

陈-Mobius 多信道模拟通信系统及其计算机仿真

李国刚, 苏武浔, 王燕琼

(华侨大学信息科学与工程学院, 福建厦门 362021)

摘要: 某些常用波形的陈-Mobius 变换的结果被应用于多信道模拟通信系统. 这些波形的陈-Mobius 逆变换及其本身这两类斜正交函数系统被作为调制、解调函数系统. 而后, 这种新相干调制解调通信系统的性能用 MATLAB 软件在计算机上进行仿真, 并与传统调制解调系统性能进行比较, 结论是新系统远为优越. 并对结果进行了讨论.

关键词: 陈-Mobius 变换; 陈-Mobius 相干调制解调系统; 陈-Mobius 多信道模拟通信系统; MATLAB 仿真

中图分类号: TN911.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2014)06-1234-04

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn>

DOI: 10.3969/j.issn.0372-2112.2014.06.031

The Chen-Mobius Multi-Carrier Analog Communication System and Its Simulations on Computer

LI Guo-gang, SU Wu-xun, WANG Yan-qiong

(College of Information Science & Engineering, Huaqiao University, Xiamen, Fujian 362021, China)

Abstract: The evaluation results of the Chen-Mobius transforms of some often-used waveforms are applied in the multi-carrier analog communication systems. In addition to traditional analog communication system, the new coherent modulation-demodulation systems by two classes of the oblique-orthogonal function set as the modulation and demodulation set are applied to multi-carrier analog communication systems. Then the new multi-carrier analog communication systems' performances are simulated by the MATLAB software on the computer and compared with the traditional system. The results are discussed.

Key words: Chen-Mobius transformation; Chen-Mobius coherent modulation-demodulation system; Chen-Mobius multi-carrier analog communication system; MATLAB simulation

1 引言

近年来,我国著名学者,中科院院士陈难先教授应用无穷级数形式的 Mobius 逆变换公式解决了一系列应用物理中的逆问题^[1~13],得到了《NATURE》杂志的高度评价^[14].

在陈难先教授的指导下,我们应用 Mobius 变换的方法,对八种常用数字波形的傅里叶级数进行了逆变换的计算^[15],并把这些结果应用于通信系统^[16].在这些工作的基础上,本文提出了我们对多路模拟通信系统的设计,并在计算机上应用 MATLAB 软件对其性能进行仿真,并与传统系统的性能进行比较.得出了新系统远为优越的结论.并对结果进行了讨论.

2 多信道模拟通信系统中的陈-Mobius 相干调制解调系统

陈-Mobius 多信道模拟通信系统的框图示于图 1.

在 A_n 处 ($n = 1, 2, \dots, N$; 对 A_n, B_n 而言, n 的取值是相同的,下面不再重复),系统必须实现如下功能:

$$f_n(t) \tilde{S}_{dn}(t) = F_n(t) \quad (1)$$

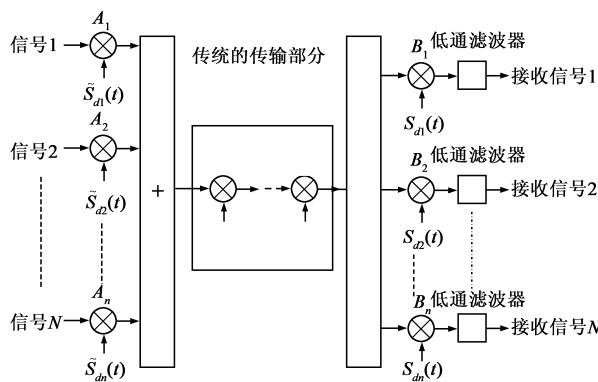


图1 应用陈-Mobius相干调制解调函数系的多信道模拟通信系统

在传统的传输部分之后, $F_n(t) + n(t)$ 到达 B_n 处. 在 B_n 处系统必须实现下述功能:

$$\int_0^T [F_n(t) + n(t)] S_d(nt) dt$$

$$= \int_0^T [f_n(t) \tilde{S}_{dn}(t) + n(t)] S_d(nt) dt$$

$$= f_n'(t) = f_n(t) + \epsilon_n(t) \tag{2}$$

然后,解调出的信息 $f_n'(t)$ 被送出; $\epsilon_n(t)$ 表示因噪声所引起的误差,而 $S_d(nt)$ 为前面工作^[15]所计算的 6 个波形之一, $\tilde{S}_{dn}(t)$ 为与 $S_d(nt)$ 正交的函数波形^[15].

3 陈-Mobius 多信道模拟通信系统仿真

3.1 新型调制解调系统的仿真结果

为了研究新系统的性能,我们在电脑上对其进行运行仿真.应用 MATLAB 软件仿真的系统如图 2 所示.为节省篇幅,我们只给出 8 信道系统的仿真结果.输入的 8 个信号是:

- (1) $\sin(2\pi * 1200 * t) + 0.5 * \sin(2\pi * 700 * t)$,
- (2) $\sin(2\pi * 2200 * t) + 0.8 * \sin(2\pi * 1700 * t)$,
- (3) $\sin(2\pi * 3200 * t) + 1.5 * \sin(2\pi * 2700 * t)$,
- (4) $\sin(2\pi * 4200 * t) + 1.8 * \sin(2\pi * 3700 * t)$,
- (5) $\sin(2\pi * 1700 * t) + 0.6 * \sin(2\pi * 1200 * t)$,
- (6) $\sin(2\pi * 2700 * t) + \sin(2\pi * 2200 * t)$,
- (7) $\sin(2\pi * 3700 * t) + 1.6 * \sin(2\pi * 3200 * t)$,
- (8) $\sin(2\pi * 4700 * t) + 2 * \sin(2\pi * 4200 * t)$;

每个信号的功率分别是: $P_1 = 0.6250, P_2 = 0.8200,$

$P_3 = 1.6250, P_4 = 2.1200, P_5 = 0.6800, P_6 = 1.0000, P_7 = 1.7800, P_8 = 2.5000$;总和是 11.15. 调制函数是偶对称三角波的第五阶陈-Mobius 逆变换函数.

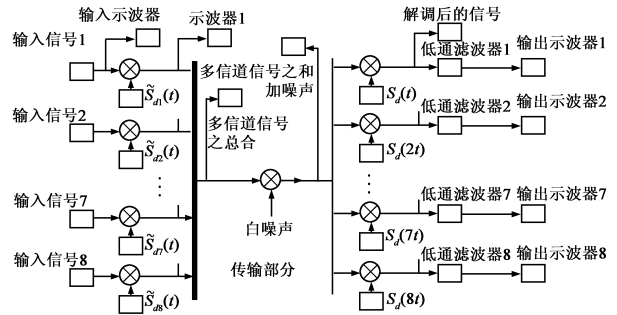


图2 实际陈-Mobius多信道系统的仿真框图

为了模拟不同信噪比(S/N)的情况,我们应用了三种不同的噪声功率来模拟它们.他们分别是 1.0166, 10.166 和 30.4982;我们依次给出结果,为了节省篇幅,我们删去仿真波形,只用表格来给出所有的仿真结果.

陈-Mobius 多信道系统在不同噪声功率下的仿真结果列于表 1.

3.2 传统调制解调系统的仿真结果

传统余弦函数调制波形的最高频率与上述的陈-Mobius 逆变换函数的最高频率是相同的;噪声功率与信噪比也与传统系统是一样的;不同信道的信号与不同噪声功率下的仿真结果列于表 2.

表 1 陈-Mobius 多信道系统在不同噪声情形下的仿真结果

| | 噪声功率 | | | | | | | | |
|------|---------|--------|-------|---------|--------|-------|---------|--------|-------|
| | 1.0166 | | | 10.1661 | | | 30.4982 | | |
| | S/N(dB) | MSE | MSE/S | S/N(dB) | MSE | MSE/S | S/N(dB) | MSE | MSE/S |
| 信号 1 | -12.66 | 0.0024 | 0.38% | -15.20 | 0.0048 | 0.77% | -18.17 | 0.0063 | 1.01% |
| 信号 2 | -11.41 | 0.0161 | 1.96% | -13.98 | 0.0180 | 2.20% | -16.97 | 0.0209 | 2.55% |
| 信号 3 | -8.12 | 0.0037 | 0.22% | -10.83 | 0.0056 | 0.35% | -13.91 | 0.0175 | 1.08% |
| 信号 4 | -6.76 | 0.0160 | 0.76% | -9.57 | 0.0334 | 1.57% | -12.71 | 0.0551 | 2.60% |
| 信号 5 | -12.28 | 0.0025 | 0.37% | -14.82 | 0.0024 | 0.36% | -17.80 | 0.0023 | 0.35% |
| 信号 6 | -10.48 | 0.0089 | 0.89% | -13.08 | 0.0137 | 1.37% | -16.09 | 0.0198 | 1.98% |
| 信号 7 | -7.66 | 0.0179 | 1.00% | -10.40 | 0.0318 | 1.79% | -13.50 | 0.0449 | 2.52% |
| 信号 8 | -5.87 | 0.0401 | 1.61% | -8.77 | 0.0555 | 2.22% | -11.95 | 0.0741 | 2.96% |

3.3 两个通信系统性能仿真结果的比较

我们把两个通信系统性能仿真结果的比较列于表 3 中.从表 3,我们可以得出下述的结论.

(1)在同样的条件下(调制、解调频率;噪声功率;信噪比 S/N),传统系统的失真远高于陈-Mobius 系统的.

(2)在上述同样条件下,陈-Mobius 系统的 MSE/S (即均方差对信号功率的比值)是小于传统系统的;特别是在噪声远高于信号功率, S/N 很小的场合,更是如此.这意味着,陈-Mobius 系统具有强得多的抗强噪声的能力.

表 2 传统系统在不同噪声情形下的仿真结果

| | 噪声功率 | | | | | | | | |
|------|---------|--------|-------|---------|--------|-------|---------|--------|--------|
| | 1.0166 | | | 10.1661 | | | 30.4982 | | |
| | S/N(dB) | MSE | MSE/S | S/N(dB) | MSE | MSE/S | S/N(dB) | MSE | MSE/S |
| 信号 1 | -12.66 | 0.0164 | 2.62% | -15.20 | 0.0140 | 2.24% | -18.17 | 0.0154 | 2.46% |
| 信号 2 | -11.41 | 0.0228 | 2.78% | -13.98 | 0.0275 | 3.36% | -16.97 | 0.0310 | 3.78% |
| 信号 3 | -8.12 | 0.0328 | 2.02% | -10.83 | 0.0498 | 3.06% | -13.91 | 0.0616 | 3.79% |
| 信号 4 | -6.76 | 0.0458 | 2.16% | -9.57 | 0.0743 | 3.51% | -12.71 | 0.1005 | 4.74% |
| 信号 5 | -12.28 | 0.0024 | 0.35% | -14.82 | 0.0044 | 0.65% | -17.80 | 0.0053 | 0.77% |
| 信号 6 | -10.48 | 0.0164 | 1.64% | -13.08 | 0.0256 | 2.56% | -16.09 | 0.0325 | 3.25% |
| 信号 7 | -7.66 | 0.0355 | 2.00% | -10.40 | 0.0575 | 3.23% | -13.50 | 0.0726 | 4.08% |
| 信号 8 | -5.87 | 0.2119 | 8.48% | -8.77 | 0.2435 | 9.74% | -11.95 | 0.2648 | 10.59% |

表 3 两个通信系统性能仿真结果的比较

| | | 噪声功率 | | | | | | | | |
|------|--------|---------|--------|-------|---------|--------|-------|---------|--------|--------|
| | | 1.0166 | | | 10.1661 | | | 30.4982 | | |
| | | S/N(dB) | MSE | MSE/S | S/N(dB) | MSE | MSE/S | S/N(dB) | MSE | MSE/S |
| 信号 1 | 陈-M 系统 | -12.66 | 0.0024 | 0.38% | -15.20 | 0.0048 | 0.77% | -18.17 | 0.0063 | 1.01% |
| | 传统系统 | -12.66 | 0.0164 | 2.62% | -15.20 | 0.0140 | 2.24% | -18.17 | 0.0154 | 2.46% |
| 信号 2 | 陈-M 系统 | -11.41 | 0.0161 | 1.96% | -13.98 | 0.0180 | 2.20% | -16.97 | 0.0209 | 2.55% |
| | 传统系统 | -11.41 | 0.0228 | 2.78% | -13.98 | 0.0275 | 3.36% | -16.97 | 0.0310 | 3.78% |
| 信号 3 | 陈-M 系统 | -8.12 | 0.0037 | 0.22% | -10.83 | 0.0056 | 0.35% | -13.91 | 0.0175 | 1.08% |
| | 传统系统 | -8.12 | 0.0328 | 2.02% | -10.83 | 0.0498 | 3.06% | -13.91 | 0.0616 | 3.79% |
| 信号 4 | 陈-M 系统 | -6.76 | 0.0160 | 0.76% | -9.57 | 0.0334 | 1.57% | -12.71 | 0.0551 | 2.60% |
| | 传统系统 | -6.76 | 0.0458 | 2.16% | -9.57 | 0.0743 | 3.51% | -12.71 | 0.1005 | 4.74% |
| 信号 5 | 陈-M 系统 | -12.28 | 0.0025 | 0.37% | -14.82 | 0.0024 | 0.36% | -17.80 | 0.0023 | 0.35% |
| | 传统系统 | -12.28 | 0.0024 | 0.35% | -14.82 | 0.0044 | 0.65% | -17.80 | 0.0053 | 0.77% |
| 信号 6 | 陈-M 系统 | -10.48 | 0.0089 | 0.89% | -13.08 | 0.0137 | 1.37% | -16.09 | 0.0198 | 1.98% |
| | 传统系统 | -10.48 | 0.0164 | 1.64% | -13.08 | 0.0256 | 2.56% | -16.09 | 0.0325 | 3.25% |
| 信号 7 | 陈-M 系统 | -7.66 | 0.0179 | 1.00% | -10.40 | 0.0318 | 1.79% | -13.50 | 0.0449 | 2.52% |
| | 传统系统 | -7.66 | 0.0355 | 2.00% | -10.40 | 0.0575 | 3.23% | -13.50 | 0.0726 | 4.08% |
| 信号 8 | 陈-M 系统 | -5.87 | 0.0401 | 1.61% | -8.77 | 0.0555 | 2.22% | -11.95 | 0.0741 | 2.96% |
| | 传统系统 | -5.87 | 0.2119 | 8.48% | -8.77 | 0.2435 | 9.74% | -11.95 | 0.2648 | 10.59% |

4 结论与讨论

在上述的仿真过程中,为了仿真实际的多信道通信系统,我们直接把多个调制信号(其中只简单应用了陈-Mobius 相干调制解调系统)与噪声直接叠加在一起,送往接收端;而每一个信号都能被正确地与噪声与其他信号中解调出来,MSE/S(均方差对信号功率)的比值是非常小的($< 3\%$);而对于一个确定的信号载波而言,其他的信号载波也是噪声;因此,所得结果说明,陈-Mobius 相干调制解调系统具有对抗强噪声的卓越能力,是一个高保真的通信系统.对于更多信道的通信系统,可以把信道分组,每组 8~12 个信道,按组分别应用不同频率或正交函数族的陈-Mobius 相干调制解调系统,就可以在得到高性能通信系统的同时,降低系统的投资与运营成本.

对于陈-Mobius 相干调制解调系统具有优越性能的原因,初步讨论如下.

首先,对于传统的调制解调系统,调制、解调函数集是相同的.正弦、余弦函数和 1 构成了一个完全正交集.这意味着,当信号与噪声一起在接收端被解调时,噪声中与解调波频率相同的分量,肯定也会与信号一起被解调出来而造成信号的失真.这使得传统系统的性能变差.

而对于陈-Mobius 相干调制解调系统,虽然调制、解调函数集是相互正交的;但在每个函数族内部,却是斜正交的.而噪声都是随机的信号,它们是不可能与陈-Mobius 相干调制解调系统的解调函数族相正交的;而且,新系统的解调函数族都是数字信号,在傅里叶分析中,它们的频谱是非常宽广的,因此,噪声中能够被解调出来的分量频谱与此是相同的,所以,解调出来的噪声的平均值是趋近于零的,噪声功率也是趋近于零的.所以,陈-Mobius 相干调制解调系统会有优越得多的性能.

另外一个因素可能是这样的:调制函数具有某些确定的分量,信号调制在它们上面,在解调时,就会有集合与叠加效应;但是对于噪声,在这些频率分量上的解调波却有可能相互消弱或抵消;所以新系统具有较好的信噪比 S/N . 这个因素的代价是扩展了传输的带宽. 例如,在我们的仿真中,选择了第 5 阶逆变换波形作为调制波形;这意味着调制波的最高频率至少是信号频率的 50 倍. 但是对于正常的调制,调制波频率最高只须是信号频率的 10 倍. 这就是扩宽频带的另一种方式. 由著名的香农公式,较宽的传输频带对应着较低的信噪比 S/N (在一定的信道容量条件下). 但在我们上述的性能比较表中,这个因素对两个系统是相同的:最高的调制频率是一样的. 所以两个系统性能差别的主要原因是前述的两个因素.

对陈-Mobius 相干调制解调系统与传统调制解调系统性能仿真的结果比较表明:陈-Mobius 相干调制解调多信道模拟通信系统具有优越得多的性能,能够被应用在广泛的领域,特别是在保密通信系统中.

致谢 我们深切感谢中国科学院院士,清华大学陈难先教授对我们的指导与深入有益的讨论!

参考文献

- [1] Chen N X. Modified Mobius inverse formula and its applications in physics[J]. *Phys Rev Lett*, 1990, 64(11): 1193 – 1195.
- [2] Chen N X, Li GY. Theoretical investigation on the inverse black-body radiation problem [J]. *IEEE T Antenn Propag*, 1990, 38(8): 1287 – 1290.
- [3] Rosu H. Mobius inverse problem for distorted black holes[J]. *II Nuovo Cimento B*, 1993, 108(12): 1333 – 1339.
- [4] Xie T L, Goldsmith P F, Zhou W M. A new method for analyzing IRAS data to determine the dust temperature distribution [J]. *Astrophysical Journal*, 1991, 371: L81 – L84.
- [5] Wang J M, Zhou Y Y. Temperature distribution of accretion disks in active galactic nuclei [J]. *Astrophysical Journal*, 1996,

469(2): 564 – 571.

- [6] Chen N X, Zhang C F, Zhou M, et al. Closed – form solution for inverse problems of Fermi systems [J]. *Physical Review E*, 1993, 48(2): 1558 – 1561.
- [7] Chen N X, Chen Z D, Wei Y C. Multidimensional inverse lattice problem and a uniformly sampled arithmetic Fourier transform [J]. *Physical Review E*, 1997, 55(1): R5 – R8.
- [8] Ge X J, Chen N X, Zhang W Q, et al. Selective field evaporation in field-ion microscopy for ordered alloys [J]. *Journal of Applied Physics*, 1999, 85(7): 3488 – 3493.
- [9] Chen N X, Shen J, Su X P. Theoretical study on the phase stability, site preference, and lattice parameters for $Gd(Fe, T)_{12}$ [J]. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 2001, 13(11): 2727 – 2736.
- [10] Zhang S, Chen N X. Determination of the B1-B2 transition path in RbCl by Mobius pair potentials [J]. *Philosophical Magazine*, 2003, 83(12): 1451 – 1461.
- [11] Zhang S, Chen N X. Ab initio interionic potentials for NaCl by multiple lattice inversion [J]. *Physical Review B*, 2002, 66(6): 064106 1 – 10.
- [12] Wei Y C, Chen N X. Square wave analysis [J]. *J Math Phys*, 1998, 39(8): 4226 – 4245.
- [13] 陈难先, 刘刚. Fermi 体系逆问题的一种新解法 [J]. *自然科学进展*, 2003, 13(5): 473 – 477.
Chen Nanxian, Liu Gang. A new solution for inverse problems of Fermi systems [J]. *Progress in Natural Science*, 2003, 13(5): 473 – 477. (in Chinese)
- [14] John Maddox. Mobius and problems of inversion [J]. *Nature*, 1990, 344(6265): 377.
- [15] Su Wuxun, et al. The evaluations of the inverse transform of eight often-used waveforms by Mobius transform—the inverse transform of their Fourier series [J]. *Chinese Journal of Electronics*, 2005, 14(3): 513 – 518.
- [16] Wei Tengxiong, et al. The applications of the Mobius transforms of some often-used waveforms in analog communication systems [J]. *Chinese Journal of Electronics*, 2005, 14(4): 666 – 670.

作者简介



李国刚 男, 1973 年 12 月出生, 福建邵武人. 1995 年、2003 年分别在东南大学、福州大学和厦门大学获工学学士、工学硕士学位和工学博士学位. 现为国立华侨大学信息学院副教授. 主要从事信息安全及其应用, 电路与系统设计等方面的研究工作.

E-mail: lgg@hqu.edu.cn



苏武浔 男, 1947 年 1 月生; 福建泉州人. 1970 年毕业于南开大学物理系; 1983 年毕业于内蒙古大学理论物理专业, 获得理学硕士学位. 1984 年进入国立华侨大学工作, 现为国立华侨大学信息学院教授; 主要从事信息处理, 信息编码与陈-Mobius 新型通信系统的研究工作.

E-mail: suwuxun6789@vip.163.com