

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.04.012

引用格式:周兴建,张剑,卢建川.一种四进制连续相位调制新方法[J].电讯技术,2014,54(4):442-446.[ZHOU Xing-jian, ZHANG Jian, LU Jian-chuan. A New Method of Quad-system Continuous Phase Modulation[J]. Telecommunication Engineering, 2014, 54(4):442-445.]

一种四进制连续相位调制新方法*

周兴建**, 张 剑, 卢建川

(中国西南电子技术研究所, 成都 610036)

摘 要:为简化连续相位调制信号的相干解调,提出了一种四进制连续相位调制方法。在发送端,信号调制器根据发送的前后两组比特信息从一个预先设计的基带信号集合中选择对应的基带信号作为调制信号。该调制方法使信息码元由基带信号某一时刻的绝对相位值表示,当完成相位和载波同步后,在接收端其接收处理和传统 QPSK 信号一致,可以直接使用 IQ 路的采样值解调信息比特。仿真表明,调制信号的相干解调误比特性能与 QPSK 信号的相干解调相同。由于调制信号具有准恒包络和连续相位的特点,更适合应用于使用非线性功放的功率受限通信系统中。

关键词:功率受限通信系统;直接序列扩频;连续相位调制;准恒包络;相干解调

中图分类号:TN911.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2014)04-0442-04

A New Method of Quad-system Continuous Phase Modulation

ZHOU Xing-jian, ZHANG Jian, LU Jian-chuan

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract: This paper proposes a method of quad-system continuous phase modulation (CPM) to simplify the coherent CPM receiver. Transmitter chooses the sending signal from a baseband signal set based on the consecutive information bits, which makes the information be carried by the received signal phase at a certain time. At the receiver, a coherent linear receiver can be applied as that of quadrature phase shift keying (QPSK). The simulation demonstrates that the proposed method achieves the same bit error rate (BER) performance as that of QPSK. The CPM's properties of quasi constant envelope and the high spectrum efficiency make it suit for application in nonlinear and power limited environments.

Key words: power limited communication system; direct sequence spread spectrum; continuous phase modulation; quasi constant envelope; coherent demodulation

1 引 言

连续相位调制(CPM)信号具有包络恒定、功率谱密度集中的特性,在载波频率较高时可以采用高功率非线性放大器发送信号,是一种高功率效率、高频谱效率的信号调制方式,在无线通信领域中得到了广泛的应用。T. Aulin 等人的文献首先系统地全面地分析了连续相位调制方法^[1-2],奠定了 CPM 的研究基础。此后,根据信号的不同形式提出了各种不

同的 CPM 信号,分别有 MSK、CPFSK^[3]、SOQPSK^[4]、FQPSK^[5]等。连续相位调制信号的接收可以采用非相干和相干两种处理方法,在某些突发通信或信道快速变化情况下,解调时间非常有限,载波相位无法快速同步时,一般采用复杂度较低的非相干解调技术^[6-7],可以实现系统的简化和对突发信号的及时处理,但非相干解调一般比相干解调的解调性能恶化 2~3 dB。对于链路预算紧张的通信系统,相

* 收稿日期:2013-11-14;修回日期:2014-02-26 Received date:2013-11-14;Revised date:2014-02-26

** 通讯作者:zxjzjy@163.com Corresponding author:zxjzjy@163.com

干解调更有优势。传统连续相位信号的接收常根据其相位记忆性的特点采用最大似然的维特比算法计算,该方法的缺点在于接收端的复杂度随着系统状态数的增加呈指数增长。为了简化接收处理,文献[8]中提出采用基于 Walsh 映射的简化接收方法,通过把接收到的信号映射到较小的空间来减少系统状态,实现接收的简化。文献[9]针对 SQPSK 基带信号的分集规律,合并相关通道数,提出了基于平均波形相关器的简化接收机。文献[10]针对 FQPSK 连续相位调制信号,提出了与文献[9]相似的简化处理方法。文献[11-12]提出了一种预先编码与 4D 网格编码相结合的 CPM 调制方法,接收端可以使用相干线性接收器解调信号。上述文献提到的连续相位调制方法一般都需要进行编码预处理,通过前后比特信息的关联,实现信息比特到调制符号的映射,解码中对这种关联进行了逆向追溯,实现比较复杂,并且不容易和扩频系统直接结合。

本文提出了一种四进制连续相位调制方法。该方法借鉴了文献[7]的信号调制方式,设计了一种新的比特信息与基带信号的映射方法,使信息码元由基带信号某时刻的绝对相位值表示,当完成相位和载波同步后,在接收端其接收处理和传统 QPSK 信号一致,可以直接使用 IQ 路的采样值解调信息比特。计算机仿真表明,该调制信号的相干解调误比特性能与 QPSK 相当,其扩频处理方式及所取得的扩频增益也与 QPSK 一致,但由于连续相位信号具有相位连续和准恒包络的特点,更适合应用于功率、频谱效率要求高的通信系统中。

2 四进制连续相位信号调制

四进制连续相位调制系统如图 1 所示,发送的信息比特流 d 为随机的 $[1,0]$ 序列,每个调制符号携带 2 b 发送信息。调制过程中,基带信号由信号选择逻辑根据当前输入比特信息和前一组输入比特信息在基带信号集合中选择一个基带信号作为调制信号输出。

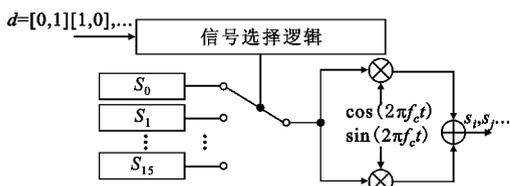


图 1 四进制连续相位信号调制框图

Fig. 1 Quad-system continuous phase modulation

由于每个调制符号输入 2 b 信息,而基带信号

的选择不仅由当前输入比特信息决定,还与前一组输入比特信息有关,基带信号集合设计了 16 种基本调制信号对应所有 16 种可能输入。基带信号集合中的信号可以表示如下:

$$s_0 = \frac{1}{\sqrt{2}}(1+j) \quad (1)$$

$$s_1 = \frac{1}{\sqrt{2}}\sin\left(\frac{\pi t}{T_s}\right) + j\left(\frac{1}{\sqrt{2}} + \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right)\cos^2\left(\frac{\pi t}{T_s}\right)\right) \quad (2)$$

$$s_2 = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} + \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right)\cos^2\left(\frac{\pi t}{T_s}\right)\right) - j\frac{1}{\sqrt{2}}\sin\left(\frac{\pi t}{T_s}\right) \quad (3)$$

$$s_3 = e^{j\left(\frac{\pi t}{T_s} + \frac{3\pi}{4}\right)} \quad (4)$$

$$s_4 = s_0 e^{j\frac{\pi}{2}}, s_5 = s_1 e^{j\frac{\pi}{2}}, s_6 = s_2 e^{j\frac{\pi}{2}}, s_7 = s_3 e^{j\frac{\pi}{2}}, s_8 = -s_0,$$

$$s_9 = -s_1, s_{10} = -s_2, s_{11} = -s_3, s_{12} = s_0 e^{-j\frac{\pi}{2}}, s_{13} = s_1 e^{-j\frac{\pi}{2}}, s_{14} =$$

$$s_2 e^{-j\frac{\pi}{2}}, s_{15} = s_3 e^{-j\frac{\pi}{2}}, \text{其中 } -\frac{T_s}{2} \leq t \leq \frac{T_s}{2}, \frac{T_s}{2} \text{ 为一个调制符号的持续时间。}$$

对于图 1 中的输入序列,初始值设置为 $[d_1, d_0] = [0, 0]$,当前输入比特记为 $[d_{n+3}, d_{n+2}]$,前一个组输入比特记为 $[d_{n+1}, d_n]$,则基带信号 S_i 由下式选择:

$$i = p_3 \times 8 + p_2 \times 4 + p_1 \times 2 + p_0 \quad (5)$$

其中

$$p_3 = \bar{d}_n \quad (6)$$

$$p_2 = d_{n+1} \odot d_n \quad (7)$$

$$p_1 = (\bar{d}_{n+3} \cap d_{n+1} \cap \bar{d}_n) \cup (d_{n+2} \cap \bar{d}_{n+1} \cap \bar{d}_n) \cup (\bar{d}_{n+2} \cap d_{n+1} \cap d_n) \cup (d_{n+3} \cap \bar{d}_{n+1} \cap d_n) \quad (8)$$

$$p_0 = (\bar{d}_{n+3} \cap d_{n+1} \cap d_n) \cup (d_{n+2} \cap d_{n+1} \cap \bar{d}_n) \cup (\bar{d}_{n+2} \cap \bar{d}_{n+1} \cap d_n) \cup (d_{n+3} \cap \bar{d}_{n+1} \cap \bar{d}_n) \quad (9)$$

其中, \cap 为与运算, \cup 为或运算, \odot 为异或运算。

3 连续相位信号的解调

在接收端,对接收到的信号作下变频处理,通过低通滤波器选取发送信号,得到的基带信号按图 2 所示流程进行信号解调。由于本文提出的连续相位调制信号在载波和初相恢复后,调制信息比特对应于一个调制符号中的某一位置的绝对相位值,因此信号的解调处理可以直接提取 I、Q 通路的采样点幅度值为解调信息。



图 2 基带解调器框图

Fig. 2 Demodulation of baseband signal

由于 A/D 采样的不确定性,当采样率小于 8 倍符号速率时,采样起始位置的偏移将影响信号的解调性能。因此当采样率较低时,需要对 A/D 采样后的基带 IQ 信号分别进行插值处理,插值处理方法可以选择文献[13]提出的算法。

4 性能仿真分析

在加性高斯信道条件下对本文提出的四进制连续相位调制方案进行了仿真分析。在理想采样下,图 3 比较 QPSK、连续相位信号及连续相位信号串联信道编码的误比特性能,其中连续相位信号串联的信道编码为 TPC(32,26)码。由图 3 的仿真分析可以看出,在理想采样条件下,本文提出的连续相位调制信号无编码误比特性能和 QPSK 没有明显差异。在误比特率为 10^{-5} 时,未编码时所需的 E_b/N_0 约为 9.5 dB,采用串联 TPC(32,26)码后对应的 E_b/N_0 为 3.5 dB,实现的编码增益约为 6 dB。对于本文提出的连续相位调制方法,当对发送比特信息进行扩频处理时,仅对发送比特在输入调制器前用扩频序列对每比特信息进行扩频处理,而接收端串联扩频后再信号解调实现对发送比特信息的恢复。对采用不同扩频序列长度的收发系统仿真表明,当扩频序列长度小于 32 时,系统的误比特性能在各个 E_b/N_0 下没有明显差异。

度波动仅为 0.04 dB,射频功放可以工作在线性饱和区域,和线性功放相比至少有 3 dB 的优势。

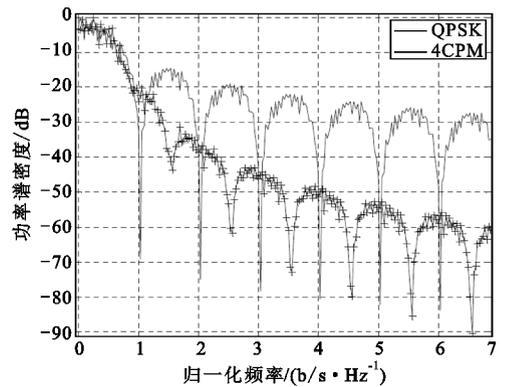


图 4 基于连续相位调制的功率谱密度性能
Fig. 4 PSD performance of proposed CPM

图 5 考察了采样不确定性对信号解调性能的影响。图中的仿真结果表明,采样偏移对信号的解调性能有明显影响,当采样位置偏移理想采样点 1/4 个符号时,信号解调性能随 E_b/N_0 增加改善很小,基本无法使用;当采样位置偏移理想采样点 1/8 个符号,在误比特率为 10^{-2} 时,与理想采样位置下性能相比 E_b/N_0 下降约 2 dB;当对接收信号进行 4 倍采样并 4 倍插值后再解调,在位同步准确时,信号解调的误比特性能与理想采样位置下性能基本一致。

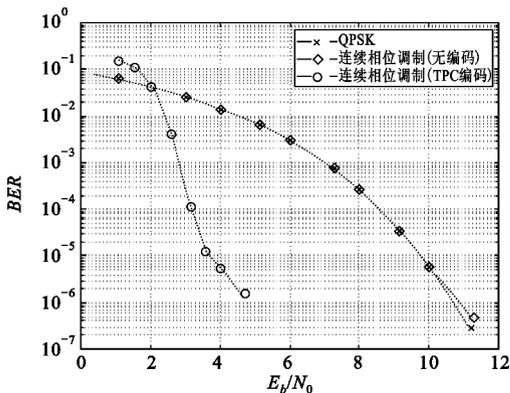


图 3 连续相位调制信号的 BER 性能
Fig. 3 BER performance of proposed CPM

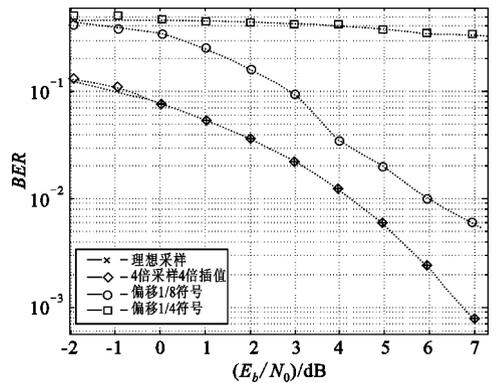


图 5 采样偏差下的 BER 性能
Fig. 5 BER performance of proposed CPM with sampling error

图 4 比较了四进制连续相位调制信号和 QPSK 调制信号的功率谱密度。连续相位调制信号的功率谱密度主瓣与 QPSK 基本一致,但副瓣滚降很快。当以信号 99% 的能量来定义信号的有效带宽时,连续相位调制信号的归一化带宽约为 0.9,而 QPSK 约为 5.6。因此在相同的带宽上,连续相位调制有较高的频谱利用率。连续相位调制信号在时域上的幅

5 结论

四进制连续相位调制信号在一个符号中传输两比特信息,与 QPSK 调制效率相同,但比 QPSK 调制方法有更高的频谱利用率和功率利用率。传统的连续相位信号调制一般都与网格编码相关,信号解调时需要多路并行相关器,运算比较复杂,限制了在宽

带高速通信中的应用。本文提出的四进制连续相位调制方法通过设计比特信息与特定基带信号的映射方法,使信息码元由基带信号某一时刻的绝对相位值表示,在接收端可以直接使用 IQ 路的采样值解调信息比特,简化了连续相位信号的收发处理。仿真表明该方法下的信号相干解调误比特性能与 QPSK 一致,扩频系统的实现与扩频增益性能也与 QPSK 相同,适合应用于功率、频谱效率要求高的宽带通信系统中。在频谱利用率方面,与部分 SOQPSK 调制、FQPSK 调制还有一定差距,需要在信号集中进行优化设计,使信号频谱在边界有更陡的下降,这应是下一步研究的方向。

参考文献:

- [1] Aulin T, Sundberg C. Continuous phase modulation—Part I: full response signaling[J]. IEEE Transactions on Communications, 1981, 29(3): 196-209.
- [2] Aulin T, Rydbeck N, Sundberg C. Continuous phase modulation—Part II: partial response signaling[J]. IEEE Transactions on Communications, 1981, 29(3): 210-225.
- [3] Pelchat M G, Davis R C, Luntz M B. Coherent demodulation of continuous phase binary FSK signals[C]//Proceedings of 1971 International Telemetry Conference. Washington, DC: IEEE, 1971: 181-190.
- [4] Anderson J B, Aulin T, Sundberg C E. Digital phase modulation[M]. New York: Plenum Press, 1986.
- [5] Leung P, Feher K. F-QPSK: a superior modulation technique for mobile and personal communications[J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 1993, 39(2): 288-294.
- [6] Colavolpe G, Raheli R. Non-coherent sequence detection of CPM[J]. IEEE Electronics Letters, 1998, 34(3): 259-261.
- [7] 张剑. 符号内连续相位差分相移键控调制方法[J]. 电讯技术, 2010, 50(8): 63-66.
ZHANG Jian. Inner symbol continuous phase differential phase shift keying (ISCP-DPSK) modulation[J]. Telecommunication Engineering, 2010, 50(8): 63-66. (in Chinese)
- [8] Tang Wei-yi, Shwedyk E. A quasi-optimum receiver for continuous phase modulation[J]. IEEE Transactions on Communications, 2000, 48(7): 1087-1090.
- [9] 郭兴波, 杨知行, 潘长勇. MA-SOQPSK 的最大似然接收机和简化接收机[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2006, 46(4): 523-526.
GUO Xing-bo, YANG Zhi-hang, PAN Chang-yong.

Viterbi detector and simplified detector for MA-SOQPSK [J]. Journal of Tsinghua University (Natural Science Edition), 2006, 46(4): 523-526. (in Chinese)

- [10] Simon M K, Divsalar D. A reduced complexity highly power/bandwidth efficient coded FQPSK system with iterative decoding[C]//Proceedings of 2001 IEEE International Conference on Communications. Helsinki: IEEE, 2001: 2963-2969.
- [11] 陈颖, 张波, 杨剑锋. 新的四进制 CPM 调制方案[J]. 电子科技大学学报, 2008, 37(4): 497-499, 507.
CHEN Ying, ZHANG Bo, YANG Jian-feng. New multilevel continuous phase modulation scheme[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2008, 37(4): 497-499, 507. (in Chinese)
- [12] Sari H, Karam G, Paval V, et al. Trellis-coded constant-envelope modulations with linear receivers[J]. IEEE Transactions on Communications, 1996, 44(10): 1298-1307.
- [13] Pun C, Wu Y-C, Chan S-C, et al. On the design and efficient implementation of the Farrow structure[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2003, 10(7): 189-192.

作者简介:



周兴建(1970—),男,四川广安人,1994年于西安电子科技大学获学士学位,现为高级工程师,主要研究方向为无线通信技术;

ZHOU Xing-jian was born in Guang'an, Sichuan Province, in 1970. He received the B. S. degree from Xidian University in 1994. He is now a senior engineer. His research concerns wireless communications.

Email: zxjzjy@163.com

张剑(1977—),男,四川眉山人,2008年于电子科技大学获信号与信息处理专业博士学位,现为高级工程师,主要研究方向为无线通信技术及其信号处理;

ZHANG Jian was born in Meishan, Sichuan Province, in 1977. He received the Ph. D. degree in Signal and Information Processing from University of Electronic Science and Technology of China in 2008. He is now a senior engineer. His research interests include signal processing and wireless communications.

卢建川(1964—),男,重庆人,1989年于南京航空航天大学获通信与信息系统专业硕士学位,现为研究员,主要研究方向为无线通信技术。

LU Jian-chuan was born in Chongqing, in 1964. He received the M. S. degree from Nanjing University of Aeronautics and Astronautics in 1989. He is now a senior engineer of professor. His research concerns wireless communications.