



[12] 实用新型专利说明书

专利号 ZL 200820143986.8

[45] 授权公告日 2009 年 10 月 28 日

[11] 授权公告号 CN 201333055Y

[22] 申请日 2008.12.5

[21] 申请号 200820143986.8

[73] 专利权人 中国医学科学院生物医学工程研究所

地址 300192 天津市南开区白堤路 236 号

[72] 发明人 周盛 李仙琴 王晓春 杨军
王延群

[74] 专利代理机构 天津市北洋有限责任专利代理
事务所
代理人 刘国威

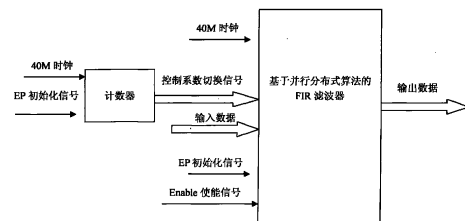
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 2 页

[54] 实用新型名称

基于分布式算法实现的高频超声信号动态滤波器

[57] 摘要

本实用新型属于超声波检测技术领域，特别涉及一种基于分布式算法实现的高频超声信号动态滤波器。为提供一种其滤波频率不是固定的，而是随着接收深度的增加而降低的动态滤波器。本实用新型采用的技术方案是：一种基于分布式算法实现的高频超声信号动态滤波器，包括计数器、Fir 滤波器，计数器设置有时钟输入端、初始化信号输入端，计数器连接到 Fir 滤波器的控制系数切换信号输入端，Fir 滤波器还设置有时钟输入端、初始化输入端、数据输入端、使能端和输出端。本实用新型主要应用于超声波检测场合。



- 1、一种基于分布式算法实现的高频超声信号动态滤波器，其特征在于，包括计数器、Fir滤波器，计数器设置有时钟输入端、初始化信号输入端，计数器连接到Fir滤波器的控制系数切换信号输入端，Fir滤波器还设置有时钟输入端、初始化输入端、数据输入端、使能端和输出端。
- 2、根据权利要求1所述的一种基于分布式算法实现的高频超声信号动态滤波器，其特征在于，所说的Fir滤波器结构为：32个8位延时寄存器依次串接，Fir滤波器数据输入端连接第一个8位延时寄存器，前16个8位延时寄存器中每一个延时寄存器的输出对应连接一个加法器的一个输入端，共计16个加法器，第17个8位延时寄存器的输出连接到第16个8位延时寄存器连接的加法器的另一个输入端，依次类推，第32个8位延时寄存器的输出对应连接第1个8位延时寄存器连接的加法器的另一个输入端，每个加法器的输出对应连接一个9位数据寄存器，共计16个9位数据寄存器，依次每4个9位数据寄存器连接成一组，共计四组，第一组的结构为，4个9位数据寄存器中每个数据寄存器的第0位分别连接到第0个查找表单元，4个9位数据寄存器中每个数据寄存器的第1位分别连接到第1个查找表单元，依次类推，4个9位数据寄存器中每个寄存器的第8位分别连接到第8个查找表单元，共计9个查找表单元，9个查找表单元内部结构相同，第0个查找表单元的输出通过一个流水线寄存器连接到第1个加法器的一个输入端，第1个查找表单元输出通过一个流水线寄存器再通过一个 2^1 乘法器连接到第1个加法器的另一个输入端，第2个查找表单元输出通过一个流水线寄存器再通过一个 2^2 乘法器连接到第2个加法器的一个输入端，第3个查找表单元输出通过一个流水线寄存器再通过一个 2^3 乘法器连接到第2个加法器的另一个输入端，依次类推，第7个查找表单元输出通过一个流水线寄存器再通过一个 2^7 乘法器连接到第4个加法器的另一个输入端，第1个加法器的输出、第2个加法器的输出分别通过一个流水线寄存器再共同连接到一个加法器汇聚成第1路输出，第3个加法器的输出、第4个加法器的输出分别通过一个流水线寄存器再共同连接到一个加法器汇聚成第2路输出，第1路输出与第2路输出分别通过一个流水线寄存器再共同连接到一个加法器汇聚成一路后经一个流水线寄存器输出，第8个查找表单元输出通过一个流水线寄存器再通过一个 2^8 乘法器与前述一路经流水线寄存器的输出通过一个加法器汇聚后，输入到一个流水线寄存器中形成第一组输出，其余三组与第一组结构相同，第一组和第二组输出分别通过一个流水线寄存器连接到加法器汇聚后经寄存器输出，第三组和第四组输出分别通过一个流水线寄存器连接到加法器汇聚后经寄存器输出，所述第一组和第二组汇聚后经寄存器输出与所述第三组和第四组汇聚后经寄存器输出再经过一个加法器汇聚成一路形成总输出。

基于分布式算法实现的高频超声信号动态滤波器

技术领域

本发明属于超声波检测技术领域、超声检测仪器，特别涉及一种基于分布式算法实现的高频超声信号动态滤波器。

技术背景

超声显像中的一个基本问题是人体软组织对超声衰减与频率大致成线性关系，大量的研究和实验表明，组织的衰减不仅与被探测介质的深度有关，还与超声波的频率有关，随着频率的升高，介质对超声能量的衰减系数增大。因此，当所发射超声波具有较宽的频带时，所接收回波中的频率成分必然与距离有关。在近场，回波频率成分主要集中在频带的高端，随着探测深度的增加，回波频率成分逐渐向频带的低端偏移，这是因为随着深度的增加，高频成分的衰减要比低频成分的衰减大，当探测深度较大时，高频成分甚至不能到达介质的深部便已全部被吸收了。

为了获得全探测深度内最佳分辨力的回声图像，希望所接收回声仅选择体表部分具有良好分辨力的高频分量，以及容易达到体内深部的低频分量，动态滤波器就是用于自动选择回声信号中有诊断价值的频率成分，并滤除近体表以低频为主的强回声和远场以高频为主的干扰的一个频率选择器，从而能有效抑制回波通带以外的噪声，改善深部的信噪比与可视性，并保持近场很高的观测频率，提高图像质量。因此，动态滤波器就是一个选频网络，它与一般选频网络不同之处，则是其滤波频率不是固定的，而是随着接收深度的增加而降低的。

在以前的模拟超声仪器中，动态滤波电路的实现一般是利用变容二极管的结电容随其反偏电压的增大而减小，从而改变了选频网络的频率。在探测浅表段，反偏电压高，则结电容小，选频网络谐振频率高。随着探测深度的增加控制反偏电压减小，则结电容随探测深度的增加而逐渐变大，选频网络的频率降低。因此选频网络的截止频率逐渐由高转低，从而达到了动态滤波的目的。然而，随着现代信号处理技术的发展，各类高性能、低价格的集成芯片的广泛应用，该模拟动态滤波器便表现出明显的不足。例如易受到外界的干扰、性能的不够稳定；精度较低，难以精确滤除噪声，直接影响了超声诊断设备的整体质量。

发明内容

为克服现有技术的不足，本实用新型的目的在于：提供一种其滤波频率不是固定的，而是随着接收深度的增加而降低的动态滤波器。

为了达到上述目的，本实用新型采用的技术方案是：

一种基于分布式算法实现的高频超声信号动态滤波器，包括计数器、Fir 滤波器，计数器设置有时钟输入端、初始化信号输入端，计数器连接到 Fir 滤波器的控制系数切换信号输入端，Fir 滤波器还设置有时钟输入端、初始化输入端、数据输入端、使能端和输出端。

所说的 Fir 滤波器结构为：32 个 8 位延时寄存器依次串接，Fir 滤波器数据输入端连接第一个 8 位延时寄存器，前 16 个 8 位延时寄存器中每一个延时寄存器的输出对应连接一个加法器的一个输入端，共计 16 个加法器，第 17 个 8 位延时寄存器的输出连接到第 16 个 8 位延

时寄存器连接的加法器的另一个输入端，依次类推，第 32 个 8 位延时寄存器的输出对应连接第 1 个 8 位延时寄存器连接的加法器的另一个输入端，每个加法器的输出对应连接一个 9 位数据寄存器，共计 16 个 9 位数据寄存器，依次每 4 个 9 位数据寄存器连接成一组，共计四组，第一组的结构为，4 个 9 位数据寄存器中每个数据寄存器的第 0 位分别连接到第 0 个查找表单元，4 个 9 位数据寄存器中每个数据寄存器的第 1 位分别连接到第 1 个查找表单元，依次类推，4 个 9 位数据寄存器中每个寄存器的第 8 位分别连接到第 8 个查找表单元，共计 9 个查找表单元，9 个查找表单元内部结构相同，第 0 个查找表单元的输出通过一个流水线寄存器连接到第 1 个加法器的一个输入端，第 1 个查找表单元输出通过一个流水线寄存器再通过一个 2^1 乘法器连接到第 1 个加法器的另一个输入端，第 2 个查找表单元输出通过一个流水线寄存器再通过一个 2^2 乘法器连接到第 2 个加法器的一个输入端，第 3 个查找表单元输出通过一个流水线寄存器再通过一个 2^3 乘法器连接到第 2 个加法器的另一个输入端，依次类推，第 7 个查找表单元输出通过一个流水线寄存器再通过一个 2^7 乘法器连接到第 4 个加法器的另一个输入端，第 1 个加法器的输出、第 2 个加法器的输出分别通过一个流水线寄存器再共同连接到一个加法器汇聚成第 1 路输出，第 3 个加法器的输出、第 4 个加法器的输出分别通过一个流水线寄存器再共同连接到一个加法器汇聚成第 2 路输出，第 1 路输出与第 2 路输出分别通过一个流水线寄存器再共同连接到一个加法器汇聚成一路后经一个流水线寄存器输出，第 8 个查找表单元输出通过一个流水线寄存器再通过一个 2^8 乘法器与前述一路经流水线寄存器的输出通过一个加法器汇聚后，输入到一个流水线寄存器中形成第一组输出，其余三组与第一组结构相同，第一组和第二组输出分别通过一个流水线寄存器连接到加法器汇聚后经寄存器输出，第三组和第四组输出分别通过一个流水线寄存器连接到加法器汇聚后经寄存器输出，所述第一组和第二组汇聚后经寄存器输出与所述第三组和第四组汇聚后经寄存器输出再经过一个加法器汇聚成一路形成总输出。

本实用新型具备以下技术效果：

基于分布式算法实现的高频超声信号动态滤波器是基于匹配滤波概念来实现的动态滤波器，在信号处理进程中，匹配滤波器系数随接收深度的变化动态地改变。基于分布式算法的设计，结合 FPGA 大量逻辑资源特性在 FPGA 上的实现，能在灵活配置资源占用的情况下实现高速数据处理，有效地提高系统信噪比。此外，本使用新型还具有不易受到外界的干扰、性能稳定；精度较高，精确滤除噪声，直接提高超声诊断设备的整体质量的特点。

附图说明

图 1 是系统总体结构示意图。

图 2 是基于并行分布式算法的 FIR 滤波器硬件结构图。

图 3 是基于分割表的 4 阶并行 FIR 滤波器硬件结构图。

具体实施方式

基于分布式算法实现的高频超声信号动态滤波器是基于匹配滤波概念来实现的动态滤波器，在信号处理进程中，匹配滤波器系数随接收深度的变化动态地改变。基于分布式算法的设计，结合 FPGA 大量逻辑资源特性在 FPGA 上的实现，能在灵活配置资源占用的情况下实现

高速数据处理，有效地提高系统信噪比。

本设计中的动态滤波器最终是应用于眼科高频超声扫查系统的，基于此，该设计是通过一组中心频率随深度动态变化的 32 阶 FIR 带通滤波器来实现的。滤波器参数采用 Hamming 窗设计，工作在 40MHz 采样频率下，系数精度为 10bit。

表 1 通频带与深度对应表

深度 (mm)	0~27	27~35	35~50
中心频率 (MHz)	8~13	7~12	5~10

FIR 滤波器是采用基于 FPGA 并采用并行分布式算法来实现的。

下面结合附图和实施例进一步说明本发明。

分布式算法(DA, distributed arithmetic)是一项重要的 FPGA 技术,主要有串行分布式和并行分布式两种结构。由分布式算法的原理可知,并行相较于串行算法,运算速度更快,所耗资源和面积也更多。本设计为了实现高速信号处理,采用了全并行的分布式算法并加入了多级流水线,同时使用分割表技术来减少查找表的资源占用。本实用新型整体结构如图 1 所示。

数据送入延时单元之后,先计算 $X(n)=x(n)+x(31-n)$ ($n=0..15$)。为了防止数据溢出,我们对其和寄存器进行了一位符号位扩展,这样就将 32 个 8 位输入数据要进行的查表运算转化为 16 个 9 位数据的查表运算。此时,该结构看作输入数据为 9bit 的 16 阶线性 FIR 滤波器。FIR 滤波器 (finite impulse response) 意为有限冲击响应滤波器。

然后根据滤波器的线性特性和分割表原理,将用来实现分布式算法的查找表以每 4 个抽头一组,分割成 4 个 $2^4 \times 12\text{bits}$ 的小型查找表,即 4 个 4 阶 FIR 滤波器级联成 16 阶。这种级联结构相对于全并行分布式算法不仅加快了查表速度,还成倍地节约了资源,很容易实现更高阶扩展。算法实现的硬件结构如图 2 所示。

所说的 FIR 滤波器结构为: 32 个 8 位延时寄存器依次连接, FIR 滤波器数据输入端连接第一个 8 位延时寄存器,前 16 个 8 位延时寄存器中的每一个的输出对应连接一个加法器的一个输入端,共计 16 个加法器,第 17 个 8 位延时寄存器的输出连接到第 16 个 8 位延时寄存器连接的加法器的另一个输入端,以此类推,第 32 个 8 位延时寄存器的输出对应连接第 1 个 8 位延时寄存器连接的加法器的另一个输入端,每个加法器的输出对应连接一个 9 位数据寄存器,共计 16 个 9 位数据寄存器,依次每 4 个 9 位数据寄存器作为一个 4 阶 FIR 滤波器的输入寄存器。每个 4 阶全并行分布式 FIR 滤波器的结构为,4 个 9 位数据寄存器中每个寄存器的第 0 位同时连接到第 0 个查找表单元,4 个 9 位数据寄存器中每个寄存器的第 1 位同时连接到第 1 个查找表单元,依次类推,4 个 9 位数据寄存器中每个寄存器的第 8 位同时连接到第 8 个查找表单元,该部分结构中 9 个查找表单元内容相同,第 0 个查找表单元的输出通过一个流水线寄存器连接到第 1 个加法器的一个输入端,第 1 个查找表单元输出通过一个流水线寄存器再通过一个 2^1 乘法器连接到第 1 个加法器的另一个输入端,第 2 个查找表单元输出通过一个流水线寄存器再通过一个 2^2 乘法器连接到第 2 个加法器的一个输入端,第 3 个查找表单

元输出通过一个流水线寄存器再通过一个 2^3 乘法器连接到第 2 个加法器的另一个输入端，依次类推，第 7 个查找表单元输出通过一个流水线寄存器再通过一个 2^7 乘法器连接到第 4 个加法器的另一个输入端，第 1 个加法器的输出、第 2 个加法器的输出再通过一个加法器汇聚成第 1 路输出，第 3 个加法器的输出、第 4 个加法器的输出再通过一个加法器汇聚成第 2 路输出，第 1 路输出与第 2 路输出再通过加法器汇聚成一路输出，第 8 个查找表单元输出通过一个流水线寄存器再通过一个 2^8 乘法器与前述一路输出通过一个加法器后，输入到一个寄存器中，即得到了 4 阶全并行分布式滤波器。第 1 个和第 2 个 4 阶滤波器的输出寄存器同时连接到一个加法器的输入端，第 3 个和第 4 个 4 阶滤波器的输出寄存器同时连接到另外一个加法器的输入端，最后将两个加法器的输出通过两个流水线寄存器后同时连接到一个加法寄存器，该加法寄存器的输出即为整个 32 阶 FIR 滤波器的输出。

具体实现过程为：首先根据滤波器的偶对称性将 32 个 8 位输入数据要进行的查表运算转化为 16 个 9 位数据的查表运算。将这 16 个 9 位数据分别存入 16 个移位寄存器 $X(n)$ ($n=0..15$)，然后每 4 个寄存器分为一组，即 $(X(0)X(1)X(2)X(3))$ ， $(X(4)X(5)X(6)X(7))$ ， $(X(8)X(9)X(10)X(11))$ ， $(X(12)X(13)X(14)X(15))$ 共 4 组，每组对应一个查找表，构成 4 个 4 阶全并行分布式 FIR 滤波器结构。以第一个寄存器组 $(X(0)X(1)X(2)X(3))$ 为例，4 个移位寄存器从低位到高位，位序数为 b 的 4 个数 $X_d[0]X_d[1]X_d[2]X_d[3]$ 组成查表地址传给第一个查找表，对应的查表输出为 $u_b[1]$ 。第一个寄存器组最后输出 $y_1 = u_0[1] + 2^1 u_1[1] + \dots + 2^7 u_7[1] - 2^8 u_8[1]$ ，具体结构如图 3 所示，求和过程加入流水线。其余几个寄存器组同时进行相同的操作，并输出 y_2 y_3 y_4 ，最后整个滤波器的输出结果为 $Y[n] = y_0 + y_1 + y_2 + y_3$ ，在求和过程中同样加入流水线结构。由于查表和加法运算速度很快^[6,9]，因此整个滤波器的速度就可以很快，一个时钟周期即可完成一个数据的运算。

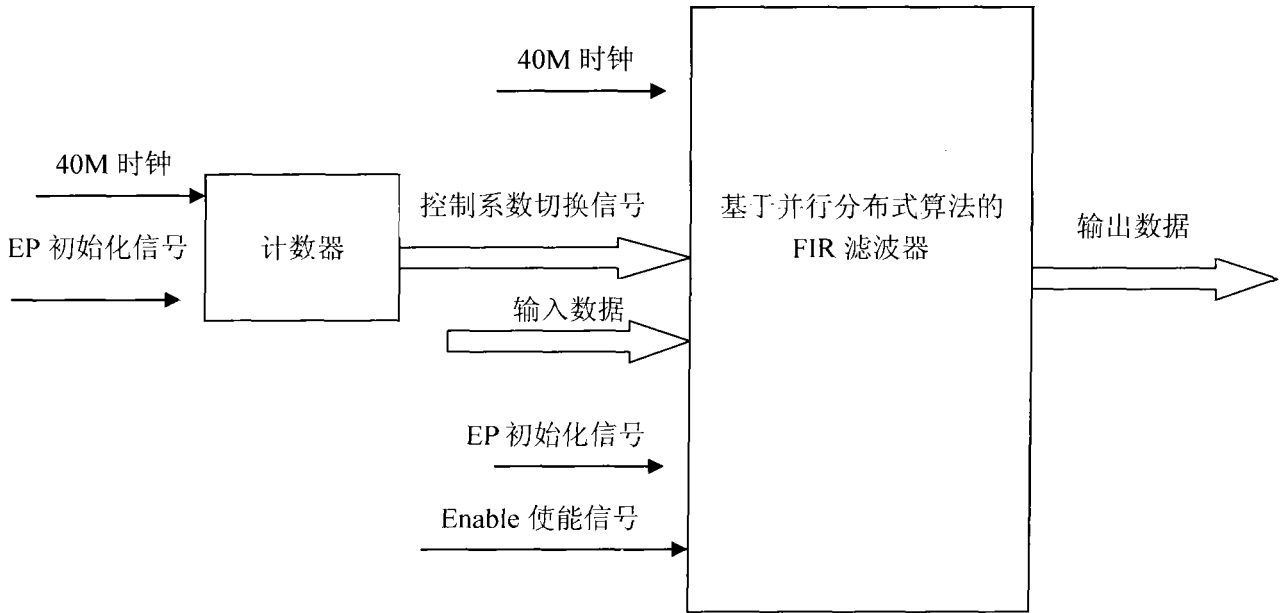


图 1

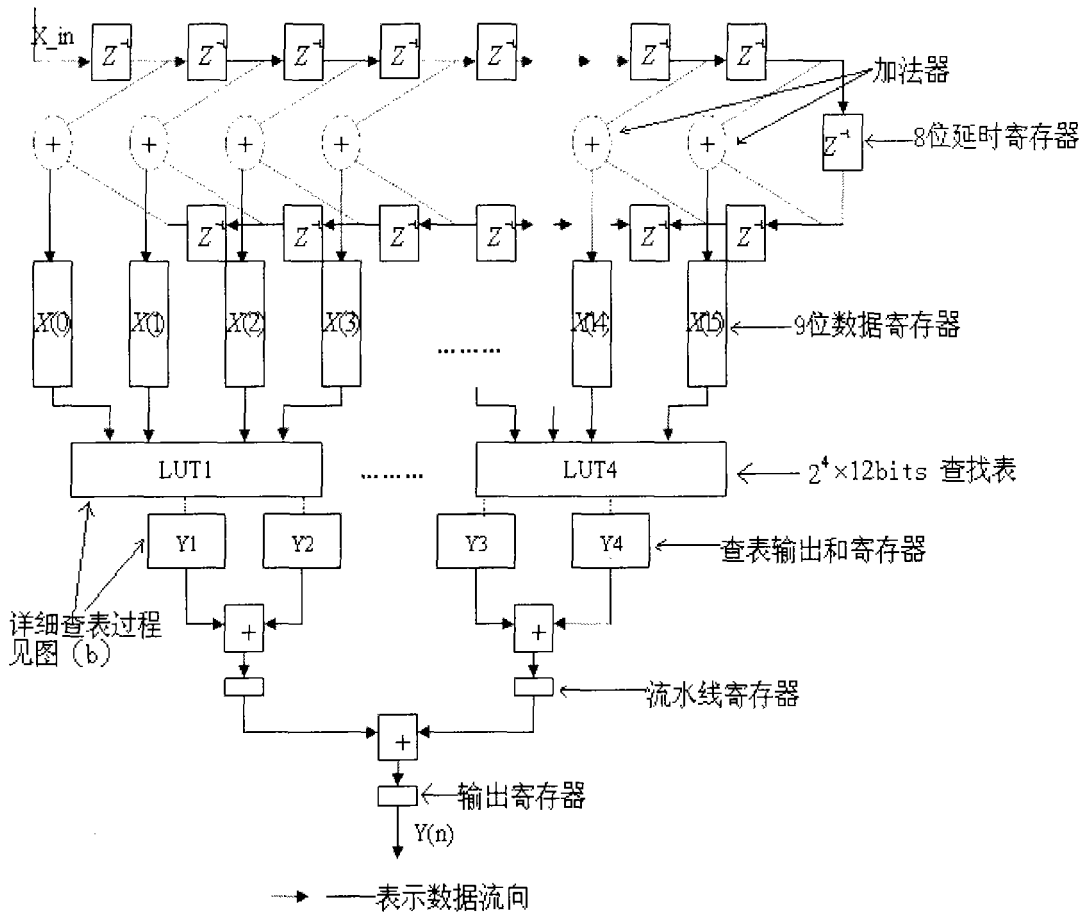


图 2

专利名称(译)	基于分布式算法实现的高频超声信号动态滤波器		
公开(公告)号	CN201333055Y	公开(公告)日	2009-10-28
申请号	CN200820143986.8	申请日	2008-12-05
[标]申请(专利权)人(译)	中国医学科学院生物医学工程研究所		
申请(专利权)人(译)	中国医学科学院生物医学工程研究所		
当前申请(专利权)人(译)	中国医学科学院生物医学工程研究所		
[标]发明人	周盛 李仙琴 王晓春 杨军 王延群		
发明人	周盛 李仙琴 王晓春 杨军 王延群		
IPC分类号	A61B8/00		
代理人(译)	刘国威		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本实用新型属于超声波检测技术领域，特别涉及一种基于分布式算法实现的高频超声信号动态滤波器。为提供一种其滤波频率不是固定的，而是随着接收深度的增加而降低的动态滤波器。本实用新型采用的技术方案是：一种基于分布式算法实现的高频超声信号动态滤波器，包括计数器、FIR滤波器，计数器设置有时钟输入端、初始化信号输入端，计数器连接到FIR滤波器的控制系数切换信号输入端，FIR滤波器还设置有时钟输入端、初始化输入端、数据输入端、使能端和输出端。本实用新型主要应用于超声波检测场合。

