



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108375861 A

(43)申请公布日 2018.08.07

(21)申请号 201810334076.6

(22)申请日 2018.04.14

(71)申请人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路800号

(72)发明人 邹卫文 徐绍夫 陈建平

(74)专利代理机构 上海恒慧知识产权代理事务所(特殊普通合伙) 31317

代理人 张宁展

(51)Int.Cl.

G02F 7/00(2006.01)

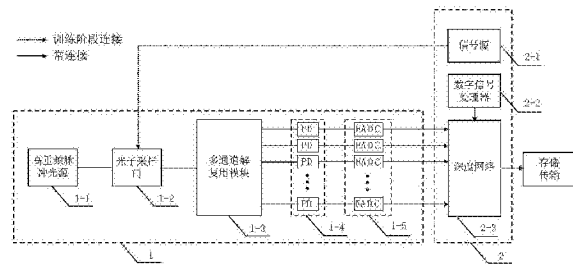
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

可实现智能信号处理的高速高精度光模数转换装置和方法

(57)摘要

本发明提出一种可实现智能信号处理的高速高精度光模数转换装置,利用深度学习技术的学习能力,对高速光模数转换系统的非线性响应和通道失配效应的进行学习,最优化的配置了深度网络参数,能够实时、有效地消除非线性失真、通道失配失真对于光模数转换系统性能的恶化,有效提高光模数转换系统的性能指标。另一方面,利用深度学习技术的归纳推断能力,可以实现输入信号的智能信号处理,为用户提供满足要求的数字信号。这对于提升微波光子雷达和光通信系统等需要高采样速率、高时间精度、高采样精度的微波光子系统的性能,同时提升此类系统在复杂情况下的信号处理能力具有十分重要的作用。



1. 一种可实现智能信号处理的高速高精度光模数转换装置,其特征在于包括高速光模数转换系统(1)和深度学习信号处理模块(2);所述的高速光模数转换系统(1)依次包括高重频脉冲光源(1-1)、光子采样门(1-2)、多通道解复用模块(1-3)、并行化光电转换模块(1-4)和并行化电量化模块(1-5),所述的深度学习信号处理模块(2)包含信号源(2-1)、数字信号处理器(2-2)和深度网络(2-3),所述的多通道解复用模块(1-3)有N个输出端,第n输出端与所述的并行化光电转换模块的第n输入端相连;所述的并行化光电转换模块的第n输出端与所述的并行化电量化模块的第n输入端相连;所述的并行化电量化模块的第n输出端与所述的深度网络的第n输入端相连;n的取值范围为 $1 \leq n \leq N$,训练时,所述的信号源(2-1)与所述的光子采样门(1-2)的第二输入端相连;所述的数字信号处理器(2-2)的输出端与所述的深度网络(2-3)第N+1输入端相连;应用时,被采样信号由所述的光子采样门(1-2)的第二输入端输入。

2. 根据权利要求1所述的可实现智能信号处理的高速高精度光模数转换装置,其特征在于,所述的高重频脉冲光源(1-1)为主动锁模激光器、调制频率梳、WDM或TDM产生的高重频光脉冲。

3. 根据权利要求1所述的可实现智能信号处理的高速高精度光模数转换装置,其特征在于,所述的光子采样门(1-2)为铌酸锂电光调制器、聚合物电光调制器、集成电光调制器或空间光调制器。

4. 根据权利要求1所述的可实现智能信号处理的高速高精度光模数转换装置,其特征在于,所述的多通道解复用模块(1-3)为WDM、TDM或光开关并行解复用。

5. 根据权利要求1所述的可实现智能信号处理的高速高精度光模数转换装置,其特征在于,所述的并行化光电探测转换模块(1-4)为PIN管或APD管。

6. 根据权利要求1所述的可实现智能信号处理的高速高精度光模数转换装置,其特征在于,所述的并行化电量化模块(1-5)为示波器或信息处理板卡。

7. 根据权利要求1所述的可实现智能信号处理的高速高精度光模数转换装置,其特征在于,所述的信号源(2-1)为锁相倍频源、电光振荡器或者任意波形发生器。

8. 根据权利要求1所述的可实现智能信号处理的高速高精度光模数转换装置,其特征在于,所述的数字信号处理器(2-2)为FPGA或DSP。

9. 根据权利要求1所述的可实现智能信号处理的高速高精度光模数转换装置,其特征在于,所述的深度网络(2-3)为卷积神经网络或循环神经网络,其实施方式有CPU、GPU、TPU或者光子神经网络。

10. 利用权利要求1所述的可实现智能信号处理的高速高精度光模数转换装置,其特征在于,该方法包括两个功能:

功能一:高速高精度光模数转换功能:

训练阶段:所述的信号源(2-1)提供已知其频率和幅度信息的标准正弦信号输入到所述的高速光模数转换系统(1)中,由所述的高重频脉冲光源(1-1)所采样,并依次通过所述的多通道解复用模块(1-3)和并行化光电转换模块(1-4),在所述的并行化电量化模块(1-5)后端得到受所述的高速光模数转换系统失真影响后的数字信号,该数字信号输入所述的深度网络(2-3)作为训练样本集的一部分;所述的数字信号处理器(2-2)根据已知的频率和幅度信息产生标准的正弦数字信号,输入所述的深度网络(2-3)作为训练样本集的另一部

分;所述的深度网络(2-3)结合所述的失真后的数字信号和标准正弦数字信号,对深度网络中的参数进行训练,重置深度网络中的参数,在深度网络中建立高速光模数转换系统的失真效应的逆响应;

应用阶段:被采样信号由所述的光子采样门(1-2)的第二输入端输入所述的高速光模数转换系统(1)中,由所述的高重频脉冲光源(1-1)所采样,并依次通过所述的多通道解复用模块(1-3)和并行化光电转换模块(1-4),经所述的并行化电量化模块(1-5)将数字信号输入所述的深度网络(2-3),所述的深度网络(2-3)利用所述的高速光模数转换系统(1)的失真效应的逆响应对所述的数字信号进行智能的信号处理,得到消除失真后的数字信号;

功能二:定制化智能信号处理功能:

训练阶段:所述的信号源(2-1)提供根据定制的波形信号,将该波形信号输入到所述的高速光模数转换系统(1)中,由所述的高重频脉冲光源(1-1)所采样,并依次通过所述的多通道解复用模块(1-3)和并行化光电转换模块(1-4),在所述的并行化电量化模块(1-5)后端得到全部波形信号的采样结果,以此作为训练样本集的一部分;所述的数字信号处理器(2-2)产生定制的数字信号,以此作为训练样本集的另一部分;所述的深度网络(2-3)结合高速光模数转换系统的采样结果和定制数字信号,对深度网络中的参数进行训练,重置网络中的参数,在深度网络(2-3)中建立一种定制的信号智能处理的计算模型;

应用阶段:被采样信号由所述的光子采样门(1-2)的第二输入端输入所述的高速光模数转换系统(1)中,由所述的高重频脉冲光源(1-1)所采样,并依次通过所述的多通道解复用模块(1-3)和并行化光电转换模块(1-4),经所述的并行化电量化模块(1-5)将数字信号输入所述的深度网络(2-3),所述的深度网络(2-3)利用所述的定制的信号智能处理的计算模型,对所述的数字信号进行智能的信号处理,输出满足定制需求的数字信号。

可实现智能信号处理的高速高精度光模数转换装置和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及光子信息处理领域,具体是一种可实现智能信号处理的高速高精度光模数转换装置和转换方法。

背景技术

[0002] 模数转换器(以下简称ADC)是一种将模拟输入信号转化为可由计算机表示的数字信号的工具,是连接模拟世界与计算机信号处理的桥梁,是信号存储、传输、处理的基础。电子学领域对ADC的研究发展迅速,近几十年来,电子学模数转换器(以下简称EADC)向着高采样率高精度的方向取得了长足的发展。国际上商用的EADC芯片已经可以达到采样率30GS/s,有效位数5.5的性能。但是由于电子学技术固有的处理带宽窄、时间抖动大和传输损耗大的缺陷,想要进一步突破采样率和采样精度的限制已经十分困难。必须研究新的手段来完成大带宽超高采样率和高精度的模数转换。

[0003] 光模数转换器(以下简称PADC)作为ADC技术的进一步发展,可以利用光子学的超大带宽、超低时间抖动、低传输损耗的特点,突破EADC技术带来的限制,可以实现更高采样速率更高采样精度的模数转换功能(GeorgeValley,“Photonic analog-to-digital converter,”*Optics Express*,vol.15,no.5,pp.1955~1982,2007)。目前,在已经提出的多种PADC方案中,最受关注的是光采样电量化的架构,这种架构不仅利用了光子学大带宽、低抖动的优势,还结合了电子学成熟的量化能力,有效突破了电子瓶颈。目前国际上报道的PADC系统已经可以突破40GS/s的采样速率,并且有效位数能够达到7~8bit(G.Yang, W.Zou,L.Yu,K.Wu,and J.Chen,“Compensation of multi-channel mismatches in high-speed high-resolution photonic analog-to-digital converter,”*Opt.Express* vol.24,pp.24074)。但是,在PADC架构中,光子采样门是必不可少的由电到光的关键器件,此器件带有的非线性响应将对PADC性能的提升造成限制;另外PADC架构中多通道化的实现也会引发通道失配,也限制了PADC的性能提升。

[0004] 近几年,深度学习作为一种能够有效实现人工智能的技术而受到了广泛的关注。为了进一步开发人工智能的潜力,研究者们利用深度学习技术构建智能算法架构,以实现能与人类智能相似的方式作出反应的智能机器。大多数深度学习算法使用神经网络架构,大量的神经网络隐藏层提高了整个结构的复杂度,也为智能算法实现更复杂的功能提供了可能。目前,深度学习技术已经广泛应用于自动驾驶、工业自动化、人机交互、图像识别、智能语音等相关领域。并且众多的研究者也在深度学习技术的前沿不断探索,在信号重构方面,特别是噪声去除方面,深度学习技术以其噪声类型适应性,去噪结果准确性,以及大量样本适用性的优势,被广泛使用在图片去噪、去文字、去马赛克领域(JunyuanXie, LinliXu,Enhong Chen,“Image denoising and inpainting with deep neural network,”on International Conference on Neural Information Processing Systems,341~349,2012)。若将深度学习应用到PADC系统中,将有效地提升PADC系统的性能,特别是消除非线性和通道失配带来的限制,实现满足更高需求的高速高精度模数转换

系统。另外,深度学习的智能性又为我们提供了一种在PADC中可实现的智能信号处理能力,利用这种能力,可以实现对多样信号的智能识别、智能处理等功能。

发明内容

[0005] 本发明针对光模数转换系统的性能提升瓶颈并结合有效地新技术,提出了一种可实现智能信号处理的高速高精度光模数转换装置。该装置在现有的多通道PADC架构中加入深度学习技术,利用深度学习技术的学习能力,可以对PADC系统的非线性响应和通道失配效应进行学习,得到其逆响应,从而有效改善PADC系统的非线性效应和通道失配失真,提升PADC系统地转换精度。另一方面,利用深度学习技术的归纳推断能力,可以实现输入信号的智能信号处理,为用户提供满足要求的数字信号。这两种功能最终体现为一种可实现智能信号处理的高速高精度光模数转换装置。

[0006] 本发明的技术方案如下:

[0007] 一种可实现智能信号处理的高速高精度光模数转换装置,其特点在于包括高速光模数转换系统和深度学习信号处理模块;所述的高速光模数转换系统依次包括高重频脉冲光源、光子采样门、多通道解复用模块、并行化光电转换模块和并行化电量化模块,所述的深度学习信号处理模块包含信号源、数字信号处理器和深度网络,所述的多通道解复用模块有N个输出端,第n输出端与所述的并行化光电转换模块的第n输入端相连;所述的并行化光电转换模块的第n输出端与所述的并行化电量化模块的第n输入端相连;所述的并行化电量化模块的第n输出端与所述的深度网络的第n输入端相连;n的取值范围为 $1 \leq n \leq N$,训练时,所述的信号源与所述的光子采样门的第二输入端相连;所述的数字信号处理器的输出端与所述的深度网络第N+1输入端相连;应用时,被采样信号由所述的光子采样门的第二输入端输入。

[0008] 所述的高重频脉冲光源为主动锁模激光器、调制频率梳、WDM或TDM产生的高重频光脉冲。

[0009] 所述的光子采样门为铌酸锂电光调制器、聚合物电光调制器、集成电光调制器或空间光调制器。

[0010] 所述的多通道解复用模块为WDM、TDM或光开关并行解复用器。

[0011] 所述的并行化光电探测转换模块为PIN管或APD管。

[0012] 所述的并行化电量化模块为示波器或信息处理板卡。

[0013] 所述的信号源为锁相倍频源、电光振荡器或者任意波形发生器。

[0014] 所述的数字信号处理器为FPGA或DSP。

[0015] 所述的深度网络为卷积神经网络或循环神经网络,其实施方式有CPU、GPU、TPU或者光子神经网络。

[0016] 利用上述基于深度学习的高速高精度光模数转换装置的模数转换方法,其特点在于,该方法包括两个功能:

[0017] 功能一:高速高精度光模数转换功能:

[0018] 训练阶段:所述的信号源提供已知其频率和幅度信息的标准正弦信号输入到所述的高速光模数转换系统中,由所述的高重频脉冲光源所采样,并依次通过所述的多通道解复用模块和并行化光电转换模块,在所述的并行化电量化模块后端得到受所述的高速光模

数转换系统失真影响后的数字信号,该数字信号输入所述的深度网络作为训练样本集的一部分;所述的数字信号处理器根据已知的频率和幅度信息产生标准的正弦数字信号,输入所述的深度网络作为训练样本集的另一部分;所述的深度网络结合所述的失真后的数字信号和标准正弦数字信号,对深度网络中的参数进行训练,重置深度网络中的参数,在深度网络中建立高速光模数转换系统的失真效应的逆响应;

[0019] 应用阶段:被采样信号由所述的光子采样门的第二输入端输入所述的高速光模数转换系统中,由所述的高重频脉冲光源所采样,并依次通过所述的多通道解复用模块和并行化光电转换模块,经所述的并行化电量化模块将数字信号输入所述的深度网络,所述的深度网络利用所述的高速光模数转换系统的失真效应的逆响应对所述的数字信号进行智能的信号处理,得到消除失真后的数字信号;

[0020] 功能二:定制化智能信号处理功能:

[0021] 训练阶段:所述的信号源提供根据定制的波形信号,将该波形信号输入到所述的高速光模数转换系统中,由所述的高重频脉冲光源所采样,并依次通过所述的多通道解复用模块和并行化光电转换模块,在所述的并行化电量化模块后端得到全部波形信号的采样结果,以此作为训练样本集的一部分;所述的数字信号处理器产生定制的数字信号,以此作为训练样本集的另一部分;所述的深度网络结合高速光模数转换系统的采样结果和定制数字信号,对深度网络中的参数进行训练,重置网络中的参数,在深度网络中建立一种定制的信号智能处理的计算模型;

[0022] 应用阶段:被采样信号由所述的光子采样门的第二输入端输入所述的高速光模数转换系统中,由所述的高重频脉冲光源所采样,并依次通过所述的多通道解复用模块和并行化光电转换模块,经所述的并行化电量化模块将数字信号输入所述的深度网络,所述的深度网络利用所述的定制的信号智能处理的计算模型,对所述的数字信号进行智能的信号处理,输出满足定制需求的数字信号。

[0023] 基于以上技术特点,本发明具有以下优点:

[0024] 1、采用已完成网络参数最优化配置的深度网络处理原始数据,由于算法执行速度耗时短并且内存占用小,因此可以实现数据实时处理。

[0025] 2、利用深度学习技术的学习能力,在不提高光模数转换系统复杂度的前提下,将光模数转换系统中的非线性和通道失配效应进行重构计算,输出的重构数据具有很高的信号还原性,使得高速光子模数转换系统具有高精度的能力。

[0026] 3、利用深度学习技术的归纳推断能力,针对特定需求对光模数转换系统的采样信号进行需求定制化的智能信号处理,得到用户定制的信号处理结果。

[0027] 本发明对于提升微波光子雷达和光通信系统等需要高采样速率、高时间精度、高采样精度的微波光子系统的性能,同时对于提升此类系统在复杂情况下的信号处理能力具有十分重要的作用。

附图说明

[0028] 图1为本发明高速高精度光模数转换装置的结构框图。

[0029] 图2为一种基于残留学习的卷积神经网络的实施例图。

[0030] 图3为深度网络对失真信号的恢复重建效果图,其中a为时域信号的重建效果图,b

为其重建效果的频域示意图

[0031] 图4为一种实现的智能信号处理能力的效果示意图。

具体实施方式

[0032] 下面结合附图给出本发明的一个具体实施例子,并给出了详细的实施方式和过程。本实施例以本发明的技术方案为前提进行实施,但本发明的保护范围不限于下述的实施例。

[0033] 一种可实现智能信号处理的高速高精度光模数转换装置,其中包括:高速光模数转换系统1和深度学习信号处理模块2。

[0034] 所述的高速光模数转换系统1包括高重频脉冲光源1-1、光子采样门1-2、多通道解复用模块1-3、并行化光电转换模块1-4和并行化电量化模块1-5。所述的高重频脉冲光源1-1使用主动锁模激光器,用于产生高速率的光采样序列;所述的光子采样门1-2使用马赫增德尔调制器,用于实现模拟电信号的光子采样;所述的多通道解复用模块1-3使用光开关并行解复用,用于实现高速光采样序列的多通道解复用功能,将高速的光脉冲解复用到各个通道;所述的并行化光电转换模块1-4使用N个PIN光电探测器,用于将多通道解复用后的光信号转换为电信号;所述的并行化电量化模块1-5使用多通道示波器,用于将模拟电信号转换为数字采样结果;所述的深度学习信号处理模块2包含有信号源2-1、数字信号处理器2-2和深度网络2-3,所述的信号源2-1使用微波源和任意波形发生器,用于产生根据功能定制的信号,经过所述的高速光模数转换系统1给深度网络提供训练样本;所述的数字信号处理器2-2采用DSP技术,用于产生根据功能定制的数字信号,给深度网络提供训练样本;所述的深度网络2-3使用带有两个残留块的残留学习神经网络,架构在双GPU计算机中,该网络根据训练样本进行训练,在网络中实现定制的功能,输出满足定制功能的数字信号。

[0035] 该装置的实现包括两个阶段:训练阶段和应用阶段。根据不同的功能,两个阶段的部件连接和部件功能描述如下。首先是常连部分,所述高重频脉冲光源1-1的第一输出端与所述的光子采样门1-2的第一输入端相连;被采样信号经过所述的光子采样门的第二输入端输入;所述的光子采样门1-2的第一输出端与所述的多通道解复用模块1-3的第一输入端相连,所述的多通道解复用模块1-3有N个输出端,其第n ($1 \leq n \leq N$) 输出端与所述的并行化光电转换模块1-4的第n输入端相连;所述的并行化光电转换模块1-4的第n输出端与所述的并行化电量化模块1-5的第n输入端相连;所述的并行化电量化模块1-5的第n输出端与所述的深度网络2-3的第n输入端相连。

[0036] 1、高速高精度光模数转换功能:

[0037] 训练阶段:所述的信号源2-1的第一输出端与所述的光子采样门1-2的第二输入端相连;所述的数字信号处理器2-2的第一输出端与所述的深度网络2-3的第N+1输入端相连;所述的深度网络2-3的第一输出端输出数字信号用于存储、传输或者处理。

[0038] 在此功能下,所述的信号源2-1提供已知其频率和幅度信息的标准正弦信号,具体为将奈奎斯特频率等分为24份,幅度等分为7份,共168组正弦信号,将该信号输入到所述的高速光模数转换系统1中,由所述的高重频脉冲光源1-1所采样,并依次通过所述的多通道解复用模块1-3和并行化光电转换模块1-4。在所述的并行化电量化模块1-5后端得到受所述的高速光模数转换系统1失真影响后的数字信号,以此作为训练样本集的一部分;所述的

数字信号处理器2-2根据已知的频率和幅度信息产生标准的168组正弦数字信号,以此作为训练样本集的另一部分;所述的深度网络2-3结合失真后的数字信号和标准正弦数字信号,对深度网络中的共16673个参数进行训练,重置深度网络中的参数,以此迭代多次之后,在深度网络中建立高速光模数转换系统的失真效应的逆响应。

[0039] 应用阶段:被采样信号由所述的光子采样门1-2的第二输入端输入所述的高速光模数转换系统1中,由所述的高重频脉冲光源1-1所采样,并依次通过所述的多通道解复用模块1-3和并行化光电转换模块1-4,经所述的并行化电量化模块1-5将数字信号输入所述的深度网络2-3,所述的深度网络2-3利用所述的高速光模数转换系统的失真效应的逆响应对所述的数字信号进行智能的信号处理,得到消除失真后的数字信号;

[0040] 2、定制化智能信号处理功能:

[0041] 在实施例中,实现了一种区分方波与三角波的智能信号提取功能。

[0042] 训练阶段:所述的信号源2-1的第一输出端与所述的光子采样门1-2的第二输入端相连;所述的数字信号处理器2-2的第一输出端与所述的深度网络2-3的第N+1输入端相连;所述的深度网络2-3的第一输出端输出数字信号用于存储、传输或者处理。

[0043] 在此功能下,所述的信号源2-1提供根据500组包含随机位置的三角波和随机位置的方波的混合信号,将该信号输入到所述的高速光模数转换系统1中进行模数转换。在所述的并行化电量化模块1-5后端得到全部波形信号的采样结果,以此作为训练样本集的一部分;所述的数字信号处理器2-2产生与上述信号相同位置的只含有三角波的数字信号,以此作为训练样本集的另一部分;所述的深度网络2-3结合高速光模数转换装置的采样结果和只含有三角波的数字信号,对深度网络中的共16673参数进行训练,重置网络中的参数,以此进行多次迭代之后,在深度网络中建立出一种从方波与三角波混合的信号中提取三角波的信号计算模型。

[0044] 应用阶段:被采样信号由所述的光子采样门1-2的第二输入端输入,经并行化电量化模块1-5的输出端将数字信号输入所述的深度网络2-3;该数字信号经所述的深度网络2-3中的方波与三角波混合的信号中提取三角波的信号计算模型处理后,从所述的深度网络2-3的输出端输出数字信号,用于存储、传输或者处理。

[0045] 在此功能下,所述的深度网络2-3已经建立了一种从方波与三角波混合的信号中提取三角波的信号处理计算模型,可以对所述的高速光模数转换系统1输出的数字信号进行智能的信号处理。

[0046] 上述过程中利用深度学习技术的学习能力,通过用大量实际实验数据对光模数转换系统中的非线性和通道失配特性进行训练,配置最优化的深度网络参数,完成了对高速光模数转换系统的非线性响应和通道失配响应的学习并建立了其逆响应,完成对光模数转换输出的失真效果的抑制。其效果示意图见图3。图3表示了通道失配以及非线性失真之后的采样结果经过深度网络恢复重构出原先被采样信号的时域和频域效果。另外,利用深度学习技术的归纳推断能力,通过实验数据的训练,在深度网络中建立出了智能信号处理的计算模型,完成了光模数转换系统采样信号的智能处理,见图4。图4描述了该装置实现一种选择性信号处理的能力,即在实例中实现了从方波三角波混合信号中提取三角波信号的能力。以上功能,对于提升微波光子雷达和光通信系统等需要高采样速率、高时间精度、高采样精度的微波光子系统的性能,同时对于提升此类系统在复杂情况下的信号处理能力具有

十分关键的作用。

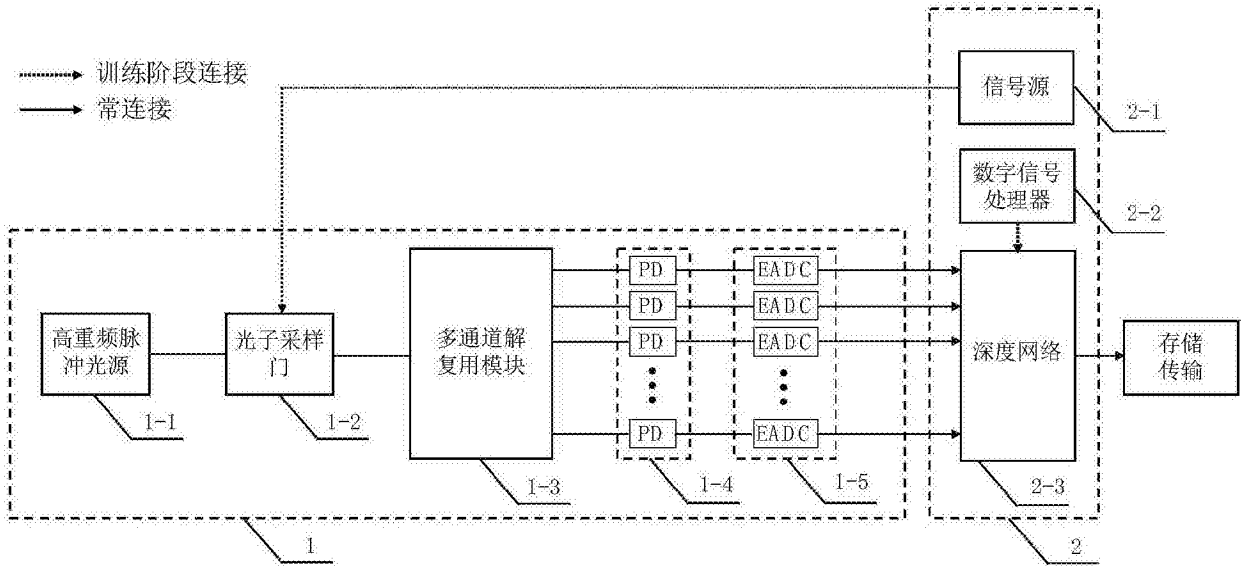


图1

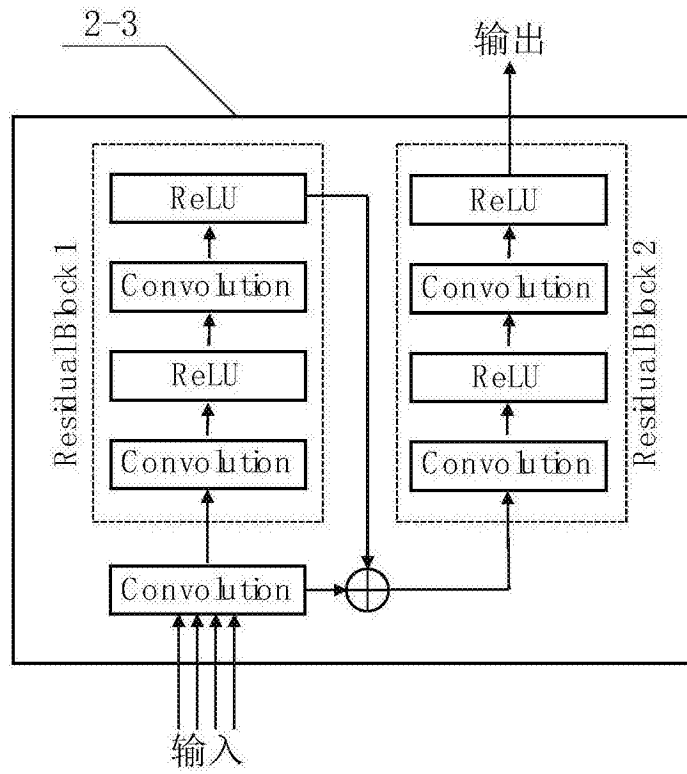
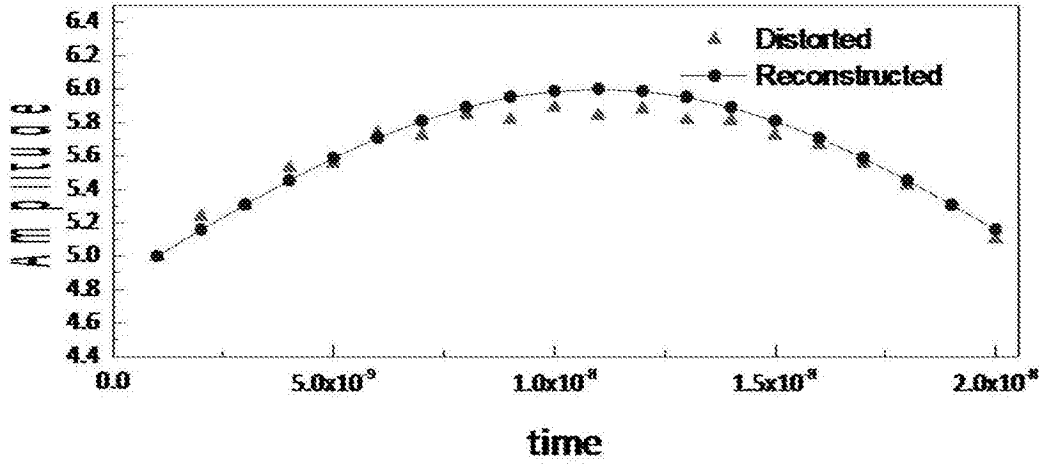
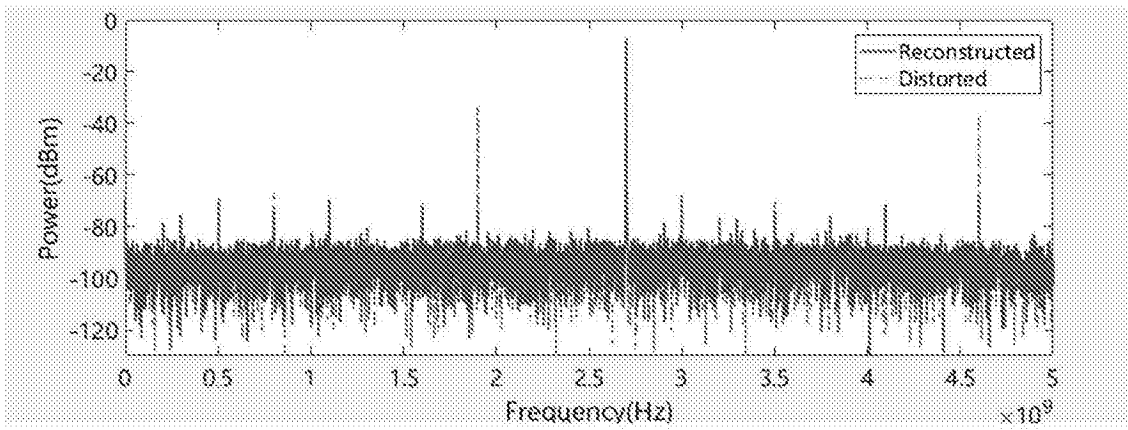


图2



(a)



(b)

图3

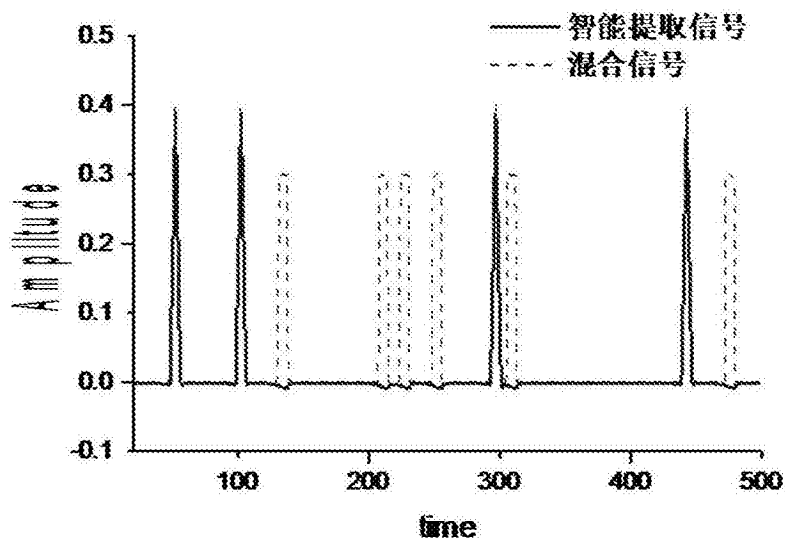


图4