

WCDMA系统中基于查找表的预失真技术的研究

杨小力, 石江宏, 吴晓芳

(厦门大学 信息科学与技术学院, 福建 厦门 361005)

摘要:在无线通信系统中,高功率放大器因其非线性,导致AM/PM效应使得微分相位、微分增益和互调失真变坏。高质量的通信系统设计应尽可能减小功率放大器的AM/PM效应。因此,针对宽带码分多址(WCDMA)功放的非线性失真问题,采用一种基于查找表(LUT)的自适应预失真方法,改善功放的非线性失真。仿真表明,该方法能有效补偿放大器产生的AM-AM、AM-PM失真,并将功放的邻道功率泄漏比(ACPR)改善到30 dB左右。

关键词:线性化; 查找表; 预失真; 自适应

中图分类号: TN919.72

文献标识码: A

文章编号: 1674-6236(2010)03-0096-03

Research of predistortion technique based on LUT in WCDMA systems

YANG Xiao-li, SHI Jiang-hong, WU Xiao-fang

(School of Information Science and Technology, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract:In wireless communication systems, the nonlinearity of high power amplifier (HPA) always cause AM/PM effect. The existence of AM/PM effect makes differential gain, differential phase and intermodulation distortion become worse. Therefore, linearization technique is needed to suppress the AM/PM effects. In this paper, a LUT based predistortion method is used to deal with the distortion of WCDMA power amplifier. Simulation shows that this method can effectively adjustment of the AM-AM and AM-PM curves, and the ACPR can be improved by 30dB.

Key words:linearization; LUT; predistortion; self-adaptation

随着无线通信技术发展和社会需求增长,则要求更高、更大的通信系统传输质量和容量。现代通信系统为了追求更高的数据速率和频谱效率,更趋向采用非恒定包络的调制方式,进一步提高信号的峰均比(PAR),如在宽带码分多址(WCDMA)系统中,峰均比达到10 dB,这就对射频功率放大器的线性度提出很高要求。再加之现代通信系统要求更高的功率放大器的效率,但功率放大器本身线性度有限,这就使功率放大器线性化成为无线通信系统的关键技术之一。

数字预失真是线性技术中一种重要方法,其实现方法有两种:1)基于多项式方式,采用多项式拟合补偿增益曲线,这种方法参数较少,容易初始化和实时修正,但对强非线性的校正误差较大且复杂度较高;2)基于查找表方式,即构造预失真查找表,根据查找表处理输入信号,基于查找表的预失真技术可完成较好的线性补偿,采用高速信号处理器件实现。

1988年Bateman等^[1]提出利用查找表和曲线拟合的方法实现信号的预失真,这可以认为是查找表预失真技术的起源。1989年Nagata^[2]提出映射预失真技术,该技术采用两张二维预失真表来实现预失真功能,但系统收敛速度较慢。1990年Faulkner^[3]提出用2张一维预失真表实现预失真功能的技术。因此,查找表预失真技术已成为预失真技术的重要分支。

本文研究了基于查找表(LUT)的自适应基带预失真技

术,并采用基于幅度索引的查找表技术补偿功放非线性,从而改善放大器产生的AM-AM、AM-PM失真。

1 预失真系统

1.1 预失真原理

预失真技术就是在放大器之前加一个非线性单元,称为预失真器,使其特性和放大器特性互逆,因此,信号预先人工产生扩展非线性失真,再经放大器的压缩非线性失真,达到线性放大的目的。预失真基本原理图如图1所示。

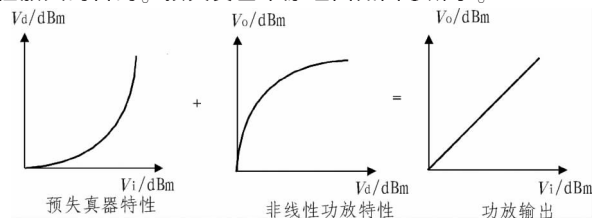


图1 预失真基本原理图

1.2 查找表法预失真技术

查找表法预失真技术的基本思想是构造预失真查找表,根据查找表实时处理输入信号,这种方法可应用于任何增益波形图的功率放大器,线性化好。根据查找表及查表方式的不同,查找表法预失真技术主要分为:映射法、复增益法和极坐标法^[4]。本文采用基于极坐标法的查找表技术,输入信号首先进行直角/极坐标变换,将输入信号的幅度进行量化,然后

收稿日期:2009-09-15

稿件编号:200909051

基金项目:福建省重大专项基金资助项目(2007HZ0003)

作者简介:杨小力(1985—),女,土家族,湖南常德人,硕士研究生。研究方向:无线通信。

作为幅度和相位两张一维查找表的地址索引。通过查表得到幅度和相位后, 再对输入信号进行增益补偿和相位旋转, 最后通过极坐标/直角坐标变换后送给 HPA 模型^[5]。整个结构图如图 2 所示。

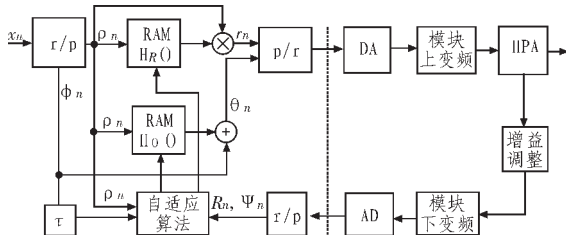


图 2 极坐标查找表法预失真结构

1.3 自适应算法

从图 2 可知, 为了达到线性化, 必须满足以下条件:

$$\begin{cases} R_n = A(r_n) + e_n \\ \Psi_n = \Phi(r_n) + \theta_n + \mu_n \end{cases} \quad (1)$$

式中, e_n, μ_n 为测量误差。

而线性化目标则为:

$$R_n = \begin{cases} G\rho_n & \rho_n \leq A_0, \Psi_n = \varphi_n \\ A_{sat} & \rho_n > A_0, \Psi_n = \varphi_n \end{cases} \quad (2)$$

因此, 这里采用自适应算法^[5]:

$$\begin{aligned} H_R(\rho_n)_{n+1} &= \begin{cases} H_R(\rho_n)_n - \alpha(R_n - G\rho_n) & \rho_n \leq A_0 \\ A_{sat} & \rho_n > A_0 \end{cases} \\ H_\theta(\rho_n)_{n+1} &= H_\theta(\rho_n)_n - \beta(\Psi_n - \varphi_n) \end{aligned} \quad (3)$$

式中, H_θ, H_Ψ 分别表示预失真器的幅度和相位信息, 调节系数 α, β 决定算法的收敛速率和稳定性。

2 查找表索引技术

对于基于查找表技术的数字预失真, 预失真表是整个系统的核心。如何从表读取相应的预失真值, 直接影响到表项的分布和利用率, 从而影响系统实现的复杂性和自适应算法的收敛速度。一般有基于信号幅度 ($\sqrt{P+Q^2}$) 和基于信号功率 ($(P+Q^2)^2$) 2 种^[6]地址索引技术。

采用信号功率地址索引技术, 实现比较简单, 只需加法和乘法两种计算。但该技术中输入信号幅度较小时, 表项分布较疏, 而幅度较大时, 表项分布较密, 这同射频功率放大器非线性特性的变化是不符的, 因此表项利用率不高。

而利用信号幅度地址索引技术, 可使表项分布同输入信号的幅度成正比, 研究表明该技术比信号功率索引技术表项利用更有效, 但其缺点是得到输入信号幅度较困难, 通常需要复杂的平方根计算电路, 将降低系统的速度^[4]。

采用幅度索引法^[7]进行仿真, 由基带复信号计算幅度 ρ_n , ρ_n 经量化得出 LUT 的索引值 X , 采用平均量化区间的方法:

$$\begin{cases} X = \text{Int}(\frac{\rho_n^2 - L_x}{\rho_{max}^2 - L_x}) & \rho_n^2 < P_{max} \\ X = L_x - 1 & \rho_n^2 \geq P_{max} \end{cases} \quad (4)$$

式中, P_{max} 代表功率 ρ_n^2 的理想上限值, L_x 代表一维索引值 X 区间长度, $X = \text{Int}()$ 代表不大于函数自变量的最大整数。这样, 一维索引值 X 就是区间 $[0, 1, \dots, L_x - 2, L_x - 1]$ 内的一个整数。

3 仿真与结果分析

仿真采用 Saleh 模型作为 HPA 模型, Saleh 模型是用于描述行波管功率放大器 TWTA (Traveling Wave Tube Amplifier) 非线性特性的等效通带模型^[8]。TWTA 是一种真空电子器件, 功率较大, 工作频带较宽。TWTA 的传输函数中 AM/AM 失真和 AM/PM 失真都比较明显。其 AM/PM 失真表达式分别为:

$$\begin{cases} A(r_n) = \frac{\alpha_a r_n}{1 + \beta_a r_n^2} \\ \Phi(r_n) = \frac{\alpha_\phi r_n^2}{1 + \beta_\phi r_n^2} \end{cases} \quad (5)$$

式中, r_n 为输入信号的幅度, $\alpha_a, \beta_a, \alpha_\phi, \beta_\phi$ 为模型参数, 通过调整这 4 个参数可得到合适的功放模型, 典型值为: $\alpha_a = 2, \beta_a = 1, \alpha_\phi = \pi/3, \beta_\phi = 1$ 。 $A(r_n)$ 和 $\Phi(r_n)$ 分别代表 HPA 非线性的幅度 AM-AM 失真和相位 AM-PM 失真, 其特性曲线如图 3 所示。

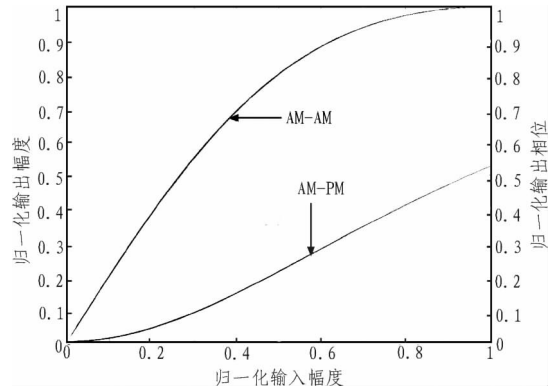


图 3 Saleh 模型非线性特性

仿真输入为 WCDMA 数字基带信号经 DUC-CFR 输出的 15 002 个采样点, LUT 为 256, 自适应算法中的调节系数取 $\alpha = \beta = 0.5$, 迭代次数分别为 2、5、10 和 30 次, 本文还仿真当迭代 30 次时 AM/AM 和 AM/PM 特性曲线图, 其仿真结果分别如图 4 和图 5 所示。

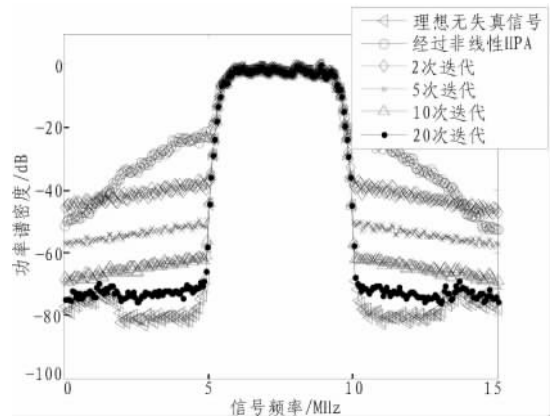


图 4 无记忆查找表仿真结果

从图4可看出,该方法明显改善了无记忆 Saleh 模型功放,并随迭代次数的增加,ACPR 的改善程度不断提高。当迭代次数达到 30 次时,有加失真校正相比于直接经功放,ACPR 改善了近 30 dB。图5给出迭代次数为 30 次时的经过失真后 AM-AM,AM-PM 特性曲线,同图3对比可看出 AM/PM 效应得到改善。

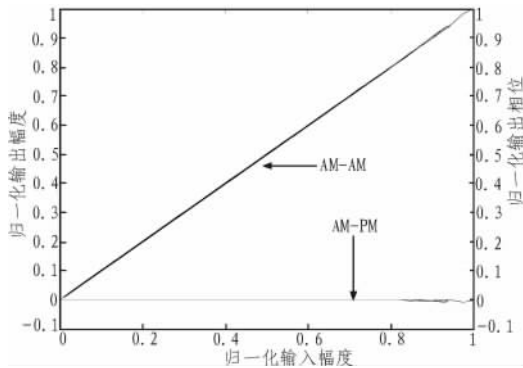


图5 经预失真后功放非线性特性

4 总结

本文研究了自适应预失真技术对 WCDMA 系统中功率放大器非线性效应的改善作用,探讨了查询表索引技术和自适应刷新算法。计算机仿真结果表明:基于该算法的解决方案可改善 WCDMA 系统中因功放非线性效应而造成的带外失真等恶化,而且改善了 AM/PM 效应,并通过给出的在不同迭代次数下的 ACPR 的改善程度,得出查找表方法对无记忆

3.3 实验结果

在室内环境下将生成的 hex 文件下载到 CC2430 节点中对本文程序进行实验,验证在各流量下节点通信的丢包和错码情况。分别将网络流速设置在每秒 128、256、512 Byte 以及 1.28、2.56、6.4、12.8 KByte,每种流速测试发送 2 K 个数据包。实验结果显示,在通信半径内节点通信未丢失任何数据包,接收的数据包也没有出现误码,但是随着节点间距离的增加,节点通信的丢包率逐渐增大,直至不能通信。从实验结果可以看出,在通信半径内,本程序能够正确实现 CC2430 节点间无线数据收发,在各种网络负载情况下通讯性能均良好。

4 结束语

本文研究基于 TinyOS 操作系统在 CC2430 器件上实现无线数据的收发,为接下来无线传感器网络的相关研究作了铺垫。在项目开发中还实现了 UART 输出,系统定时器、LED 驱动等相关功能,以便功能调试。编译结果表明,该程序占用 Flash 和 RAM 空间十分紧凑,能够适应 CC2430 存储容量有限的特性。大量测试实验表明,该程序在节点上运行稳定;在节点通信

Saleh 模型功放的改善是明显的,但收敛速度较慢。

参考文献:

- [1] Bateman A, Haines D M, Wilkinson, R J. Linear transceiver architectures [C]. In Proceedings of the 38th IEEE Vehicular Technology Conference, 1988:478-484.
- [2] Yoshinori Nagata. Linear Amplification Technique for digital mobile communications [J]. The 39th of IEEE Vehicular Technology Conference. 1989, 1(5): 159-164.
- [3] Michael Faulkner, Thomas Mattsson, Warren Yates. Adaptive linearisation using pre-distortion. The 40th of IEEE Vehicular Technology Conference [C]. 1990: 35-40.
- [4] 毛文杰. 基于预失真技术的射频功率放大器线性化研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2003.
- [5] Zenobio D, Santella G, Mazzenga F. Adaptive linearization of power amplifier in orthogonal multicarrier schemes [C]. IEEE Int. Wireless Communication System Symposium, NY USA, 1995: 225-230.
- [6] 吴岚, 贾建华. 基于极坐标查询表的数字预失真技术 [J]. 电子测量技术, 2007, 30(10): 18-20.
- [7] 林晓晨. 功率放大器的数字基带预失真技术研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2007.
- [8] Saleh AM A. Frequency-independent and frequency-independent nonlinear models for TWT amplifiers [J]. IEEE Trans on commun, 1981, 29(11): 1715-1720.

半径内能精确通信;在各种网络负载下均能实现正确收发。

参考文献:

- [1] Akyildiz I F, WANG Xu-dong, WANG Wei-lin. Wireless mesh networks: a survey [J]. Computer Networks, 2005, 47(4): 445-487.
- [2] Arampatzis T, Lygeros J, Manesis S. A survey of applications of wireless sensors and wireless sensor networks [J]. Proceedings of the 2005 IEEE International Symposium on Mediterranean Conference on Control and Automation, 2005, page(s): 719-724.
- [3] Texas Instrumengs. A true system-on-chip solution for 2.4 GHz IEEE 802.15.4/ZigBee [EB/OL]. 2007. <http://www.ti.com/lit/gpn/cc2430>.
- [4] Texas Instrumengs. Z-Stack—ZigBee Protocol Stack [EB/OL]. 2007. <http://focus.ti.com/docs/toolsw/folders/print/z-stack.html>.
- [5] TinyOS Community Forum. Tinyos: an open source operating designed for wireless embedded sensor networks [EB/OL]. 2009. <http://tinyos.net>.
- [6] Gay D, Levis P, Behren R. The nesC language: A holistic approach to networked embedded systems [J]. In Proceedings of Programming Language Design and Implementation. California, 2003: 1-11.