



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110742647 A

(43)申请公布日 2020.02.04

(21)申请号 201911027658.0

(22)申请日 2019.10.25

(71)申请人 南京大学

地址 210023 江苏省南京市栖霞区仙林大道163号

(72)发明人 何爱军 屈晓莉 陈仿 刘云晴

(51)Int.Cl.

A61B 8/00(2006.01)

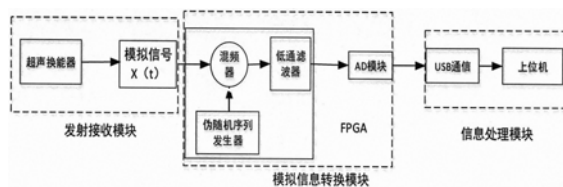
权利要求书1页 说明书3页 附图1页

(54)发明名称

一种基于压缩感知的便携式超声无损检测系统

(57)摘要

本发明涉及一种基于压缩感知的便携式超声无损检测系统,该系统包括:换能器模块、发射接收控制模块、FPGA控制模块、模拟信息转换模块、通信模块。在FPGA主控模块的控制下,将探头接收的模拟信号与伪随机序列发生器产生的随机二进制序列进行混频,然后以低于两倍的奈奎斯特采样速率进行采样,然后将信号传送至上位机,进行特征提取或者信号分析成像。本发明通过使用模拟信息转换模块,将压缩和采样同时以低速率进行,从而减少超声数据的存储量和传输存储资源的浪费,降低硬件系统的复杂度,提高系统的实时性,更好地满足便携式B型超声设备小型化、成本低的技术要求。



1. 一种基于压缩感知的便携式超声无损检测系统,其特征是包括换能器模块、发射接收控制模块、FPGA控制模块、模拟信息转换(AIC)模块、USB通信模块以及上位机。

2. 根据权利要求1所述的便携式超声无损检测系统,其特征在于系统以FPGA为主控核心,在FPGA的控制下,发射电路输出激励信号,驱动超声探头发射超声信号,接收电路对探头接收到的信号进行放大并传输给AIC模块,进行处理。

3. 根据权利要求1所述的便携式超声无损检测系统,其特征在于利用模拟信息转换(AIC)模块,将信号的压缩和采样合二为一,模拟信号 $x(t)$ 经过AIC模块之后,变成低速率信息矢量 $y[m]$,实现了模拟到信息的转换。

4. 根据权利要求1所述的便携式超声无损检测系统,其特征在于在AIC模块的输出端得到的是低速率的数字信号,因此传输到上位机后对得到的低速率信息矢量进行稀疏重构恢复原始信号,或者进行特征提取。

5. 根据权利要求1所述的便携式超声无损检测系统,其特征在于AIC模块主要由三部分组成:伪随机序列生成器、低通滤波器以及低速的模数转换器(ADC),信号进入AIC模块后处理过程为:

- a. 将超换能器采集到的超声模拟信号与伪随机序列发生器产生的序列混合调制;
- b. 将调制后的信号通过低通滤波器;
- c. 通过模数转化器(ADC)低速采样,获得数据;
- d. 将观测到的数据通过USB传到上位机;
- e. 上位机对数据进行快速成像处理并显示。

6. 根据权利要求1所述的便携式超声无损检测系统,其特征在于探头接收到的超声模拟信号可以看成由一系列不同延时时间和幅度的高斯脉冲信号叠加而成的,即信号为稀疏的、可压缩的,符合信号进行压缩感知处理的前提条件,所以ADC最后可以以低于两倍信号带宽的奈奎斯特采样速率进行随机亚采样。

7. 根据权利要求1所述的便携式超声无损检测系统,其特征在于FPGA通过控制寄存器产生伪随机序列 $P_c(t) = \{0, 1\}$,且序列的符号改变速率要大于或等于奈奎斯特采样速率,为后期的信号重构提供必要的随机性。

8. 根据权利要求1所述的便携式超声无损检测系统,其特征在于当超声换能器发射中心频率为5MHz时,以100MHz的速率产生伪随机序列与模拟信号进行相乘调制,后可以达到以20MHz的AD采样速率进行均匀采样,这种方式等价于压缩感知随机亚采样,经仿真验证过后,信号恢复后的成像质量与以100MHz的AD采样后恢复的图形质量一致。

9. 根据权利要求1所述的便携式超声无损检测系统,信号以20MHZ的速率进行采样,与100MHZ的采样速率相比,采集到的数据压缩量达80%,经过USB上传到上位机,数据传输所需的带宽降低,上下位机之间的通信更为流畅。

10. 根据权利要求1所述的便携式超声无损检测系统,其特征在于上位机将读取到的数据进行处理,完成稀疏基的构建或FFT运算,以及OMP算法的软件设计,完成对信号的重建或者进行有关信息的数据处理。

一种基于压缩感知的便携式超声无损检测系统

技术领域

[0001] 本发明主要涉及超声无损检测领域,针对目前超声无损检测数据量大、数模转换硬件要求高及成像速度慢的问题,设计了一种通过随机调制、低速采样压缩回波数据以降低数模转换硬件要求的系统,配合软件部分的动态规划、预计算索引矩阵可以实现快速的全聚焦成像。

背景技术

[0002] 便携式B型超声设备具有体积小、成本低、方便携带、可用交流电或机内电池供电等特点,非常适合在乡村、社区医院及野战医院等场合使用。因此近些年便携式B型超声的临床应用普及率和产品的市场占有率持续增加。但是,如何在确保成像质量前提下,进一步完善便携式B型超声设备,使其小型化、低成本等是相关工程技术领域颇为引人关注的问题。

[0003] 随着现代社会信息技术的飞速发展,以奈奎斯特采样理论为基础的采样方法,在信号采集、处理、存储和传输等方面都面临很大的挑战。首先,采样频率至少为信号最高频率的两倍,因此需要更加高速的模数转换器,这对高速信号采集硬件设备提出了很高的要求,系统会变得更加昂贵。而且奈奎斯特采样理论先通过高速采样得到数字信号,然后对数据进行压缩以滤除冗余数据,这种机制造成了硬件资源的浪费。其次,在数据的采集过程中会产生大量的数据,需要更大的空间存储数据,更快的数据传输方法,更高的能量消耗。因此,传统高频奈奎斯特采样对有能耗要求的应用来说并不适用。

[0004] 压缩采样理论突破了传统采样理论的限制,采样和压缩同时进行,以较低的采样速率,采样得到较少的信息样点,然后通过求解优化问题,便能准确重建原始信号。

[0005] 其中,对于一个模拟输入信号 $x(t)$,如果在奈奎斯特速率下采集信息 N 次,用 $N \times 1$ 矩阵 $x[N]$ 表示:

$$[0006] \quad x[N] = [x_1, x_2, \dots, x_N]^T$$

[0007] 对信号的采样过程可以表示为:

$$[0008] \quad Y = \Phi x$$

[0009] 其中 Φ 是采样矩阵, y 是采样信号。对于传统的奈奎斯特采样, Φ 是一个 $N \times N$ 的单位对角阵。而采样信号可以表示为:

$$[0010] \quad y[N] = [y_1, y_2, \dots, y_N]^T$$

[0011] 压缩感知采样时,使用 $\Phi_{M \times N}$ ($M < N$) 矩阵作为采样矩阵(也叫观测矩阵)对原始信号进行采样,可以表示为: $y_{M \times 1} = \Phi_{M \times N} \times x_{N \times 1}$

$$[0012] \quad \text{当 } x \text{ 是稀疏信号时, } y = \Phi x = \Phi \Psi s = \Theta s$$

[0013] 其中 Ψ 为稀疏基矩阵, s 为 x 用 Ψ 表示时的稀疏系数。

[0014] 这样得到的采样数据的个数就小于奈奎斯特采样时采样点的个数,因此实现在采样的同时对信号进行压缩。

[0015] 基于超声相控阵的无损检测成像系统,成像质量比较好,但需要处理的数据量大,

因此数据采集硬件和实时成像速度成为制约B型超声设备往小型化,低成本、便携式发展。所以需要在存储和传输数据之前进行压缩,减少对硬件的要求,以压缩感知理论为基础的模拟信息转换器(AIC)使得压缩采样理论真正进入实用。它可以代替传统的ADC,以较低的速率对高速模拟信号进行实时采样,获取所关心的信息。所以基于模拟信息转换器结构模型来降低超声回波采样率,从而减少超声数据的存储量。其中AIC要求具有实时性,及时对高速信号进行感知,同时要求系统具有较强的乘法运算能力,以完成高维的矩阵相乘,这就使得硬件实现变得困难。

发明内容

[0016] 本发明要解决的问题是:针对超声相控阵采样数据量大,存储所占内存大,系统资源浪费、实现硬件复杂等问题,本发明设计一种基于压缩感知的便携式超声无损检测系统,利用模拟信息转换器结构模型来降低超声回波采样率,在保证较高成像质量的前提下,压缩了数据量,从而减少超声数据的存储量和传输存储资源的浪费,降低硬件系统的复杂度,提高系统的实时性,更好地满足便携式B型超声设备小型化、成本低的技术要求。

[0017] 本发明的技术方案为:基于压缩感知的便携式超声无损检测系统,包括一个超声换能器、FPGA控制模块、发射接收模块、模拟信息转换模块、USB通信模块。本次设计中采用64个阵元的超声换能器,其中心频率为5MHZ,发射接收电路在FPGA的控制下,输出激励脉冲控制换能器发射超声波信号,超声信号经过探测后返回信号被换能器接收后,输入到AIC模块。在AIC模块中,伪随机序列发生器以100MHZ的速率产生{1,0}随机二进制序列,与接收到的模拟信号 $x(t)$ 相乘混频,然后通过低通滤波器处理,得到低通滤波信号,AD模数转换器再以20MHZ速率进行采样,最后将数据通过USB传输到上位机,进行信号重构和图像处理。

[0018] 本发明基于压缩感知的便携式超声无损检测系统对当前市场上的超声检测系统进行了重新的设计和改进,以100MHz的混频和20MHz的采样最终恢复图像的质量等价于以100MHz的采集速率来恢复的图像,缓解数据采集的压力,能够实现系统硬件的简单化,缓解硬件与上位机之间数据通信的压力,提高成像的速度。

附图说明

[0019] 图1是本发明中信号处理框图。

[0020] 图2是本发明总体结构图。

具体实施方式

[0021] 本发明基于压缩感知的便携式超声无损检测系统整体结构框图如图2所示,下位机包括超声换能器,发射接收模块,模拟信息转换模块和以FPGA为中心的控制模块。系统主要分为信号采集、信号处理和快速成像三个部分,其中信号采集和信号处理在下位机完成,快速成像在上位机完成。

[0022] 超声换能器采用含64阵元的探头,发射中心为5MHZ,采用相控阵收发方式,发射接收模块在FPGA主控模块的控制下,发射模块产生高压脉冲信号,驱动相控阵探头阵元产生高频超声信号,对目标区域进行超声检测,后接收探头的回波信号,设回波信号为 $x(t)$;

[0023] 如果信号 $x(t)$ 本身为稀疏信号,则可以直接送入模拟信息转换器,若 $x(t)$ 在时域

上并不是绝对稀疏信号,则要利用稀疏基找到与其对应的稀疏域,选择合适的稀疏基,如离散余弦变换基、快速傅里叶变换基、离散小波变换基等,利用这些变换基来保证信号的稀疏度,进而保证信号恢复的精确度。

[0024] 在采集数据时,本次设计使用的是随机二进制矩阵作为测量矩阵 Φ 。随机二进制矩阵意味着每一行有且仅有一个1,每一列没有1或者至多有一个1,其他的位置都是0。而且本设计使用的随机二进制矩阵还是一个行阶梯矩阵。这意味着如果第m行有一个1元素,那么第m+1行的1元素的列数会大于第m行的1元素的列数。其中符合要求的一个矩阵如下所示:

$$[0025] \quad \phi_{M \times N} = \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \dots \\ \phi_m \\ \dots \\ \phi_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1_1 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \dots & 0 & \dots & 0 & \dots \\ 0 & \dots & 1_m & \dots & 0 \\ \dots & 0 & \dots & 0 & \dots \\ 0 & \dots & 0 & 1_M & 0 \end{bmatrix}$$

[0026] 模拟信息转换模块中的伪随机序列发生器产生 $\{1,0\}$,这种随机二进制矩阵相当于压缩感知中的测量矩阵 Φ ,在硬件实现上只需改变相应元素的输出即可,易于硬件实现,具有实用价值。

[0027] 以100MHz的速率产生随机二进制序列,并与回波信号 $x(t)$ 进行相乘调制,后通过低通滤波器后使得ADC能够以较20MHz的频率对原始信号进行随机降采样,得到采样信号 $y[M]$,如图1所示。

[0028] 在采集数据时,使用一个随机二进制序列,在数据重建时再将其恢复为测量矩阵,用于信号重建。在计算机上用测量矩阵 Φ 将原始信号 $x[N]$ 从 $y[M]$ 中恢复出来,进行特征提取或者成像处理分析。

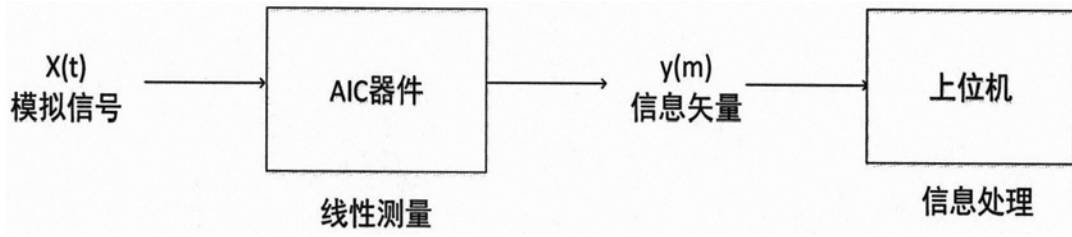


图1

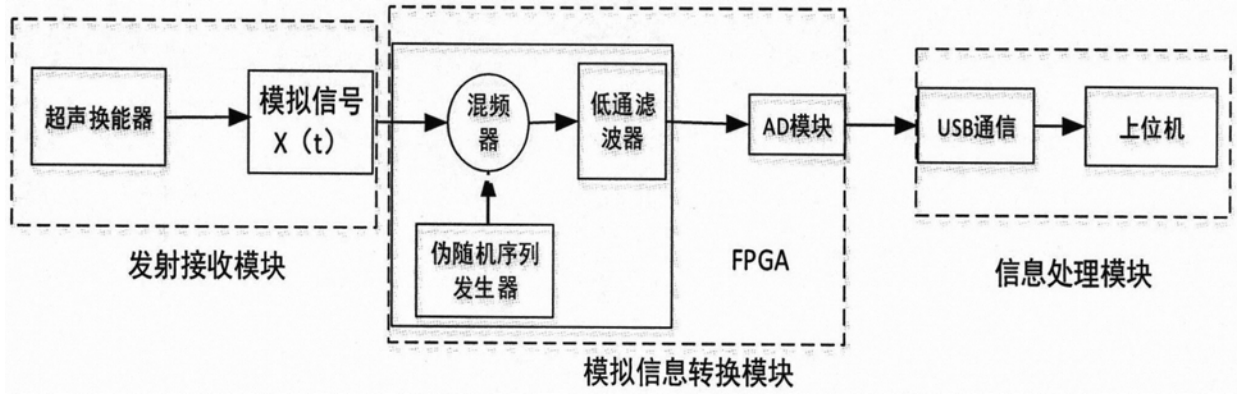


图2

专利名称(译)	一种基于压缩感知的便携式超声无损检测系统		
公开(公告)号	CN110742647A	公开(公告)日	2020-02-04
申请号	CN201911027658.0	申请日	2019-10-25
[标]申请(专利权)人(译)	南京大学		
申请(专利权)人(译)	南京大学		
当前申请(专利权)人(译)	南京大学		
[标]发明人	何爱军 屈晓莉 陈仿		
发明人	何爱军 屈晓莉 陈仿 刘云晴		
IPC分类号	A61B8/00		
CPC分类号	A61B8/4427 A61B8/5215		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明涉及一种基于压缩感知的便携式超声无损检测系统，该系统包括：换能器模块、发射接收控制模块、FPGA控制模块、模拟信息转换模块、通信模块。在FPGA主控模块的控制下，将探头接收的模拟信号与伪随机序列发生器产生的随机二进制序列进行混频，然后以低于两倍的奈奎斯特采样速率进行采样，然后将信号传送至上位机，进行特征提取或者信号分析成像。本发明通过使用模拟信息转换模块，将压缩和采样同时以低速率进行，从而减少超声数据的存储量和传输存储资源的浪费，降低硬件系统的复杂度，提高系统的实时性，更好地满足便携式B型超声设备小型化、成本低的技术要求。

