

文章编号: 1000-5013(2007) 04 0368-04

Möbius 数字基带通信系统的性能仿真

苏武浔, 陈 方, 张渭滨

(华侨大学 信息科学与工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 在一定信噪比的前提下, 通过计算机仿真和编程计算, 对 Möbius 数字基带通信系统中偶对称三角波、奇对称三角波、偶对称方波、奇对称方波和锯齿波这 5 种常用的调制解调函数族及其逆变换进行仿真 1 万次, 观察错误概率(P_b)的波动范围. 仿真结果表明, 系统是完全可以行的. 对系统在不同信噪比情况下的错误概率进行计算, 绘制错误概率曲线. 结果表明, 新型 Möbius 数字基带通信系统比传统系统性能卓越, 可降低系统的初始投资及提高系统的性价比.

关键词: Möbius; Möbius 数字基带通信系统; 性能仿真; 错误概率

中图分类号: TN 915. 1; TP 391. 9

文献标识码: A

近年来, 陈难先教授使用无穷级数的 Möbius 反演公式解决了一系列物理中的逆问题, 引起国际学术界的高度重视^[1-3]. 把 Möbius 应用到通信系统中是一个新的起点. 其基本理论是^[4-6], 在对信号进行调制和解调时, 调制与相干解调的函数是不同的函数(族), 它们是相互正交的函数族, 但每一个函数族的本身却是非正交的, 或称为斜正交的. 基于以上的理由, 我们提出了新型的 Möbius 通信系统, 并对 Möbius 数字基带通信系统进行仿真研究与性能评估.

1 基本原理

在 Möbius 数字信号基带传输系统中, 由于数字信号 $s_d(nt)$ 的频谱太宽, 所以在发送端采用与其正交的逆变换函数族 $\tilde{s}_d(nt)$ 进行编码传输, 其中 $\tilde{s}_d(nt) = \sum_{m \cdots n} I(n/m) \cos mt$, 或 $\tilde{s}_d(nt) = \sum_{m \cdots n} I(n/m) / \sin mt$. 式中, 求和是对 n 的所有整数因子, 包括 n 和 1 的求和, 而每一频率分量前面的系数 $I(n/m)$ 是由逆变换计算出来的. 在接收端用 $s_d(nt)$ 进行相干解调($s_d(nt)$ 为几种常用的信号, 如偶奇三角波、偶奇方波、锯齿波等), 就可以大大提高通信的保真度与降低错误概率. 一路传输的基本框图, 如图 1 所示. 在这里, 信号是以二进制 0, 1 编码的数字系列, 当该位为 1 时, 信道输出 $f(t)\tilde{s}_{d,n}(t) + n(t)$; 而该位为 0 时, 信道输出是 $0 + n(t)$. 在第 2 个乘法器处, 经过滤波之后应该实现的功能是 $\frac{1}{\pi} \int_0^T s_d(nt)[f(t)\tilde{s}_{d,n}(t) + n(t)]dt = f(t) + e_1$, 或者 $\frac{1}{\pi} \int_0^T s_d(nt)[0 + n(t)]dt = 0 + e_1$. 在此, 由于应用了两个本身是非正交的正交函数族的相干判决, 可以使错误概率大大降低.

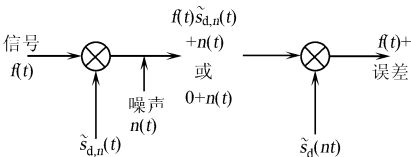


图 1 一位编码的基带传输

Fig. 1 One bit's coding transmission in base band

2 SIMULINK 的建模与仿真

采用了 MATLAB 中 SIMULINK 工具箱, 对 Möbius 数字基带传输系统的建模和仿真, 其一路的

收稿日期: 2007-01-25

作者简介: 苏武浔(1947-), 男, 教授, 主要从事通信技术的研究. E-mail: suwuxun@hqu.edu.cn

基金项目: 国务院侨办科研基金资助项目(06QZR01)

基本仿真框图, 如图 2 所示. 图 2 中, 采样模块 T 应用 Altera 公司的 DSP Builder 软件中的模块, 此软件

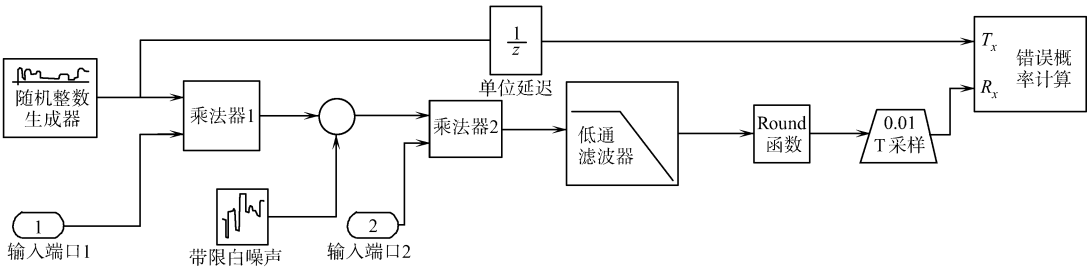


图 2 Möbius 数字基带通信系统(一路) 仿真图

Fig. 2 Simulation scheme of Möbius digital base band communication system

能够嵌入到 MATLAB 中, 提供的模块能够用硬件描述语言进行编译和仿真; 输入端口 1 输入的是调制信号 $\tilde{s}_d(nt)$, 输入端口 2 输入的是解调信号 $s_d(nt)$, 最后的输出端口用错误概率计算模块来代替, 以方便计算错误概率.

3 性能仿真

采用图 2 所示的系统进行性能仿真, 其中, $n = 10$ 的 $\tilde{s}_d(nt)$ 和 $s_d(nt)$ 、基频 $f_0 = 1\text{ kHz}$ (最高频率为 10 kHz) 的调制和解调信号且解调信号 $s_d(nt)$ 的幅值为 1. 在仿真过程中, 系统的采样时间为 $10\text{ }\mu\text{s}$, 输入的数字信号的采样时间为 10 ms , 且一次的仿真时间为 10 s . 随机整数生成器模块产生随机的均匀分布的二进制数字信号, 带限白噪声模块产生系统所需的带限白噪声(噪声功率可以随意设定), 两个乘法器分别实现系统的调制和解调功能.

3.1 系统的可行性评估

先确定一定的信噪比(R_{SN}), 对系统仿真 1 万次, 观察错误概率(P_b)的波动范围. 对偶对称三角波、奇对称三角波、偶对称方波、奇对称方波和锯齿波这 5 种常用的调制解调函数族进行仿真. 由于在 Möbius 数字基带通信系统中, 应用不同函数族的各个系统, 其性能有很大的差别, 所以本文分别进行仿真研究. 限于篇幅, 这里只给出了一种信噪比情况下的错误概率.

对于偶、奇对称三角波函数族调制解调系统, 理想噪声功率为 50; 对于偶、奇对称方波和锯齿波函数族调制解调系统, 理想噪声功率为 0.5. 在仿真过程中, 噪声功率会有较小的波动, 因此, 对信号功率和噪声功率都将按照仿真的实际结果来计算. 为了研究系统的可行性, 本文在给定信号功率和噪声功率的条件下, 对各个系统分别进行了 1 万次的仿真运算, 并将运算得到的错误概率的平均值作为该信噪比条件下的错误概率. 然后, 改变信噪比, 以同样的方式进行多次仿真. 图 3(a), (b) 分别为偶、奇对称三角波函数族调制解调系统在噪声功率为 50 时, 经过 1 万次运算得到的图形; 图 3(c), (d) 和(e) 分别为偶、奇对称方波和锯齿波函数族调制解调系统在噪声功率为 0.5 时, 经过 1 万次运算得到的图形.

在一定信噪比条件下的错误概率波动曲线(图 3)中, 通过仿真运算, 分别得到偶对称三角波、奇对称三角波、偶对称方波、奇对称方波、锯齿波函数族调制解调系统的信噪比, 以及在此信噪比下, 由各个系统仿真运算得到的 1 万个数据, 所得出的错误概率的平均值(\bar{P}_b)和均方差($P_{b, MSE}$), 如表 1 所示. 从

表 1 各种调制解调波型系统的性能比较

Tab. 1 The performance comparison of various modem waveform system

参数	偶对称三角波	奇对称三角波	偶对称方波	奇对称方波	锯齿波
R_{SN}	- 15.538 00	- 15.728 00	1.763 80	1.792 10	8.113 10
\bar{P}_b	0.073 23	0.139 00	0.030 22	0.083 45	0.308 80
$P_{b, MSE}$	0.019 57	0.024 78	0.016 19	0.019 48	0.022 11

错误概率的均值和均方差值就可以判断出错误概率的取值范围, 而均值又可以作为在此信噪比条件下的错误概率(在下文中, 错误概率曲线的绘制则是根据多次运算取平均值而得到的). 从图 3 给定的条件及所得到的均值和均方差值, 可以判断此系统是完全可行的.

3.2 系统的错误概率曲线

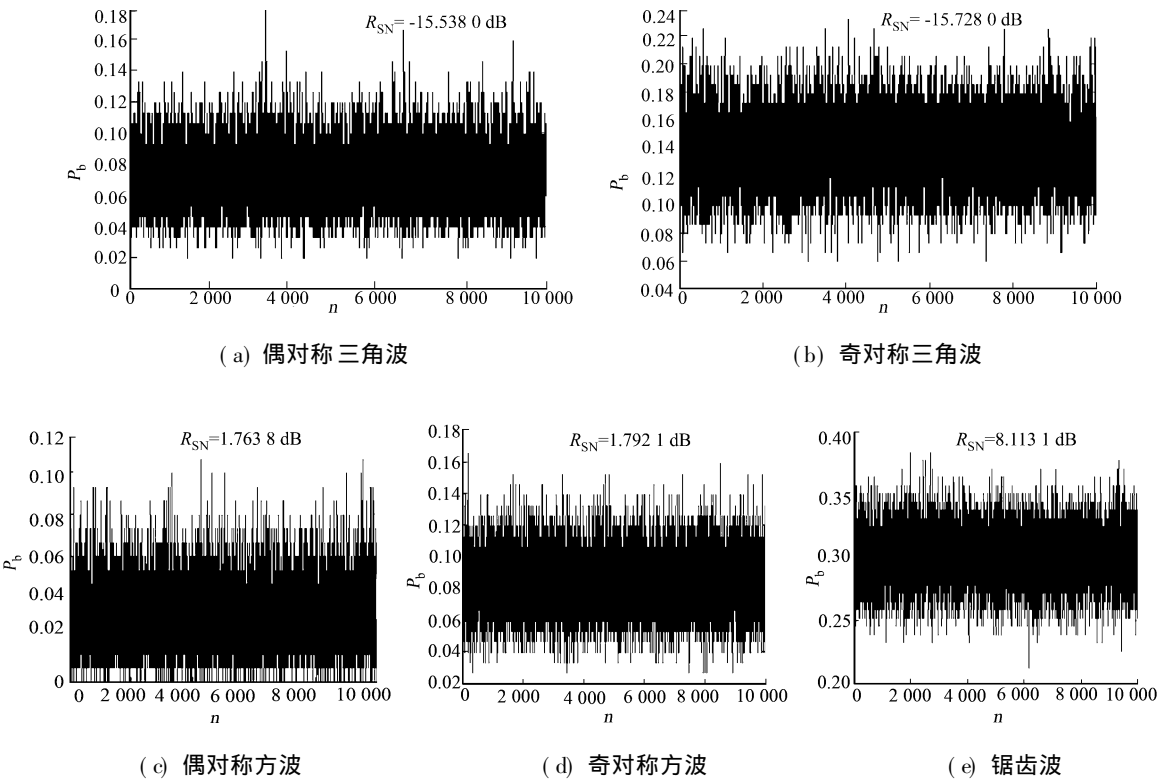


图 3 函数族解调系统的错误概率波动曲线

Fig. 3 The fluctuation of the error rate of the function set modem system

利用系统评估时的计算方法与结果,以 1 万次运算的平均值作为该信噪比情况下的错误概率,然后通过计算机编程,改变系统的信噪比,从而得到该系统的错误概率曲线.为了将 Möbius 数字基带通信系统与传统的调制解调系统系统进行比较,将图 1 中的 $\tilde{s}_{d,n}$ 信号和 $s_d(nt)$ 信号都换成传统的正弦函数信号,其频率为 10 kHz,且仿真条件和方法与 Möbius 系统的相同.在此条件下,画出传统系统的信噪比-错误概率曲线.在相同的仿真条件下,通过计算机编程所得到的 Möbius 数字基带通信系统与传统的通信系统的信噪比-错误概率曲线,如图 4 所示.图中,最上面的最粗曲线是传统通信系统的信噪比-错误概率曲线.

4 系统性能分析

由图 4 可以看到, Möbius 数字基带通信系统比传统的通信系统的抗噪性能要好得多.首先,在信噪比一定的条件下, Möbius 系统的错误概率要比传统的通信系统小很多,并且随着信噪比的增加能够很快逼近于零,其性能最优良的系统,已接近最佳系统的水平;其次,在错误概率一定的条件下, Möbius 系统所需的信噪比要远比传统的通信系统小.这意味着,同样的一条物理信道,在新系统中可以比传统系统同时传输较多的信号,可以几倍、十几倍地提高系统的性价比或降低系统的初始投资.

对于 Möbius 数字基带通信系统的明显优势,噪声信号都是随机的,而其与 Möbius 系统的解调波 $s_d(nt)$ 要完全正交是很困难的; $s_d(nt)$ 是数字信号,从傅里叶分析的观点看,其频谱有极其广泛的分量,在作相干解调时,各个频谱分量上的噪声也都会被解调出来,但由于噪声的随机性,其总的平均值会接近于零.因此,增加到信号上的噪声功率自然就小了,信噪比的提高当然就会大大提高新系统的性能.另外,新系统的调制波 $\tilde{s}_d(nt)$ 是由几个具有确定数量关系的频率分量构成的.在信号解调的构成中,信

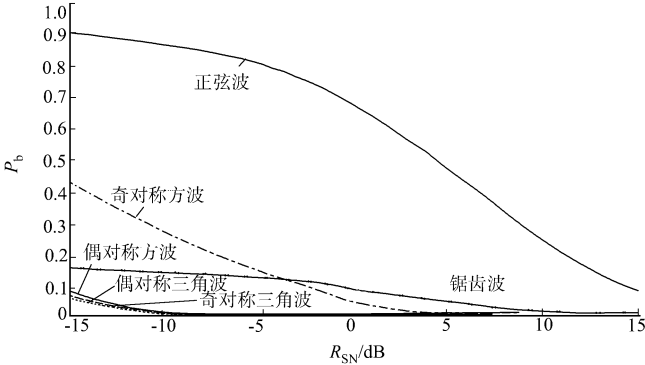


图 4 系统的错误概率曲线图

Fig. 4 The error rate in systems

号有集成相加的作用,而噪声由于其随机性,有可能有相互抵消,这也会增加系统的信噪比,但代价是要增加信号传输的带宽.如我们仿真中所选择的是 $n=10$,那么系统传输的最高频率就是信号取样频率的100倍,而实现调制时的频率只需是信号取样频率的10倍即可.这从理论上说,也可认为是另一种方式的扩频,从香农公式也可以看到它会提高信噪比,增强系统的性能,但对于在带宽资源相对紧张的通信系统中,其应用是有限制的.随着光纤通信技术的发展,相信这并不能成为该系统发展的瓶颈.在 Möbius 数字基带通信系统中,也存在着一定的不足,如 $\tilde{s}_{d,n}$ 信号是通过几个信号的叠加而产生的,在实际的电路中这个信号的产生可能比较麻烦.

在 Möbius 数字基带通信系统中,不同函数族的调制解调系统的性能也是有微小差别的.从我们的仿真分析可知,三角波函数族调制解调系统的性能最优,其次是方波函数族调制解调系统,而锯齿波函数族调制解调系统最差.

5 结束语

通过本文的分析可以看出,新型 Möbius 数字基带通信系统不仅是可行的,而且其性能比传统的通信系统的有很大的改善.应用新型系统,不仅可以大大增强系统的性能,而且可以降低系统的初始投资与提高系统的性价比.研究还发现,把 Möbius 系统应用于模拟通信中,其性能也有不同程度的提高.所以, Möbius 通信系统虽然只是一个新的起点,但它却预示着光明的应用前景.

参考文献:

- [1] CHEN Nan xian. Modified Möbius inverse formula and its applications in physics[J]. Phys Rev Lett, 1990, 64(11): 1193-1195.
- [2] WEI Yi chuan, CHEN Nan xian. Square wave analysis[J]. Math Phys, 1998, 39(8): 4226-4245.
- [3] JOHN M. Möbius and problems of inversion[J]. Nature, 1990, 344(29): 377.
- [4] SU Wu xun, ZHANG Wei bin, WANG Jia cheng. The evaluations of the inverse transform of eight often used waveforms by Möbius transform the inverse transform of their Fourier series[J]. Chinese Journal of Electronics, 2005, 14(3): 513-518.
- [5] WEI Teng xiong, SU Wu xun. The applications of the Möbius transforms of some often used waveforms in analog communication systems[J]. Chinese Journal of Electronics, 2005, 14(4): 666-670.
- [6] 张渭滨. 信号与线性系统[M]. 广州: 暨南大学出版社, 1998: 403-406.

Performance Simulation of Digital Base-Band Communication System by Möbius Transform

SU Wu-xun, CHEN Fang, ZHANG Wei-bin

(College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: Under certain ratio of signal to noise (S/N) and through the computer simulations and calculations, the performances in Möbius digital base band communication system of five often used modem function set, those are the even and odd symmetrical triangle wave, even and odd symmetrical square wave and saw-tooth wave and their inverse transforms, are simulated 10 000 times, and the fluctuation ranges of the error rate (P_b) are observed. The simulation results show that the system is completely feasible. The error rates in different ratio of signal to noise are calculated and the figures of error rate to signal to noise are plotted out. The figures of error rate to signal to noise show that the new type system of Möbius digital base band communication system has much more excellent performance than the traditional system and it can decrease the initial investment and increase the cost performance.

Keywords: Möbius transform; Möbius digital base band communication system; performance simulation; error rate

(责任编辑: 黄仲一)