码率整体呈现处的是下降趋势。在低 SNR 区域,噪声对传输信号的影响很大,误码率整体较高。在信噪比较高的情况下,信号相对于噪声较强,误码率显著降低。因此,在实际应用中,如果信噪比较低,则可以考虑提高发射功率、使用更高增益的天线或改进调制技术来降低误码率,提高系统性能。通过将采用两种不同的调制方式的信号进行处理后,得到的调制后的误码率理论值和仿真值如图 4 所示。可以看到,在此模型中经过 BPSK 调制的信号具有最优的抗噪声性能,误码率在低信噪比时更低,下降的速率也更快。此模型中经过 QPSK 调制后的信号误码率与 BPSK 基本相当,总体也是随着信噪比的提升而逐渐降低。但是经过 QPSK 调制的信号是每符号传输两比特,因此其效率更高。

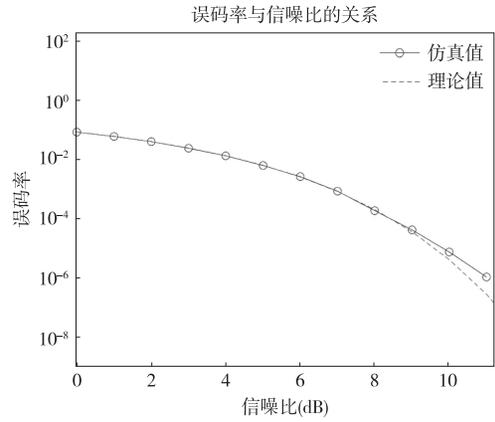


图 2 BPSK 调制后的误码率与信噪比的关系

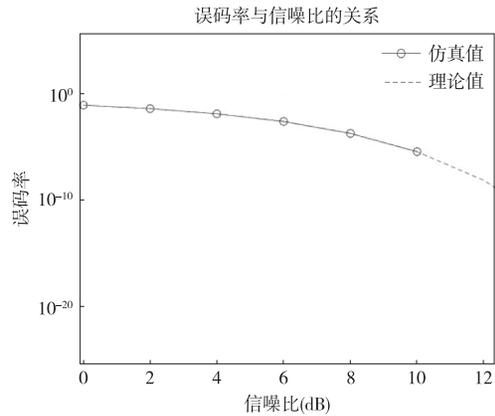


图 3 QPSK 调制后的误码率与信噪比的关系

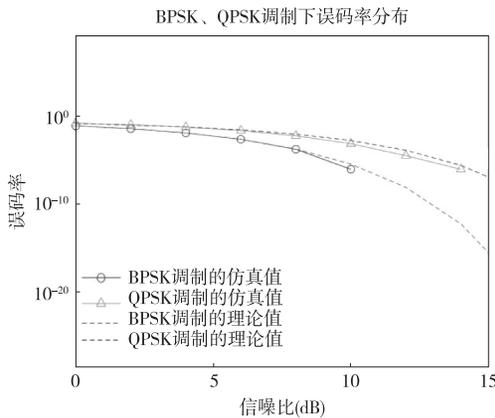


图 4 两种调制方式的误码率分布

由此可见, BPSK 和 QPSK 调制后的卫星传输信号质量各有优劣,在实际应用中需根据具体的信道条件和数据传输需求选择合适的调制方式。BPSK 调制适用于高抗干扰需求的低数据传输速率场景, QPSK 调制平衡了抗干扰性能与数据速率,广泛用于无线通信、卫星通信等。此外,还有 16QAM 调制,可适用于高数据速率需要且信道条件较好的场景,如 Wi-Fi、LTE 等。在通过 MATLAB 仿真卫星通信链路的传输信号质量分析过程中,可以得出误码率随信噪比变化的关系。学生在学习卫星通信链路的传输信号质量分析过程中,可以根据具体的场景,选择不同的地球站型,不同的链路形式,设定不同的参数,不同的调制方式等,来获取不同

的数值分析结果。

5 结语

在融合了 MATLAB 的卫星通信链路质量分析教学过程中,对信号质量的分析较为偏理想状况,未考虑互联互通、设备转发、数据处理的各种开销和噪声。但在理论教学过程中,学生除了基本的模型分析和数学推导,还能借助 MATLAB 的直观出图效果来辅助理解卫星通信链路上下行的传输信号质量受哪些参数限制以及优化方向。MATLAB 的融入,让卫星通信中理论性和实践性较强且较难掌握的

部分更加清晰的呈现出来,从而激发学习热情,提升教学质量。

参考文献

(上接第 59 页)

信号增强方法。通过分析卡尔曼滤波原理及其在信号处理领域的应用,提出了将卡尔曼滤波应用于高速移动通信网络信号增强的新思路。该方法在实际应用中能提高信号质量和传输效率,降低误码率和传输延时,为高速移动通信网络的信号增强提供了一种新的解决方案。

参考文献

- [1] 罗永剑.基于深度自适应小波网络的移动通信网络传输信号增强方法[J].长江信息通信,2024,37(8):178-181.

- [1] 樊昌信,曹丽娜.通信原理[M].北京:国防工业出版社,2008.
[2] 北京米波通信技术有限公司.现代商用卫星通信系统[M].西安:电子工业出版社,2022.
[3] 胡庆.电信传输原理、系统及工程[M].北京:电子工业出版社,2012.
[4] 张德丰.MATLAB 通信工程仿真[M].北京:机械工业出版社,2010.

- [2] 张洁.基于 MEC 的移动通信网络传输信号增强方法[J].电子设计工程,2023,31(17):169-172,177.
[3] 宋雪翼,邵倩倩,于滢,等.PHA-665752 通过抑制 HGF/c-Met 信号通路增强肝癌细胞对索拉非尼敏感性[J].右江民族医学院学报,2024,46(5):653-660.
[4] 邱海燕,陈琳徽.弥散加权成像联合磁共振动态增强-时间信号强度曲线对乳腺良恶性肿瘤的诊断价值研究[J].影像研究与医学应用,2024,8(21):26-28,32.
[5] 芮小博,孔欣玥,伍洲,等.基于谱特征自适应估计的激光相干语音探测信号增强方法[J].仪器仪表学报,2024,45(8):326-335.