|  |  |
| --- | --- |
| 成绩 |  |



信息工程学院

通信原理课程设计报告

**2024 — 2025 学年 第 一 学期**

题 目 基于Simulink信道编码建

模仿真与分析

学生院系 信息工程学院

专 业 通信工程

班 级 22通信2班

姓 名 赵振阳

学 号 2209735007

指导教师 郭常盈

|  |
| --- |
| 设计要求 （1）理解信号编码过程，熟悉信道编码的基本原理，需要了解信道编码的基本概念、类型和应用，包括CDMA，线性码，循环码，卷积码等。  （2）对比各种编码类型对误码率的降低效果，在进行信道编码时能够选择正确的编码类型以降低误码率，增强信号传输质量。  （3）建立系统模型，使用Simulink模块库中的元件，构建通信系统的各个组成部分，如信源、信道、调制器、解调器、滤波器等  （4）建模与仿真：连接各个模块，形成完整的通信系统模型，并进行仿真。可以观察系统的输入输出信号、误码率、信噪比等性能指标  （5）通过运行所建立的模型，进行仿真，并对编码的性能进行分析，包括误码率、吞吐量等指标的计算和评估。将仿真结果进行可视化展示，以便更好地理解和分析编码性能。  （6）掌握使用Simulink进行建模和仿真的基本技能，包括模块的创建、连接和参数设置。根据所选的信道编码算法，设计相应的Simulink模型，包括编码器、解码器和信道模型。 |
| 设计方案CDMA移动通信系统 CDMA是数字移动通信的一种接入方式。特别是在第三代移动通信中，它已成为一种最主要的多址接入方式。扩展频谱（简称扩频）通信技术是码分多址（CDMA）的基础。扩频通信技术与光纤通信、卫星通信一同被誉为进入信息时代的三大高技术通信传输方式。 扩频通信的理论基础 扩频通信的基本思想和理论依据是香农公式。香农在信息论的研究中得出了信道容量的公式。信道容量的公式如式(2‑1)所示。  (2‑1)  这个公式指出：如果信道容量*C*不变，则信号带宽*B*和信噪比*S/N*是可以互换的，只要增加信号带宽，就可以在较低的信噪比的情况下，以相同的信息速率来可靠地传输信息。甚至在信号被噪声淹没的情况下，只要相应地增加信号带宽，仍然保持可靠的通信，也就是可以用扩频方法以宽带传输信息来换取信噪比上的好处，这就是扩频通信的基本思想和理论依据。 CDMA扩频通信原理 CDMA扩频通信系统原理框图如图2.1‑1所示。    图 2‑1 CDMA扩频通信系统原理框图  由图2‑1可知，扩频通信系统与普通数字通信系统相比较，就是多了扩频和解扩两部分。CDMA扩频通信系统有3种扩频方式：直接序列扩频、跳频扩频和跳时扩频。下面以直接序列扩频CDMA基带传输系统为例来讲解其原理。直接序列扩频是直接用高速率伪随机码在发端去扩展信息数据的频谱；在收端，用完全相同的伪随机码进行解扩，把展宽的扩频信号还原成原始信息。在码分多址直接序列扩频系统中，伪随机码不是一个，而是采用一组正交性良好的伪随机码组，其两两之间的相关值接近于0。该组伪随机码既用作用户的地址码，又用于加扩和解扩，增强系统的抗干扰能力。 MATLAB/Simulink信道编码建模与仿真线性码建模与仿真 利用MATLAB/Simulink建立线性分组码编码的基带传输系统，比较有无线性分组码编码的基带传输系统差错率。 循环码建模与仿真 利用MATLAB/Simulink建立循环码编码的基带传输系统，比较有无循环码编码的基带传输系统差错率。 卷积码建模与仿真 利用MATLAB/Simulink建立卷积码编码的基带传输系统，比较有无卷积码编码的基带传输系统差错率。 |
| 设计内容CDMA移动通信系统 两路信号码分多址基带传输系统仿真模型如图3‑1所示。    图 3‑1 两路信号码分多址基带传输系统仿真模型  图3‑1中,由贝努利二进制数据发生器产生信源，PN序列发生器产生高速PN序列，单/双变换后进行相乘实现信号扩频，两路扩频信号混合后进行传输。收端的PN序列要与发端的PN序列相对应，即同一路信号发端和收端的PN序列要一样。但不同路之间的PN序列最好能正交。参数设置如下:两个贝努利二进制数据发生器的采样时间一样，假设都设置成1，即速率为1bit/s，但初始种子序号应不同，这样产生的信源数据才会不一样。PN序列发生器的采样时间要与二进制数据发生器的采样时间配合，在本系统中，PN序列的重复周期为7个bit，所以，将PN序列发生器的采样时间设为1/7，也就是基带信号1个比特时间内，产生7个比特的PN序列，即每个比特基带信号时间内，重复一次PN序列。设定仿真步长为1/1000，仿置时间为10后启动仿真。 线性码建模与仿真 采用线性分组码编码的基带传输系统如图3‑2所示。    图 3‑2 采用线性分组码编码的基带传输系统  图中伯努利随机二进制信号发生器产生采样时间为1、每4比特为1帧的随机信源。二进制线性编码器根据生成矩阵G产生二进制线性分组码，其生成矩阵参数Generator matrix设置为[[1 1 0;0 1 1;1 1 1;1 0 1]eye(4)]。编码后序列送入差错率为2%的二进制平衡信道。接收端用二进制线性解码器进行解码，解码器的参数设置与编码器相对应。解码后的序列与发送序列进行比较，用误码率计算器计算得到的误码率一方面用显示器显示，另一方面送入MATLAB工作空间，以便作图。 循环码建模与仿真 采用循环码编码的基带传输系统如图3‑3所示。    图 3‑3 采用循环码编码的基带传输系统  图中信源与图3‑2中的信源一样。二进制循环编码器参数设置成(7,4)循环码。编码后序列同样送入差错率为2%的二进制平衡信道。接收端用二进制循环解码器进行解码，解码器的参数设置与编码器相对应。解码后的序列与发送序列进行比较，用误码率计算器计算得到的误码率一方面用显示器显示，另一方面送入MATLAB工作空间，以便作图。 卷积码建模与仿真 采用卷积码编码的基带传输系统如图3‑4所示。    图 3‑4采用卷积码编码的基带传输系统  因为本系统中采用(2,1,9)卷积码，即每输入1个比特，将输出2个比特，约束长度为9，因此本系统中，信源设置成基于采样的二进制序列。卷积码编码器格型结构Trellis structure设置成poly2trellis(9,[753 561])，其中9是约束长度，[753 561]是生成多项式的八进制表示方式，转换成二进制为[111101011 101110001]，代表了卷积码编码器反馈连线的有无。操作模式Operation mode设置成Continuous，即卷积码编码器在整个仿真过程中都不对寄存器复位。经编码器编码后序列同样送入差错率为5%的二进制平衡信道。接收端用维特比解码器进行解码，解码器的参数设置与编码器相对应，判决方式采用硬判决，反馈深度可设为72。解码后的序列与发送序列进行比较，用误码率计算器计算得到的误码率一方面用显示器显示，另一方面送入MATLAB工作空间，以便作图。误码率计算器的接收延迟应与卷积解码器的反馈深度相当，也设为72。 |
| 仿真与调试CDMA移动通信系统 两路信号码分多址基带传输系统仿真模型如图4‑1所示。    图 4‑1 两路信号码分多址基带传输系统仿真模型  图4‑1中，两个贝努利二进制数据发生器的采样时间一样，假设都设置成1，即速率为1bit/s，但初始种子序号应不同，这样产生的信源数据才会不一样。贝努利二进制数据发生器参数如图4‑2、图4‑3所示。    图 4‑2 贝努利二进制数据发生器参数 图 4‑3 贝努利二进制数据发生器1参数  PN序列发生器的采样时间要与贝努利二进制数据发生器的采样时间配合，收端的PN序列要与发端的PN序列相对应，即同一路信号发端与收端PN序列要一样，但不同路之间的PN序列最好能正交。在本系统中，PN序列的重复周期为7个bit，所以，将PN序列发生器的采样时间设为1/7，也就是基带信号1个比特时间内，产生7个比特的PN序列，即每个比特基带信号时间内，重复一次PN序列。PN序列发生器参数如图4‑4、图4‑5、图4‑6、图4‑7所示。    图 4‑4 PN序列发生器参数 图 4‑5 PN序列发生器1参数    图 4‑6 PN序列发生器2参数 图 4‑7 PN序列发生器3参数  PN序列发生器产生高速PN序列，单/双变换后进行相乘实现信号扩频，两路扩频信号混合后进行传输。继电器参数如图4‑8、图4‑9、图4‑10、图4‑11所示。    图 4‑8 继电器参数 图 4‑9 继电器1参数    图 4‑10 继电器2参数 图 4‑11 继电器3参数  PN序列发生器产生高速PN序列，单/双变换后与两路扩频混合信号进行相乘实现信号解扩。继电器参数如图4‑12、图4‑13所示。    图 4‑12 继电器4参数 图 4‑13 继电器5参数  第1路PN序列由0010111这7个比特不断重复而得，跟第1路的基带信号相乘后，基带信号为1时，扩频信号仍为原来的PN序列0010111，但当基带信号为0时，扩频信号是原PN序列的反，即为1101000。同理，当第2路基带信号为1时，扩频信号为1011100，为0时，为0100011。两路扩频信号混合后进行传输。CDMA基带传输系统发端各点波形如图4‑14所示    图 4‑14 CDMA基带传输系统发端各点波形  混合信号与第1路PN序列相乘后得第1路解扩后信号，对此信号在每个比特间隔内求平均值，即可得第1路原始基带信号。同理，混合信号与第2路PN序列相乘后得第2路解扩后信号，对此信号在每个比特间隔内求平均值，即可得第2路原始基带信号。CDMA基带传输系统基带信号和解扩后信号波形如图4‑15所示。    图 4‑15 CDMA基带传输系统基带信号和解扩后信号波形 线性码建模与仿真 采用线性分组码编码的基带传输系统如图4‑16所示。    图 4‑16 采用线性分组码编码的基带传输系统  图中伯努利随机二进制信号发生器产生采样时间为0.001、每4比特为1帧的随机信源。伯努利随机二进制信号发生器参数如图4‑17所示。    图 4‑17 伯努利随机二进制信号发生器参数  二进制线性编码器根据生成矩阵G产生二进制线性分组码，其生成矩阵参数Generator matrix设置为[[1 1 0;0 1 1;1 1 1;1 0 1]eye(4)]。二进制线性编码器参数如图4‑18所示。  编码后序列送入差错率为2%的二进制平衡信道。接收端用二进制线性解码器进行解码，解码器的参数设置与编码器相对应。二进制线性解码器参数如图4‑19所示。    图 4‑18 二进制线性编码器参数 图 4‑19 二进制线性解码器参数  解码后的序列与发送序列进行比较，用误码率计算器计算得到的误码率一方面用显示器显示，另一方面送入MATLAB工作空间，以便作图。运行结果如图4‑20所示，从图中显示器可以看到，应用线性编码后，系统差错率从2%降为0.350%。    图 4‑20 线性分组码编码的基带传输系统差错率  利用MATLAB进行绘图，采用线性分组码编码的基带传输系统和无信道编码的基带传输系统差错率比较如图4‑21所示。    图 4‑21 有无线性分组码编码的基带传输系统差错率比较 循环码建模与仿真 采用循环码编码的基带传输系统如图4‑22所示。    图 4‑22 采用循环码编码的基带传输系统  图中伯努利随机二进制信号发生器产生采样时间为0.001、每4比特为1帧的随机信源。伯努利随机二进制信号发生器参数如图4‑23所示。    图 4‑23伯努利随机二进制信号发生器参数  二进制循环编码器参数设置成(7,4)循环码。二进制循环编码器参数如图4‑24所示。  编码后序列送入差错率为2%的二进制平衡信道。接收端用二进制循环解码器进行解码，解码器的参数设置与编码器相对应。二进制循环解码器参数如图4‑25所示。    图 4‑24 二进制循环编码器参数 图 4‑25 二进制循环解码器参数  解码后的序列与发送序列进行比较，用误码率计算器计算得到的误码率一方面用显示器显示，另一方面送入MATLAB工作空间，以便作图。运行结果如图4‑26所示，从图中显示器可以看到，应用线性编码后，系统差错率从2%降为0.360%。    图 4‑26 循环码编码的基带传输系统差错率  利用MATLAB进行绘图，采用循环码编码的基带传输系统和无信道编码的基带传输系统差错率比较如图4‑27所示。    图 4‑27 有无循环码编码的基带传输系统差错率比较 卷积码建模与仿真 采用卷积码编码的基带传输系统如图4‑28所示。    图 4‑28 采用卷积码编码的基带传输系统  图中伯努利随机二进制信号发生器产生采样时间为0.001、每1比特为1帧的随机信源。伯努利随机二进制信号发生器参数如图4‑29所示。    图 4‑29 伯努利随机二进制信号发生器参数  卷积码编码器格型结构Trellis structure设置成poly2trellis(9,[753 561])，其中9是约束长度，[753 561]是生成多项式的八进制表达方式，转换成二进制为[111101011 101110001]，代表了卷积码编码器反馈连线的有无。操作模式Operation mode设置成Continuous，即卷积码编码器在整个仿真过程中都不对寄存器复位。卷积码编码器参数如图4‑30所示。  经编码器编码后序列送入差错率为5%的二进制平衡信道。接收端用维特比解码器进行解码，解码器的参数设置与编码器相对应，判决方式采用硬判决，反馈深度可设为72。维特比解码器参数如图4‑31所示。    图 4‑30 卷积码编码器参数 图 4‑31 维特比解码器参数  解码后的序列与发送序列进行比较，用误码率计算器计算得到的误码率一方面用显示器显示，另一方面送入MATLAB工作空间，以便作图。误码率计算器的接收延迟应与卷积解码器的反馈深度相当，也设为72。误码率计算器参数如图4‑32所示。    图 4‑32 误码率计算器参数  运行结果如图4‑33所示，从图中显示器可以看到，应用线性编码后，系统差错率从5%降为0.102%。    图 4‑33 卷积码编码的基带传输系统差错率  利用MATLAB进行绘图，采用卷积码编码的基带传输系统和无信道编码的基带传输系统差错率比较如图4‑34所示。    图 4‑34 有无卷积码编码的基带传输系统差错率比较 3种差错控编码性能比较 3种差错控制编码与无信道编码差错率比较如图4‑35所示。    图 4‑35 3种差错控制编码与无信道编码差错率比较 |
| 总结与体会 信道编码技术在数字通信系统中起着至关重要的作用。通过在原始信息中加入冗余信息，信道编码能够提高数据传输的可靠性和纠错能力。然而，不同的编码技术在性能和应用场景上各有优劣。 线性分组码和循环码 优点：线性分组码和循环码通过在每个信息分组中添加冗余信息，能够在一定程度上检测和纠正传输中的错误。它们的编码和解码过程相对简单，适合于一些对实时性和计算复杂度要求较高的应用.  缺点：这两种编码方式的纠错能力相对有限，当信道条件较差或传输距离较远时，可能无法有效降低误码率。此外，它们的编码效率也较低，即需要较多的冗余信息来达到一定的纠错能力，这会降低传输效率。 卷积码 优点：卷积码通过连续的编码过程，使得每个编码符号都与前后的符号相关联，从而提高了编码的纠错能力。在系统差错率小于9%时，卷积码的差错率最小。这使得卷积码在一些对可靠性要求较高的通信系统中得到了广泛应用，如移动通信和卫星通信等。  缺点：卷积码的编码和解码过程较为复杂，需要较高的计算资源。此外，当系统差错率大于9%时，卷积码的差错率会大于线性分组码和循环码的差错率，这限制了其在某些高误码率环境下的应用. 无信道编码 优点：无信道编码时，传输效率最高，因为不需要添加冗余信息。这在一些对传输速率要求极高的应用中可能具有优势.  缺点：无信道编码的差错率最大，因为没有任何纠错机制来检测和纠正传输中的错误。这使得其在大多数通信系统中不适用，尤其是在信道条件较差或传输距离较远的情况下. 实践中的模拟和分析 通过仿真实验，可以深入了解不同信道编码技术在不同信噪比下的性能表现。例如，使用MATLAB和Simulink进行数字通信系统的建模与仿真，可以观察到在不同的信噪比条件下，各种编码方案的误码率、传输效率等性能指标的变化。这有助于选择最适合特定应用的编码技术，并为实际通信系统设计提供指导。例如，在功率受限而带宽不太受限的信道中，纠错码可以有效地降低误码率。 信道编码建模仿真实验的重要性 信道编码建模仿真实验是深入了解数字通信系统中关键概念的重要手段之一。通过Simulink进行这样的实验，不仅可以加深对理论知识的理解，还能为实际工程应用提供宝贵的经验。例如，在设计一个移动通信系统时，可以通过仿真来比较不同编码方案在不同信噪比下的性能，从而选择最适合的编码技术。此外，实验结果还可以帮助工程师了解在何种条件下使用特定的信道编码技术，以达到最佳的通信效果。 |
| 参考文献 [1] 梁青青, 赵春艳, 周小燕. “通信原理”课程线上线下混合授课的设计与实践[J]. 甘肃教育研 究, 2024,(19):42-45.  [2] 杨阳. 基于SIMULINK的多元化融合式教学研究——以通信原理课程为例[J]. 现代信息科技, 2024,8(20):191-194.  [3] 张水英, 徐伟强. 通信原理课程教学改革的探索与实践[C]//中国电子教育学会高等教育分会. 中国电子教育学会高教分会2014年学术年会论文集. 浙江理工大学信息学院;, 2014:5.  [4] 樊昌信, 曹丽娜. 通信原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2022.6.  [5] 耿钦, 竺小松, 陈学辟. 基于Simulink的DRM信道编码仿真[J]. 电子测试, 2011,(09):65-68.  [6] 张水英, 徐伟强. 通信原理及MATLAB/Simulink仿真[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2018.1.  [7] 徐素妍, 曹坤梅. 基于MATLAB语言的现代通信仿真分析[J]. 计算机应用. 2001.18(1): 52～53.  [8] 陈平平, 苏宠宠, 郭里婷. “无线通信原理”实践课程设计[J]. 实验科学与技术, 2024,22(04):59-65. |