



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116401493 A

(43) 申请公布日 2023. 07. 07

(21) 申请号 202310384387.4

(22) 申请日 2023.04.11

(71) 申请人 青岛鼎信通讯股份有限公司  
地址 266000 山东省青岛市高新区华贯路  
858号鼎信科技产业园4B楼12层

(72) 发明人 徐剑英 崔键

(51) Int. Cl.  
G06F 17/10 (2006.01)  
G06F 17/16 (2006.01)  
G06F 18/10 (2023.01)

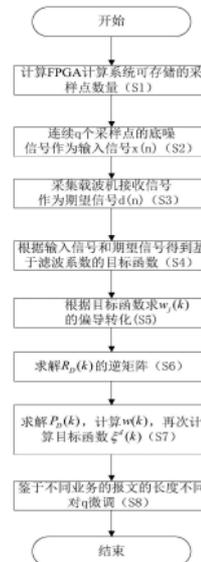
权利要求书2页 说明书3页 附图2页

(54) 发明名称

一种适用于中压载波系统的自适应滤波方法

(57) 摘要

本发明属于电力线通信技术领域,具体公开了一种适用于中压载波系统的自适应滤波方法,包括:根据FPGA计算能力,决策系统能存储的采样点数量;FPGA存储包含连续多个采样点的信号,作为输入信号(底噪);给出自适应滤波器的目标函数,以输入信号为基础,通过求偏导和逆矩阵的形式求解滤波系数。本发明以提前存储单相底噪作为输入信号的形式,除去了自适应滤波器对于两路信号的要求。在中压载波电力线通信这种类似只有一路信号的的场景中,完全有效。通过对提前存储的单相底噪进行迭代参数计算,可以对下一帧甚至几帧数据进行有效滤波,提高链路信噪比。本发明对存储时间的要求不高,即对芯片的计算能力要求不高,适用性很广。



1. 一种适用于中压载波系统的自适应滤波方法,其特征在于,具体包括以下步骤:

S1: 计算FPGA计算系统可存储的采样点数量,根据FPGA算力,计算规定时间内FPGA可承载的采样点计算数量 $q$ ;

S2: 载波机发送报文后,转为接收状态,载波机内的FPGA存储接收到包含连续 $q$ 个采样点的底噪信号,作为输入信号 $x(n)$ ;在载波机接收到新的信号前,FPGA每新存储一个采样点,都会剔除掉原 $q$ 个采样点中的第一个采样点,即FGPA中永远只存储最新的 $q$ 个采样点;

S3: 采集载波机接收信号,作为期望信号 $d(n)$ ;期望信号 $d(n)$ 是噪声和有用信号的叠加,其中 $d(n)$ 中的噪声与S2中的 $x(n)$ 具有相关性; $x(n)$ 经过自适应滤波器后,将被用于抵消 $d(n)$ 中的噪声,得到期望信号与模型滤波器输出信号之差 $e(n)$ ;

S4: 在给定时刻 $k$ ,输入S2的信号向量为 $\bar{x}(k)$ ,得到基于滤波系数的目标函数 $\xi^d(k)$ ;

S5: 对目标函数求滤波系数 $\bar{w}(k)$ 的偏导转化,作为输入信号的确定性相关矩阵 $\bar{R}_D(k)$ 和输入信号与期望信号之间的确定性互相关向量 $\bar{P}_D(k)$ 的乘积形式;

S6: 利用矩阵求逆引理,求解 $\bar{R}_D(k)$ 的逆矩阵,将复杂的逆运算更替为乘除运算;

S7: 求解 $\bar{P}_D(k)$ ,计算 $w(k)$ ,再次计算目标函数 $\xi^d(k)$ ;

S8: 鉴于不同业务的报文的长度不同,通过对 $q$ 的微调,进一步增强滤波器的性能。

2. 根据权利要求1所述的一种适用于中压载波系统的自适应滤波方法,其特征在于,所述步骤S1每个采样点需要的计算量分析如下: $S_D$ 计算需要 $4*n^2+n$ 次乘法, $(3n-2)*n$ 次加法; $P_D$ 计算需要 $2n$ 次乘法及 $n$ 次加法; $w(k)$ 的计算需要 $n^2$ 次乘法和 $(n-1)$ 次加法。

3. 根据权利要求1所述的一种适用于中压载波系统的自适应滤波方法,其特征在于,所述步骤S2载波机发送报文后,转为接收状态,FPGA存储包含连续 $q$ 个采样点的信号 $x$ ,作为输入信号,存储时间为 $\frac{q}{Q \times 10^6}$ 秒,其中 $Q$ 为采样率,单位MHZ;存储时间必须大于载波机发送报文结束与载波机接收报文的时间差,以保证存储的信号是不含载波信号的底噪;若载波机未检测到载波信号前,FPGA又新存储的 $q$ 个采样点的信号,则保留最新存储的,删除前一个存储。

4. 根据权利要求1所述的一种适用于中压载波系统的自适应滤波方法,其特征在于,所述步骤S4,在给定时刻 $k$ ,输入提前存储的 $q$ 个采样点的信号向量 $\bar{x}(k)=[x(k)x(k-1)..x(k-N)]^T$ ,其中 $N$ 为滤波器个数;滤波系数为 $w_j(k)$ , $j=0,1,2,\dots,N$ ,通过自适应调整 $w_j(k)$ 的值,来实现目标函数(期望信号与模型滤波器输出信号之差 $e(n)$ 的平方和)最小化,目标函数定义为:

$$\xi^d(k) = \sum_{i=0}^k \lambda^{k-i} \varepsilon^2(i) = \sum_{i=0}^k \lambda^{k-i} [d(i) - \bar{x}^T(i) \bar{w}(k)]^2;$$

式中, $d(i)$ 为 $i$ 时刻的期望信号, $\varepsilon(i) = e(n)$ 为 $i$ 时刻的后验输出误差, $\lambda$ 为指数加权因子,也被称为遗忘因子,取值范围在 $0 \sim 1$ 之间,其值越大,旧数据对系数更新的贡献就越小。

5. 根据权利要求1所述的一种适用于中压载波系统的自适应滤波方法,其特征在于,所述步骤S5对目标函数求 $\bar{w}(k)$ 的偏导,将 $\bar{w}(k)$ 转化为输入信号的确定性相关矩阵 $\bar{R}_D(k)$ 和输

入信号与期望信号之间的确定性互相关向量  $\vec{P}_D(k)$  的乘积形式：

为了求  $\xi^d(k)$  的极小值，对其求  $w(k)$  的偏导，令偏导为0即可，公式如下：

$$\frac{\partial \xi^d(k)}{\partial \vec{w}(k)} = -2 \sum_{i=0}^k \lambda^{k-i} \vec{x}(i) [d(i) - \vec{x}(i) \vec{w}(k)];$$

得到下面关系：

$$\vec{w}(k) = \left[ \sum_{i=0}^k \lambda^{k-i} \vec{x}(i) \vec{x}^T(i) \right]^{-1} \sum_{i=0}^k \lambda^{k-i} \vec{x}(i) d(i) = \vec{R}_D^{-1}(k) \vec{P}_D(k)。$$

6. 根据权利要求1所述的一种适用于中压载波系统的自适应滤波方法，其特征在于，所述步骤S6利用矩阵求逆引理，得到确定性相关矩阵  $\vec{R}_D(k)$  的逆矩阵公式为：

$$\vec{S}_D(k) = \vec{R}_D^{-1}(k) = \frac{1}{\lambda} \left[ \vec{S}_D(k-1) - \frac{\vec{S}_D(k-1) \vec{x}(k) \vec{x}^T(k) \vec{S}_D(k-1)}{\lambda + \vec{x}^T(k) \vec{S}_D(k-1) \vec{x}(k)} \right]。$$

7. 根据权利要求1所述的一种适用于中压载波系统的自适应滤波方法，其特征在于，所述步骤S7中的  $\vec{P}_D(k) = \lambda \vec{P}_D(k-1) + d(k) \vec{x}(k)$ 。

## 一种适用于中压载波系统的自适应滤波方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于电力线通信技术领域,具体涉及一种适用于中压载波系统的自适应滤波方法。

### 背景技术

[0002] 在通常的滤波场合中,从频域的角度进行滤波,只要给出相应的设计指标就可以很方便的设计出满足要求的滤波器。然而在更一般的情况下,人们所需要的滤波器工作环境是时变的,这就导致事先已经设计好的滤波器性能下降甚至不能被使用,比如被埋藏在强背景噪声中微弱而不稳定的有用信号,要想在非平稳且随时间变化的背景噪声中提出信号,就需要自适应噪声抵消技术。

[0003] 自适应噪声抵消技术的核心是自适应滤波器,自适应算法对其参数进行控制,以实现最佳滤波。不同的自适应滤波算法,具有不同的收敛速度、稳态失调和算法复杂度。根据自适应算法是否与滤波器输出有关,可将其分成开环算法和闭环算法。自适应噪声抵消技术利用了输出反馈,属于闭环算法。其优点在于能在滤波器输入变化时保持最佳的输出,而且还能在某种程度上补偿滤波器元件参数的变化误差以及运算误差,其缺点在于稳定性问题和收敛速度。

[0004] 此外,自适应滤波的工作前提是需要对至少两路信号同时进行处理,其中一路为包含信号和噪声的相线,另一路仅含有噪声(或信号信息幅值极小)。对于中压载波系统来说,三相电力线存在强耦合现象,可近似看做只有一路信号。这给自适应滤波带来了极大的挑战。

### 发明内容

[0005] 为解决上述现有技术存在的不足或缺陷,本发明提出一种适用于中压载波系统的自适应滤波方法。本发明去除了自适用滤波对两路信号的强制要求,采用单相提取噪声的方式进行滤波,最终提高链路的信噪比。

[0006] 本发明的技术方案为:

[0007] 一种适用于中压载波系统的自适应滤波方法,包括以下步骤:

[0008] S1:计算FPGA计算系统可存储的采样点数量,根据FPGA算力,计算规定时间内FPGA可承载的采样点计算数量 $q$ ;

[0009] S2:载波机发送报文后,转为接收状态,载波机内的FPGA存储接收到包含连续 $q$ 个采样点的底噪信号,作为输入信号 $x(n)$ ;在载波机接收到新的信号前,FPGA每新存储一个采样点,都会剔除掉原 $q$ 个采样点中的第一个采样点,即FGPA中永远只存储最新的 $q$ 个采样点;

[0010] S3:采集当前载波机接收信号,作为期望信号 $d(n)$ ;期望信号 $d(n)$ 是噪声和有用信号的叠加,其中 $d(n)$ 中的噪声与S2中的 $x(n)$ 具有相关性。 $x(n)$ 经过自适应滤波器后,将被用于抵消 $d(n)$ 中的噪声,得到期望信号与模型滤波器输出信号之差 $e(n)$ ;

[0011] S4:在给定时刻 $k$ ,输入S2的信号向量为 $\vec{x}(k)$ ,得到基于滤波系数的目标函数 $\xi^d$

(k) ;

[0012] S5:对目标函数求滤波系数 $w(k)$ 的偏导转化,作为输入信号的确定性相关矩阵 $R_D(k)$ 和输入信号与期望信号之间的确定性互相关向量 $P_D(k)$ 的乘积形式;

[0013] S6:利用矩阵求逆引理,求解 $R_D(k)$ 的逆矩阵,将复杂的逆运算更替为乘除运算;

[0014] S7:求解 $P_D(k)$ ,计算 $w(k)$ ,再次计算目标函数 $\xi^d(k)$ ;

[0015] S8:鉴于不同业务的报文的长度不同,通过对 $q$ 的微调,进一步增强滤波器的性能。

[0016] 本发明的有益效果为:以提前存储单相底噪作为输入信号的形式,除去了自适应滤波器对于两路信号的要求。与实时计算的自适应滤波器相比,性能有所下降。但在中压载波电力线通信这种类似只有一路信号的的场景中,完全有效。通过对提前存储的单相底噪进行迭代参数计算,可以对下一帧甚至几帧数据进行有效滤波,提高链路信噪比。本发明对存储时间的要求不高,即对芯片的计算能力要求不高,适用性很广。

## 附图说明

[0017] 图1为本发明实施例一种适用于中压载波系统的自适应滤波方法消除噪声方法图。

[0018] 图2为本发明实施例一种适用于中压载波系统的自适应滤波方法流程图。

## 具体实施方式

[0019] 下面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、完整的描述。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做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] 如图2所示,本实施例的具体流程为:

[0021] S1:根据FPGA计算系统能存储的采样点数量。根据FPGA算力,计算规定时间内FPGA可承载的采样点计算数量 $q$ 。

[0022] 每个采样点需要的计算量分析如下: $S_D$ 计算需要 $4*n^2+n$ 次乘法, $(3n-2)*n$ 次加法; $P_D$ 计算需要 $2n$ 次乘法及 $n$ 次加法。 $w(k)$ 的计算需要 $n^2$ 次乘法和 $(n-1)$ 次加法。

[0023] S2:载波机发送报文后,转为接收状态,FPGA存储包含连续 $q$ 个采样点的底噪信号,作为输入信号 $x(n)$ 。存储时间为 $\frac{q}{Q \times 10^6}$ 秒,其中 $Q$ 为采样率,单位MHZ。存储时间必须大于载波机发送报文结束与载波机接收报文的时间差。以保证存储的信号是不含载波信号的底噪;若载波机未检测到载波信号前,FPGA又新存储 $q$ 个采样点的信号,则保留最新存储的,删除前一个存储;

[0024] S3:载波机当前接收信号作为期望信号 $d(n)$ ,其中 $d(n)$ 中的噪声与S2中的 $x(n)$ 具有相关性。如图1所示, $x(n)$ 经过自适应滤波器后,将被用于抵消 $d(n)$ 中的噪声,得到期望信号与模型滤波器输出信号之差 $e(n)$ ;

[0025] S4:在给定时刻 $k$ ,输入到步骤S2的信号向量 $\bar{x}(k)=[x(k)x(k-1)..x(k-N)]^T$ ,其中 $N$ 为滤波器个数。滤波系数为 $w_j(k)$ , $j=0,1,2,\dots,N$ ,通过自适应调整 $w_j(k)$ 的值,来实现目标函数(期望信号与模型滤波器输出信号之差 $e(n)$ 的平方和)最小化。目标函数定义为:

$$[0026] \quad \xi^d(k) = \sum_{i=0}^k \lambda^{k-i} \varepsilon^2(i) = \sum_{i=0}^k \lambda^{k-i} [d(i) - \bar{x}^T(i) \bar{w}(k)]^2,$$

[0027] 式中,  $d(i)$  为  $i$  时刻的期望信号,  $\varepsilon(i) = e(n)$  为  $i$  时刻的后验输出误差,  $\lambda$  为指数加权因子, 也被称为遗忘因子, 取值范围在  $0 \sim 1$  之间, 其值越大, 旧数据对系数更新的贡献就越小。

[0028] S5: 对目标函数求  $\bar{w}(k)$  的偏导, 将  $\bar{w}(k)$  转化为输入信号的确定性相关矩阵  $\bar{R}_D(k)$  和输入信号与期望信号之间的确定性互相关向量  $\bar{P}_D(k)$  的乘积形式。

[0029] 为了求  $\xi^d(k)$  的极小值, 对其求  $w(k)$  的偏导, 令偏导为 0 即可, 公式如下:

$$[0030] \quad \frac{\partial \xi^d(k)}{\partial \bar{w}(k)} = -2 \sum_{i=0}^k \lambda^{k-i} \bar{x}(i) [d(i) - \bar{x}(i) \bar{w}(k)],$$

[0031] 得到下面关系:

$$[0032] \quad \bar{w}(k) = \left[ \sum_{i=0}^k \lambda^{k-i} \bar{x}(i) \bar{x}^T(i) \right]^{-1} \sum_{i=0}^k \lambda^{k-i} \bar{x}(i) d(i) = \bar{R}_D^{-1}(k) \bar{P}_D(k).$$

[0033] S6: 利用矩阵求逆引理, 得到确定性相关矩阵  $\bar{R}_D(k)$  的逆矩阵公式为:

$$[0034] \quad \bar{S}_D(k) = \bar{R}_D^{-1}(k) = \frac{1}{\lambda} \left[ \bar{S}_D(k-1) - \frac{\bar{S}_D(k-1) \bar{x}(k) \bar{x}^T(k) \bar{S}_D(k-1)}{\lambda + \bar{x}^T(k) \bar{S}_D(k-1) \bar{x}(k)} \right],$$

[0035] 从上式中看出, 复杂的矩阵求逆运算被替换为了普通乘除计算, 而串行系统对于这种迭代计算十分合适。

[0036] S7: 根据求解出的  $\bar{P}_D(k)$ , 再次计算 S5 中  $w(k)$ , 并根据再次计算的  $w(k)$ , 求得 S4 中目标函数  $\xi^d(k)$ , 其中,  $\bar{P}_D(k) = \lambda \bar{P}_D(k-1) + d(k) \bar{x}(k)$ 。

[0037] S8: 鉴于不同业务的报文的长度不同, 通过对  $q$  的微调, 进一步增强滤波器的性能。

[0038] 最后应当说明的是: 以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对其限制, 所属领域的普通技术人员参照上述实施例依然可以对本发明的具体实施方式进行修改或者等同替换, 这些未脱离本发明精神和范围的任何修改或者等同替换, 均在申请待批的本发明的权利要求保护范围之内。

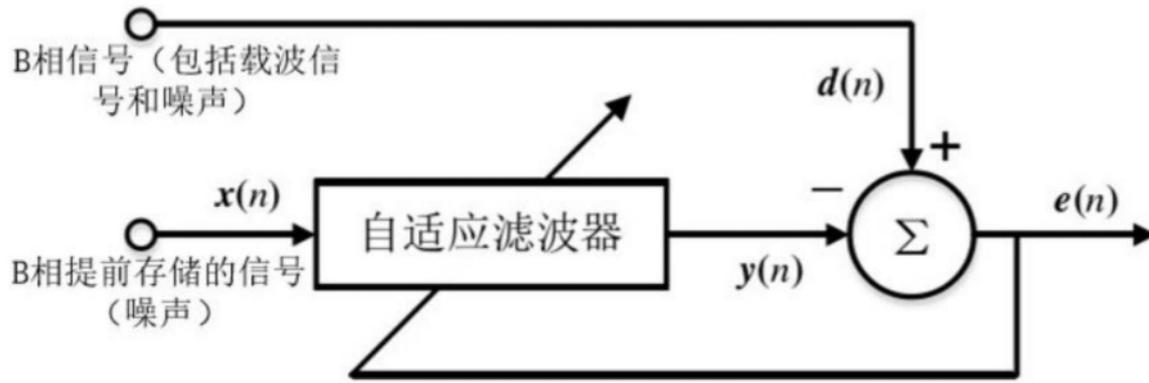


图1

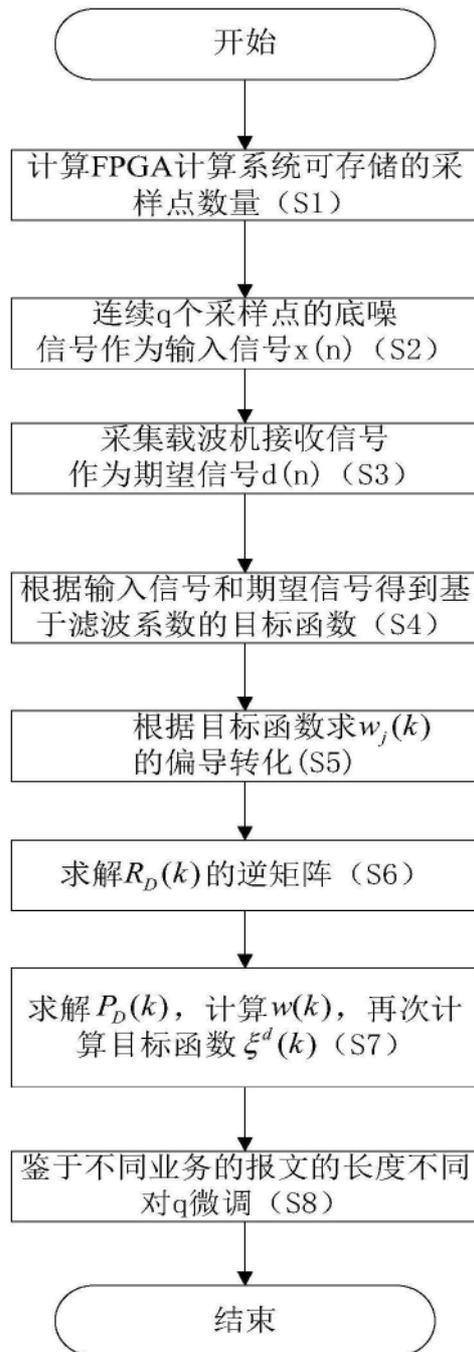


图2