



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103001591 A

(43) 申请公布日 2013. 03. 27

---

(21) 申请号 201210246099. 4

(22) 申请日 2012. 07. 16

(71) 申请人 北京邮电大学

地址 100876 北京市海淀区西土城路 10 号

(72) 发明人 邹卫霞 杜光龙

(51) Int. Cl.

H03F 1/32 (2006. 01)

权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 3 页

---

### (54) 发明名称

一种非线性失真消除方法

### (57) 摘要

本发明实施例公开了一种通信信号非线性失真的矫正方法, 涉及无线通信领域, 用以解决射频功率放大器件的非线性特性造成的信号失真与调制星座点的变形。本发明实施例通过采用并简化自适应模糊神经网络这一可用于非线性函数逼近的工具, 可充分逼近射频放大器件的非线性特性并将之补偿。

1. 一种用于消除射频放大器件造成的信号非线性失真的方法,该方法用于矫正功率放大器的非线性特性造成的信号非线性失真,主要用于无线通信系统的接收机中,其特征在于:

将接收信号经过抽样后进行非线性失真的消除与矫正,然后再进行判决;

采用自适应模糊神经网络对非线性失真函数进行逼近后消除失真。

2. 根据权利要求 1 中的非线性失真消除方法,其特征在于:

将接收信号经过抽样后获得接收星座点信号,继而获得星座点信号的幅度与相位,并将幅度与相位分别予以消除非线性失真或矫正;

采用自适应模糊神经网络消除信号的非线性失真;

以消除非线性失真后的星座点进行信号判决。

3. 根据权利要求 2 中所述的自适应模糊神经网络,其特征在于:

网络的输入层为模糊集合的隶属度函数,可以为高斯函数或者其它模糊集合隶属度函数;

自适应模糊神经网络将分别逼近信号的幅度非线性失真和相位非线性失真两部分;

自适应模糊神经网络可包含至少两个模糊集合的隶属度函数。

4. 根据权利要求 1 中所述的非线性失真消除方法,其特征在于:

采用自适应模糊神经网络进行学习逼近信号的非线性失真函数;

将接收信号与本地预存标准信号作为训练序列对送入自适应模糊神经网络进行训练学习,其中本地预存信号作为期望目标信号使用;

用于训练接收信号与本地信号均为抽样后的星座点。

## 一种非线性失真消除方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及无线通信技术领域,针对射频功率放大器件的非线性特性造成数字通信时的信号非线性失真或者正交调制星座点的畸变失真,提供一种能够广泛适用于各种不同射频非线性特性的信号失真消除方法。

### 背景技术

[0002] 在无线通信中,尤其是在毫米波通信中,影响通信性能的主要因素为射频器件的非线性特性造成的信号失真,最终造成接收信号的信噪比严重下降,甚至使得具有高频谱利用率的高阶调制技术无法使用。另一方面,OFDM 技术作为一种具有极高频谱利用率的调制技术成为高速无线通信技术的优选方案,然而由于 OFDM 技术具有较高的峰均比(峰值平均功率比, PAPR),造成 OFDM 技术受到射频放大器件的非线性特性影响较为严重,这严重限制了 OFDM 的性能。

[0003] 传统的解决方法多为通过特殊编码抑或调制后对信号进行预失真等手段去降低发射信号的峰均比,或者增加发射信号功率回退值,这无疑将降低能量利用效率。因而如何将信号的非线性失真进行矫正成为一种有效的解决方案。

[0004] 目前已有的非线性失真方面的技术多为通过确定一个非线性失真模型后,估计其中的各项参数,进而获得实际的非线性失真函数并进行失真消除或矫正。然而这些方法均受限于预定义的非线性失真模型,因而当射频器件受环境等因素影响造成非线性特性发生较大变化时,将造成是真模型的严重偏离实际,进一步造成无法准确消除信号的非线性失真,甚至引入附加的失真而造成接收信号质量严重下降。

[0005] 现有技术的自适应模糊神经网络是一种将模糊推理系统引入神经网络后发展的一种模糊系统。在给定足够的模糊集合的前提下,自适应模糊神经网络能够在某一给定的函数区间内仿真逼近任意的非线性函数。自适应模糊神经网络于 1996 年由 Jyh-Shing Roger Jang 提出,主要用于模糊推理系统、神经网络控制器、人工智能以及未知函数逼近等,其能够高效的逼近非线性函数,因而本发明将采用自适应模糊神经网络进行非线性失真的消除。

### 发明内容

[0006] 本发明提供了一种信号非线性失真的矫正方案,该方案可充分学习逼近射频放大器件的非线性特性函数,而不依赖于非线性失真函数模型,因而可应用于任何非线性失真。通过本发明所提供方法进行信号非线性失真矫正后,可充分消除信号的非线性失真。

[0007] 为克服现有失真矫正方案过于依赖预定义失真模型的问题,本发明采用自适应模糊神经网络来学习逼近信号的非线性失真函数。为消除信号的非线性失真,本发明将分别矫正信号的幅度非线性和相位非线性两方面。通过仿真,自适应模糊神经网络中模糊集合的个数可以设置为 2,此时网络已经符合新能要求,但不限制为 2。

[0008] 为训练自适应模糊神经网络,本发明将抽样后的星座点信号与未经非线性失真

期望星座点信号相对应作为训练序列供给自适应模糊神经网络学习。同时,由于非线性失真包含幅度失真和相位失真两方面内容,因而本发明所提供方法将予以分别矫正所述方法包括,

[0009] 将接收信号抽样后,得到星座点  $s_r$ , 分别得到信号的幅度  $x_r = |s_r|$  以及相位  $\varphi_r = \text{angle}(s_r)$ ;

[0010] 将信号幅度  $x_r$  作为自变量分别送入两路 ANFIS 模块,在学习阶段,其中一路 ANFIS 模块的期望信号为理想星座点信号的幅度,而另一路 ANFIS 模块的期望信号为理想信号的相位与接收信号相位之差,在非学习阶段,通过 ANFIS 网络正常计算网络的输出,其中幅度 ANFIS 模块输出信号为  $x_t$ ,相位 ANFIS 模块输出信号为  $\varphi_t$ ;

[0011] 计算矫正后的星座点信号  $s_t = x_t \exp[(\varphi_r + \varphi_t)j]$ ,其中  $j$  表示虚数单位;

[0012] 信号判决,获得判决结果。

### 附图说明

[0013] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0014] 附图 1 为本发明所提供方法的解调器系统结构框图。

[0015] 附图 2 为自适应模糊神经网络 (ANFIS) 结构图。

[0016] 附图 3 为自适应模糊神经网络 (ANFIS) 学习流程图。

[0017] 附图 4 为本发明所提供方法的主流程图。

[0018] 附图 5 为采用本发明所提供非线性失真消除方法后的星座点信号仿真结果示意图。

### 具体实施方式

[0019] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0020] 本发明的具体实施例提供一种信号非线性失真消除方法及装置,主要用于数字通信中的解调器部分。附图 1 所示为该装置的结构框图。其中包括信号抽样器 1、自适应模糊神经网络矫正模块 2、星座点恢复模块 3、判决器 4 以及期望信号生成器 5。在学习阶段,由期望信号生成器 5 提供期望信号给自适应模糊神经网络 2 以学习。学习结束后,期望信号生成器 5 不再提供期望信号值,而抽样信号直接经过自适应模糊神经网络获得矫正后的信号幅度与相位,然后送入校正信号恢复模块 3 即可得到非线性失真消除后的接收信号星座点。最终,恢复后的信号将到达判决器 4 进行信号判决。

[0021] 图 2 为自适应模糊神经网络结构图,可由软件或硬件实现。其中包括模糊集合隶属度函数输出节点 201、202,归一化节点 211、212,模糊推理节点 221、222,以及输出节点 231、学习时反馈节点 232。在本发明实施例中,模糊集合数(节点 201、202)为 2,但其不限

于 2, 并且模糊集合数越多, 网络越能逼近更加复杂的非线性函数。

[0022] 在图 2 中, 隶属度函数 (节点 201、202) 可选择钟形函数或高斯函数等, 本发明实施例将采用钟形函数, 如下式 (1), 其中  $x$  为网络的输入,  $a$ 、 $b$ 、 $c$  均为非线性参数。

$$[0023] \quad f(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (1)$$

[0024] 为方便表示, 设节点  $x$  的输入为  $I_x$ , 输出为  $O_x$ 。因而节点 201、202 的输出  $O_{201}$ 、 $O_{202}$  可由式 (2) 计算得到:

$$[0025] \quad O_{201} = f(x; a_1, b_1, c_1)$$

$$[0026] \quad (2)$$

$$[0027] \quad O_{202} = f(x; a_2, b_2, c_2)$$

[0028] 节点 211、212 的输出由下式 (3) 计算得到:

$$[0029] \quad O_{211} = \frac{O_{201}}{O_{201} + O_{202}}$$

$$[0030] \quad (3)$$

$$[0031] \quad O_{212} = \frac{O_{202}}{O_{201} + O_{202}}$$

[0032] 节点 221、222 的输出由下式 (4) 计算得到:

$$[0033] \quad O_{221} = O_{211} \times (x + r_1)$$

$$[0034] \quad (4)$$

$$[0035] \quad O_{222} = O_{212} \times (x + r_2)$$

[0036] 输出节点 231 为求和:

$$[0037] \quad O_{231} = O_{221} + O_{222} \quad (5)$$

[0038] 由 (1)-(5) 式, 可得网络的输出为

$$[0039] \quad O = x + \frac{r_1 f(x; a_1, b_1, c_1) + r_2 f(x; a_2, b_2, c_2)}{f(x; a_1, b_1, c_1) + f(x; a_2, b_2, c_2)} = x + \frac{r_1 f_1 + r_2 f_2}{f_1 + f_2} \quad (6)$$

[0040] 其中  $f_i = f(x; a_i, b_i, c_i)$ ,  $i = 1, 2$  的参数  $a_i$ 、 $b_i$ 、 $c_i$ 、 $r_i$  ( $i = 1, 2$ ) 将在学习阶段自动更新直至输出误差足够小。设期望信号为  $d = (d_1, d_2, \dots, d_n)$ , 则误差能量为

$$[0041] \quad E = \sum_{i=1}^n (O_i - d_i)^2 \quad (7)$$

[0042] 因而参数更新公式如下

$$[0043] \quad \begin{cases} a_i^{(j)} = a_i^{(j-1)} - \eta \frac{\partial E^{(j-1)}}{\partial a_i^{(j-1)}} \\ b_i^{(j)} = b_i^{(j-1)} - \eta \frac{\partial E^{(j-1)}}{\partial b_i^{(j-1)}} \\ c_i^{(j)} = c_i^{(j-1)} - \eta \frac{\partial E^{(j-1)}}{\partial c_i^{(j-1)}} \\ r_i^{(j)} = r_i^{(j-1)} - \eta \frac{\partial E^{(j-1)}}{\partial r_i^{(j-1)}} \end{cases} \quad i = 1, 2 \quad (8)$$

[0044] 因而最终自适应模糊神经网络可简化为式 (6-8) 所描述过程。

[0045] 由附图 3, 自适应模糊神经网络的训练流程如下:

[0046] 301) 初始化网络参数  $a_i$ 、 $b_i$ 、 $c_i$ 、 $r_i$  ( $i = 1, 2$ ), 可设置初始值为较小的随机数, 初始化学习速率  $\eta$ , 一般  $\eta = 0.2$ , 初始化迭代计数器  $j = 0$  以及最大迭代次数  $N$ ;

[0047] 302) 计数器  $j = j+1$ ;

[0048] 303) 根据 (6) 式计算网络输出;

[0049] 304) 根据 (8) 式计算权值更新;

[0050] 305) 判断  $j < N$ ? 若是, 则转到步骤 302, 否则转到 306;

[0051] 306) 网络训练结束, 使用最终训练后参数  $a_i$ 、 $b_i$ 、 $c_i$ 、 $r_i$  ( $i = 1, 2$ ) 进行通信。

[0052] 附图 4 为本发明所提供方法的主流程图, 其中两路 ANFIS 模块分别为幅度 ANFIS 与相位 ANFIS, 并包括以下步骤:

[0053] 401) 信号抽样, 获得接收星座点信号  $s_r$ ;

[0054] 402) 分别得到信号  $s_r$  的幅度  $x_r = |s_r|$  以及相位  $\varphi_r = \text{angle}(s_r)$ ;

[0055] 403) 以  $x_r$  为 ANFIS 模块的输入信号, 在学习阶段, 其中幅度 ANFIS 模块的期望信号为理想星座点信号的幅度, 而相位 ANFIS 模块的期望信号为理想信号的相位与接收信号相位之差, 以此采用附图三所示学习步骤进行训练, 在非学习阶段, 通过 ANFIS 网络正常计算网络的输出;

[0056] 404) 运算 ANFIS, 获得输出信号, 其中幅度 ANFIS 模块输出信号为  $x_i$ , 相位 ANFIS 模块输出信号为  $\varphi_i$ ;

[0057] 405) 计算矫正后的星座点信号  $s_i = x_i \exp[(\varphi_r + \varphi_i)i]$ , 其中  $i$  表示虚数单位;

[0058] 406) 信号判决。

[0059] 附图 5 为采用本发明所提供方法对接收信号进行非线性失真消除后的仿真结果。

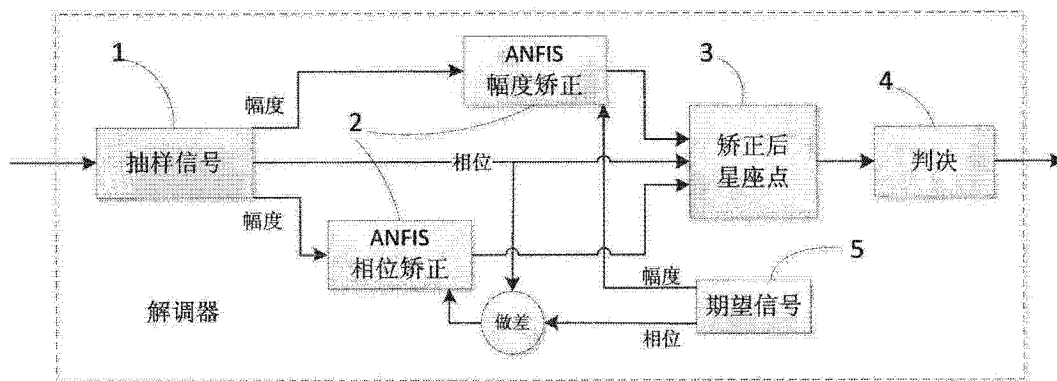


图 1

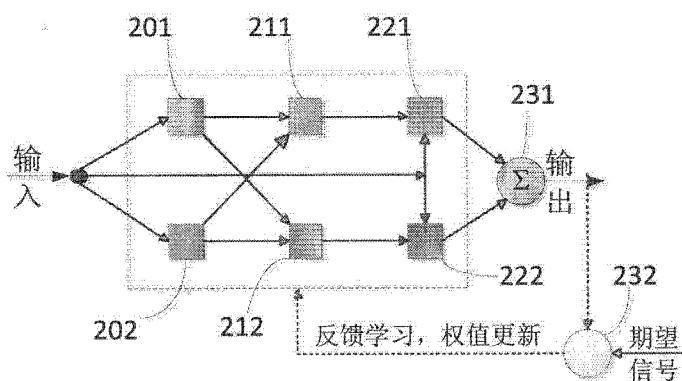


图 2

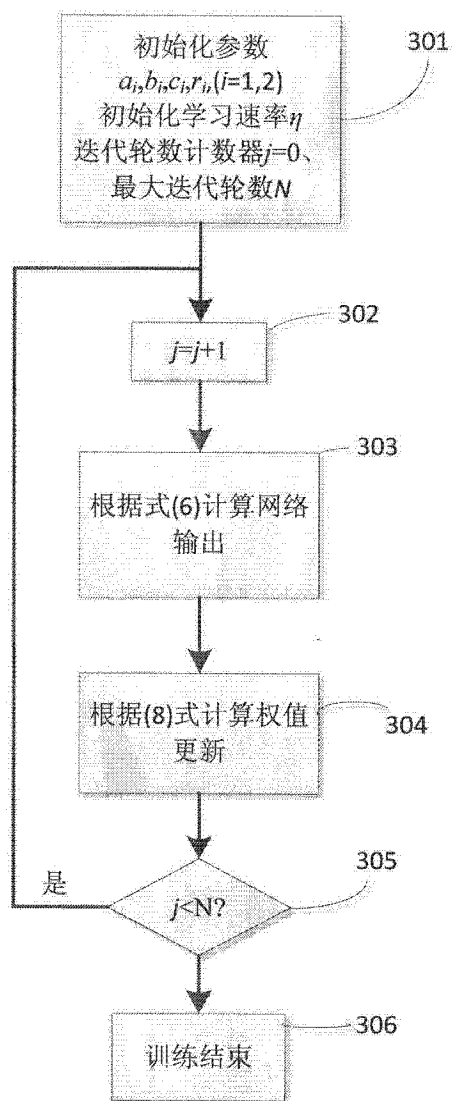


图 3

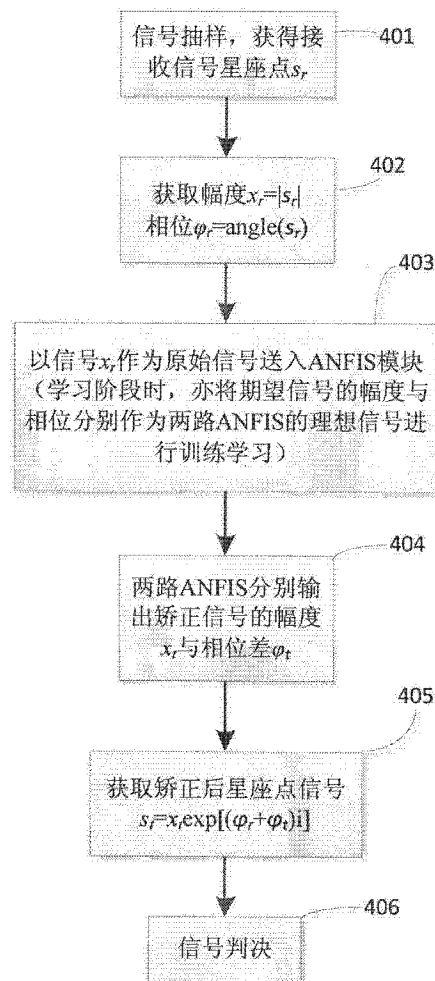


图 4



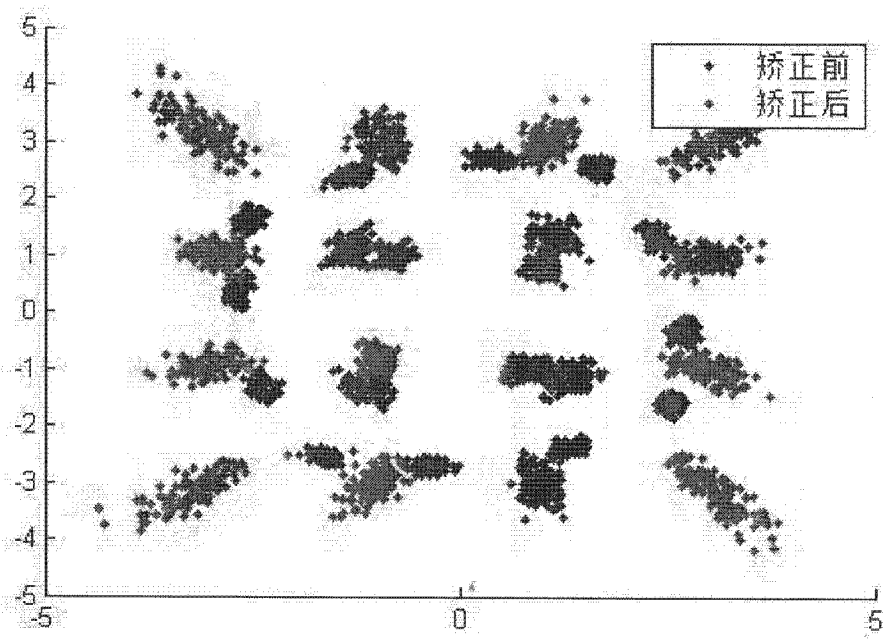


图 5