



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105232087 A

(43) 申请公布日 2016. 01. 13

(21) 申请号 201510746349. 4

(22) 申请日 2015. 11. 05

(71) 申请人 无锡祥生医学影像有限责任公司

地址 214028 江苏省无锡市新区硕放工业园
五期 51、53 号地块长江东路 228 号

(72) 发明人 严凯 赵明昌 陆坚 莫善珏

(74) 专利代理机构 无锡市大为专利商标事务所
(普通合伙) 32104

代理人 曹祖良 韩凤

(51) Int. Cl.

A61B 8/08(2006. 01)

A61B 8/00(2006. 01)

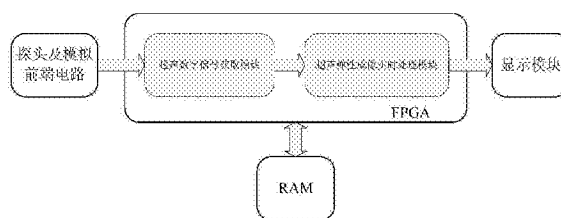
权利要求书2页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

超声弹性成像实时处理系统

(57) 摘要

本发明涉及超声医学影像领域,具体涉及一种基于FPGA实现的超声弹性成像系统及其工作方法。该系统包括前端超声数字信号获取模块,中端超声弹性成像实时处理模块,后端弹性图像显示模块。本发明的优点在于,仅用FPGA完成核心的弹性成像信号处理,并实时显示弹性图像,无需将前端超声数据传输到上位机,从而简化系统,提高产品性价比。



1. 超声弹性成像实时处理系统,其特征是:包括一块 FPGA 及其外接的 RAM,所述 FPGA 前端连接超声探头及前端模拟电路,FPGA 后端连接显示模块;FPGA 内部包括超声数字信号获取模块和超声弹性成像实时处理模块,超声数字信号获取模块控制探头发射用于弹性成像的超声波信号,并接收回波信号,然后由超声弹性成像实时处理模块对接收信号进行缓存和处理,并将处理后的弹性图像实时输出到显示模块;

所述超声弹性成像实时处理模块包括依次连接的互相关运算模块、比较模块、空间位移输出模块、梯度运算模块、弹性信息输出模块,其中互相关运算模块有 N 个,比较模块具有 N 输入,分别连接 N 个互相关运算模块;

所述 N 个互相关运算模块,分别用于计算一空间像素的当前帧数据和存储数据 1 ~ N 的互相关系数;

所述 N 输入的比较模块接收 N 个互相关运算模块输出的互相关系数,用于搜索具有最佳互相关系数的存储数据;

所述空间位移输出模块,用于计算具有最佳互相关系数的存储数据空间位置信息与当前像素位置信息的差值,即位移,并锁存住该空间像素的位移信息;

所述梯度运算模块,用于将空间位移信息转化为弹性信息;

所述弹性信息输出模块,用于动态实时刷新扫查目标中所关注像素的弹性信息。

2. 如权利要求 1 所述的超声弹性成像实时处理系统,其特征是,系统的工作过程如下:

步骤一,在超声数字信号获取模块的控制下对待检查的目标连续扫查多帧图像,并对超声射频原始数据进行存储;

步骤二,互相关运算模块对步骤一中一空间像素的当前帧数据和存储数据进行互相关处理,计算互相关系数:

假设帧数据大小是 K,空间像素 M 的相邻采样值组成的当前帧数据是 $x_{\text{now}} = [x_{n-\frac{K}{2}}, x_{n-\frac{K}{2}+1}, \dots, x_{n+\frac{K}{2}}]$,其中 n 是当前空间像素 M 的位置信息,

第 i 个相邻的历史帧数据是 $x_{\text{pre}_i} = [x_{n-\frac{K}{2}+i}, x_{n-\frac{K}{2}+1+i}, \dots, x_{n+\frac{K}{2}+i}]$,

将第 i 个相邻的历史帧数据与此段数据做互相关运算,得到的互相关系数为:

$$\text{theta}(i) = \text{cov}(x_{\text{now}}, x_{\text{pre}_i}) / \sqrt{D(x_{\text{now}})D(x_{\text{pre}_i})},$$

其中 $\text{cov}(x_{\text{now}}, x_{\text{pre}_i}) = \frac{1}{K} \sum_{k=n-\frac{K}{2}}^{k=n+\frac{K}{2}} [x_{\text{now}}(k) - \text{mean}(x_{\text{now}})]x[x_{\text{pre}_i}(k) - \text{mean}(x_{\text{pre}_i})]$,

$$D(x_{\text{now}}) = \frac{1}{K} \sum_{k=n-\frac{K}{2}}^{k=n+\frac{K}{2}} [x_{\text{now}}(k) - \text{mean}(x_{\text{now}})]^2,$$

$$D(x_{\text{pre}_i}) = \frac{1}{K} \sum_{k=n-\frac{K}{2}}^{k=n+\frac{K}{2}} [x_{\text{pre}_i}(k) - \text{mean}(x_{\text{pre}_i})]^2;$$

比较模块按照 $\max_{i=-N/2 \sim N/2} \text{theta}(i)$ 在 $-N/2 \sim N/2$ 之间搜寻最大互相关系数所对应的偏移量位置信息 i,空间位移输出模块在 FPGA 内实现空间像素 M 的射频原始数据转化为反映目标弹性信息的空间偏移量 $\text{distant}(M) = i * (1/\text{fs}) * (c/2)$,其中 c 为超声波传输速度,fs 为系统采样率;

步骤三, 梯度运算模块对步骤二中所得结果计算梯度信息 $\nabla \text{distant} = \partial \text{distant}(M) / \partial x$, 其中 $x = (1/f_s) * (c/2)$;

步骤四, 对二维扫查图遍历步骤二和步骤三, 计算所有像素的梯度信息, 在 FPGA 内实现梯度信息转化为生物组织弹性图 ;

步骤五, 弹性信息输出模块驱动显示模块实时显示弹性图。

超声弹性成像实时处理系统

技术领域

[0001] 本发明涉及超声医学影像领域,具体来说是基于 FPGA 实现的实时超声弹性成像系统。

背景技术

[0002] 超声探测目标的弹性信息,作为一项比较重要的生物指标,在临床上有一定的指导意义。准静态弹性成像技术,可以通过超声仪器对检测目标的硬度信息进行获取。作为超声影像领域重要的临床分支应用,这项技术在过去的二十几年得到深入的研究。

[0003] 如何快速实时地获取检测目标在受到压力后的空间位移信息,是准静态超声弹性成像中最棘手的问题。目前已有研究表明基于信号互相关技术的空间位移信息估计是比较准确可靠的方法。然而,这种算法包含了一系列乘法和积分等复杂的逻辑运算,对硬件资源消耗很大。现阶段,超声弹性成像的典型处理架构是通过 FPGA 把前端射频数据上传到 PC,由 PC 来进行弹性成像处理,这种处理方法对 PC 的性能提出了很大的挑战。高性能的 PC 往往需要高性能的主板与之配合,这种硬件系统架构无疑增加了低端产品的成本。

[0004] 基于 FPGA 的嵌入式系统设计方案可以将复杂的算法集成到硬件系统中,实现片上系统,将硬件成本做到最小化,并且采用这种方案设计出的产品还具有便携,节能等优点。因此,设计一个具有强大数据获取和处理能力的 FPGA 平台方案,是非常有必要的。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于针对现有弹性成像算法计算量大和低端产品受限于硬件成本的矛盾,提供一种基于 FPGA 的超声弹性成像实时处理系统,它可以适用于各种大规模可编程阵列平台上,实时显示弹性图。

[0006] 为实现上述目的,本发明所述的超声弹性成像实时处理系统采用一块 FPGA 及其外接的 RAM,所述 FPGA 前端连接超声探头及前端模拟电路, FPGA 后端连接显示模块;FPGA 内部包括超声数字信号获取模块和超声弹性成像实时处理模块,超声数字信号获取模块控制探头发射用于弹性成像的超声波信号,并接收回波信号,然后由超声弹性成像实时处理模块对接收信号进行缓存和处理,并将处理后的弹性图像实时输出到显示模块;

[0007] 所述超声弹性成像实时处理模块包括依次连接的互相关运算模块、比较模块、空间位移输出模块、梯度运算模块、弹性信息输出模块,其中互相关运算模块有 N 个,比较模块具有 N 输入,分别连接 N 个互相关运算模块;

[0008] 所述 N 个互相关运算模块,分别用于计算一空间像素的当前帧数据和存储数据 $1 \sim N$ 的互相关系数;

[0009] 所述 N 输入的比较模块接收 N 个互相关运算模块输出的互相关系数,用于搜索具有最佳互相关系数的存储数据;

[0010] 所述空间位移输出模块,用于计算具有最佳互相关系数的存储数据空间位置信息与当前像素位置信息的差值,即位移,并锁存住该空间像素的位移信息;

[0011] 所述梯度运算模块,用于将空间位移信息转化为弹性信息;

[0012] 所述弹性信息输出模块,用于动态实时刷新扫描目标中所关注像素的弹性信息。

[0013] 系统的工作过程如下:

[0014] 步骤一,在超声数字信号获取模块的控制下对待检查的目标连续扫描多帧图像,并对超声射频原始数据进行存储;

[0015] 步骤二,互相关运算模块对步骤一中一空间像素的当前帧数据和存储数据进行互相关处理,计算互相关系数:

[0016] 假设帧数据大小是 K , 空间像素 M 的相邻采样值组成的当前帧数据是 $x_{\text{now}} = [x_{n-\frac{K}{2}}, x_{n-\frac{K}{2}+1}, \dots, x_{n+\frac{K}{2}}]$, 其中 n 是当前空间像素 M 的位置信息,

[0017] 第 i 个相邻的历史帧数据是 $x_{\text{pre}_i} = [x_{n-\frac{K}{2}+i}, x_{n-\frac{K}{2}+1+i}, \dots, x_{n+\frac{K}{2}+i}]$,

[0018] 将第 i 个相邻的历史帧数据与此段数据做互相关运算,得到的互相关系数为:

$$\text{theta}(i) = \text{cov}(x_{\text{now}}, x_{\text{pre}_i}) / \sqrt{D(x_{\text{now}})D(x_{\text{pre}_i})},$$

[0019] 其中

$$\text{cov}(x_{\text{now}}, x_{\text{pre}_i}) = \frac{1}{K} \sum_{k=n-K/2}^{k=n+K/2} [x_{\text{now}}(k) - \text{mean}(x_{\text{now}})]x[x_{\text{pre}_i}(k) - \text{mean}(x_{\text{pre}_i})],$$

$$D(x_{\text{now}}) = \frac{1}{K} \sum_{k=n-K/2}^{k=n+K/2} [x_{\text{now}}(k) - \text{mean}(x_{\text{now}})]^2,$$

$$D(x_{\text{pre}_i}) = \frac{1}{K} \sum_{k=n-K/2}^{k=n+K/2} [x_{\text{pre}_i}(k) - \text{mean}(x_{\text{pre}_i})]^2;$$

[0021] 比较模块按照 $\max_{i = -N/2 \sim N/2} \text{theta}(i)$ 在 $-N/2 \sim N/2$ 之间搜寻最大互相关系数所对应的偏移量位置信息 i , 空间位移输出模块在 FPGA 内实现空间像素 M 的射频原始数据转化为反映目标弹性信息的空间偏移量 $\text{distant}(M) = i * (1/f_s) * (c/2)$, 其中 c 为超声波传输速度, f_s 为系统采样率;

[0022] 步骤三, 梯度运算模块对步骤二中所得结果计算梯度信息 $\nabla \text{distant} = \partial \text{distant}(M) / \partial x$, 其中 $x = (1/f_s) * (c/2)$;

[0023] 步骤四, 对二维扫描图遍历步骤二和步骤三, 计算所有像素的梯度信息, 在 FPGA 内实现梯度信息转化为生物组织弹性图;

[0024] 步骤五, 弹性信息输出模块驱动显示模块实时显示弹性图。

[0025] 本发明的显著特点在于以下几点:

[0026] (1) 采用基于 FPGA 的嵌入式系统设计方案, 将复杂的信号处理算法集成到硬件系统中, 实现软硬件一体化, 设计的产品具有体积小、便携、节能等优点。

[0027] (2) 在 FPGA 中, 可以获取前端射频超声信号, 通过硬件编程语言完成信号处理, 减少信号处理算法数据源质量不高的问题。

[0028] (3) 通过对 FPGA 的重新配置, 扩展 FPGA 的信号处理功能, 使系统可以适用于脉冲多普勒, 血流多普勒等其他超声应用模式。

[0029] (4) 基于 FPGA 的嵌入式处理可以减少数据流程, 保证实时性。

附图说明

[0030] 图 1 基于 FPGA 实现的实时超声弹性成像系统的系统框图。

[0031] 图 2 基于 FPGA 实现的超声弹性成像系统的实时处理模块的流程图。

具体实施方式

[0032] 下面根据附图对本发明的具体实施方式作进一步的详细说明。

[0033] 参照图 1, 本发明所采用的硬件装置包括探头及前端模拟电路、一块低功耗的 FPGA 及其外接的 RAM、一个显示模块及其外围配置电路。其中: 所述的探头及模拟前端电路用于发射和接收超声波信号, 模拟前端电路可连接线阵、凸阵、相控阵等常规探头; 所述的 FPGA 及其外接的 RAM 构成低功耗处理器, 它片内有若干支持大数据量计算的逻辑单元、乘法器、缓存单元等, 具有存储功能; 所述的显示模块用于显示 FPGA 输出信息。各个硬件组成部分之间的连接关系为: 探头及模拟前端电路与 FPGA 相连; FPGA 与外挂 RAM、显示模块相连。

[0034] 图 1 所示基于 FPGA 的超声弹性成像系统的信号处理流程如下:

[0035] (1) 不同种类的超声探头通过探头转接板电路等模拟前端部件与 FPGA 相连, FPGA 内部包括超声数字信号获取模块和超声弹性成像实时处理模块, 超声数字信号获取模块控制探头发射用于弹性成像的超声波信号, 并接收回波信号;

[0036] (2) 超声弹性成像实时处理模块对接收信号进行缓存和处理;

[0037] (3) FPGA 将处理后的弹性图像实时输出到显示模块。

[0038] 参照图 2, 本发明的基于 FPGA 的超声弹性成像实时处理模块包括: N 个互相关运算模块, 一个 N 输入的比较模块, 一个空间位移输出模块, 一个梯度运算模块, 一个弹性信息输出模块。其中:

[0039] 所述的 N 个互相关运算模块, 分别用于计算某空间像素的当前帧数据和存储数据 $1 \sim N$ 的互相关;

[0040] 所述的 N 输入的比较模块, 用于搜索具有最佳相关系数的存储数据;

[0041] 所述的空间位移输出模块, 用于计算具有最佳相关系数的存储数据空间位置信息与当前像素位置信息的差值, 并锁存住该空间像素的位移差值信息;

[0042] 所述的梯度运算模块, 用于将空间位移信息转化为弹性信息;

[0043] 所述的弹性信息输出模块, 用于动态实时刷新扫查目标中所关注像素的弹性信息。

[0044] 基于 FPGA 实现的超声弹性成像实时处理系统的具体工作方法如下:

[0045] 步骤一, 对待检查的目标连续扫查多帧图像, 并对超声射频原始数据进行存储。

[0046] 步骤二, 通过 verilog/vhdl 编程, 互相关运算模块对步骤一中某空间像素的当前帧数据和存储数据进行互相关处理, 计算互相关系数:

[0047] 假设帧数据大小是 K, 空间像素 M 的相邻采样值组成的当前帧数据是

$x_{\text{now}} = [x_{n-\frac{K}{2}}, x_{n-\frac{K}{2}+1}, \dots, x_{n+\frac{K}{2}}]$, 其中 n 是当前空间像素 M 的位置信息,

[0048] 第 i 个相邻的历史帧数据是 $x_{\text{pre}_i} = [x_{n-\frac{K}{2}+i}, x_{n-\frac{K}{2}+1+i}, \dots, x_{n+\frac{K}{2}+i}]$,

[0049] 将第 i 个相邻的历史帧数据与此段数据做互相关运算,得到的互相关系数为:

$$\text{theta}(i) = \text{cov}(x_{\text{now}}, x_{\text{pre}_i}) / \sqrt{D(x_{\text{now}})D(x_{\text{pre}_i})},$$

[0050] 其中

$$\text{cov}(x_{\text{now}}, x_{\text{pre}_i}) = \frac{1}{K} \sum_{k=n-K/2}^{k=n+K/2} [x_{\text{now}}(k) - \text{mean}(x_{\text{now}})] [x_{\text{pre}_i}(k) - \text{mean}(x_{\text{pre}_i})],$$

$$D(x_{\text{now}}) = \frac{1}{K} \sum_{k=n-K/2}^{k=n+K/2} [x_{\text{now}}(k) - \text{mean}(x_{\text{now}})]^2,$$

$$D(x_{\text{pre}_i}) = \frac{1}{K} \sum_{k=n-K/2}^{k=n+K/2} [x_{\text{pre}_i}(k) - \text{mean}(x_{\text{pre}_i})]^2.$$

[0052] 比较模块按照 $\max_{i=-N/2 \sim N/2} \text{theta}(i)$ 在 $-N/2 \sim N/2$ 之间搜寻最大互相关系数所对应的偏移量位置信息 i , 空间位移输出模块在 FPGA 内实现空间像素 M 的射频原始数据转化为反映目标弹性信息的空间偏移量 $\text{distant}(M) = i * (1/\text{fs}) * (c/2)$, 其中 c 为超声波传输速度 1540m/s , fs 为系统采样率; N 为搜索区域大小, 假设为 100。

[0053] 步骤三, 通过 verilog/vhdl 编程, 梯度运算模块对步骤二中所得结果计算梯度信息 $\nabla \text{distant} = \partial \text{distant} / \partial x$, 其中 $x = (1/\text{fs}) * (c/2)$ 。

[0054] 步骤四, 对二维扫查图遍历步骤二和步骤三, 计算所有像素的梯度信息, 在 FPGA 内实现梯度信息转化为生物组织弹性图。

[0055] 步骤五, 通过 verilog/vhdl 编程, 由弹性信息输出模块驱动显示模块实时显示弹性图。

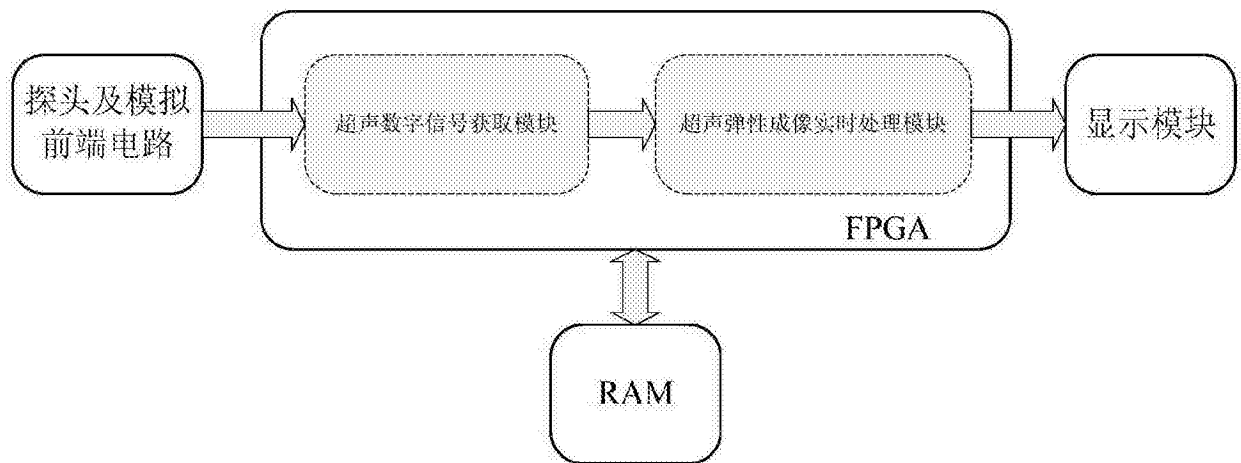


图 1

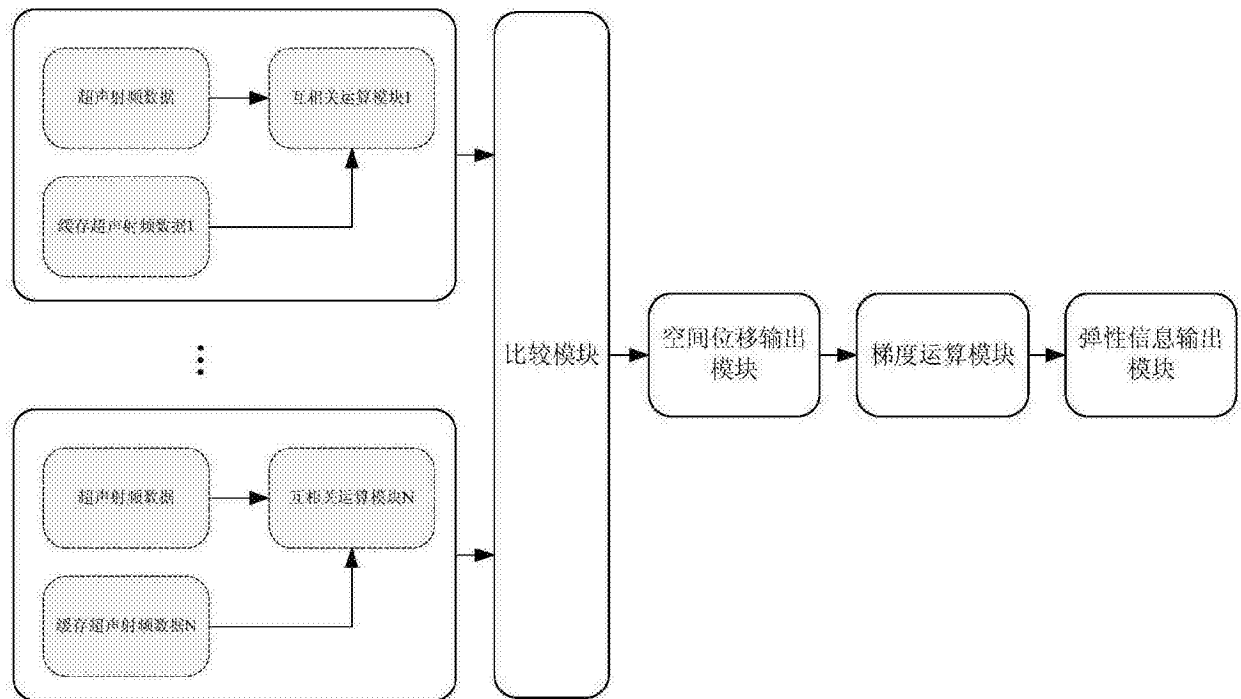


图 2

专利名称(译)	超声弹性成像实时处理系统		
公开(公告)号	CN105232087A	公开(公告)日	2016-01-13
申请号	CN201510746349.4	申请日	2015-11-05
[标]申请(专利权)人(译)	无锡祥生医学影像有限责任公司		
申请(专利权)人(译)	无锡祥生医学影像有限责任公司		
当前申请(专利权)人(译)	无锡祥生医学影像有限责任公司		
[标]发明人	严凯 赵明昌 陆坚 莫善珏		
发明人	严凯 赵明昌 陆坚 莫善珏		
IPC分类号	A61B8/08 A61B8/00		
代理人(译)	韩凤		
其他公开文献	CN105232087B		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明涉及超声医学影像领域，具体涉及一种基于FPGA实现的超声弹性成像系统及其工作方法。该系统包括前端超声数字信号获取模块，中端超声弹性成像实时处理模块，后端弹性图像显示模块。本发明的优点在于，仅用FPGA完成核心的弹性成像信号处理，并实时显示弹性图像，无需将前端超声数据传输到上位机，从而简化系统，提高产品性价比。

