



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101112320 B

(45) 授权公告日 2010.07.21

(21) 申请号 200610061884.7

(22) 申请日 2006.07.28

(73) 专利权人 深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司

地址 518057 广东省深圳市南山区高新技术产业园区科技南十二路迈瑞大厦

(72) 发明人 蒋勇 胡勤军 程东彪

(74) 专利代理机构 深圳市睿智专利事务所 44209

代理人 王志明 陈鸿荫

(51) Int. Cl.

A61B 8/00 (2006.01)

G06F 19/00 (2006.01)

G01N 29/36 (2006.01)

(56) 对比文件

US 6123671 A, 2000.09.26, 说明书第1栏第12行-第10栏第31行, 附图1、3、8.

US 5501219 A, 1996.03.26, 说明书第1栏第

16行-第4栏第51行, 附图1-4.

US 6110116 A, 2000.08.29, 说明书第2栏第19行-40栏第18行, 附图1a-11.

说明书第1栏第12行-第18栏第48行, 附图1-8.

说明书第1栏第16行-第6栏第43行, 附图1-4.

马家辰, 沈毅, 苏宝库. "超声声束形成技术的对比分析". Chinese Journal of Medical Instrumentation 29(6), 2005, 29(6), 第443-445及438页.

审查员 董西健

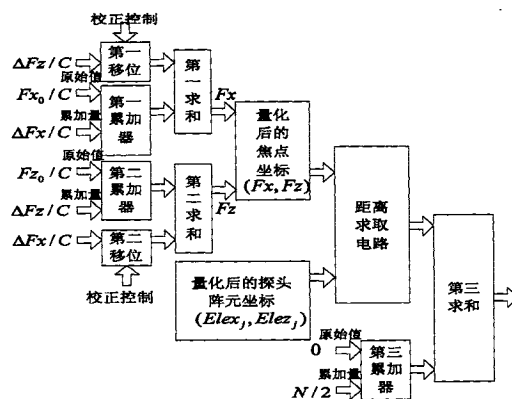
权利要求书 3 页 说明书 7 页 附图 4 页

(54) 发明名称

波束合成的接收聚焦参数的实时计算方法及其装置

(57) 摘要

一种波束合成的接收聚焦参数的实时计算的方法和装置, 所述装置作为一个附件接入超声成像系统的接收波束合成模块的信号输入端, 包括: 第一累加器和第二累加器, 用于计算量化后的焦点坐标 (Fx, Fz), 距离求取电路, 用于计算量化后的焦点坐标 (Fx, Fz) 和量化后探头第 j 个阵元的坐标 (Elexj, Elezj) 之间的距离, 第三累加器, 用于累加 i\*N/2 的数值; 第三求和器, 用于读取第三累加器和距离求取电路的输出结果并把两者相加后作为实时计算的回波数据地址输出。采用本发明的技术方案能节省系统的存储器资源, 电路更简单, 系统切换探头时装载参数的速度较快, 而且可以实现波束校正。



1. 一种超声波束的合成方法,包括如下步骤:

a. 探头各阵元接收来自接收线的反射回波信号;

b. 所述探头各阵元把接收到的反射回波信号送入各自的信号接收处理通道进行放大处理和模数转换;

c. 经模数转换后的各通道数字化回波数据分别被送入 FIFO 存储器;

其特征在于,还包括如下步骤:

d. 波束合成参数生成模块实时计算各通道 FIFO 存储器的数字化回波数据的读地址;

e. 接收波束合成模块通过波束合成总线按照波束合成参数生成模块产生的读地址,读取各接收通道的回波数据进行波束合成;

在所述步骤 d 中,如果每隔 N 个采样点计算一次读地址,某一信号接收线第 i 个接收焦点、第 j 个通道的回波数据对应的读地址的计算公式如下:

$$Addr_{ij} = \left\lfloor \sqrt{\left(\frac{Elex_j}{C} - \frac{Fx_0}{C} - i * \frac{\Delta F_x}{C} - k_i \frac{\Delta F_x}{N_d * C}\right)^2 + \left(\frac{Elez_j}{C} - \frac{Fz_0}{C} - i * \frac{\Delta F_z}{C} - k_i \frac{\Delta F_z}{N_d * C}\right)^2} + i * N / 2 \right\rfloor$$

其中,  $(Elex_j, Elez_j)$  和  $(Fx_0, Fz_0)$  分别为探头第 j 个阵元的坐标和某一信号接收线第 i 个接收焦点的坐标,  $\Delta F_x$  和  $\Delta F_z$  分别为相邻两个接收焦点的横坐标差值和纵坐标差值, C 为反射回波的传播速度,  $N_d$  为 2 的整次幂。

2. 根据权利要求 1 所述的超声波束的合成方法,其特征在于:所述实时计算回波数据读地址的硬件实现方式包括如下过程:

i、利用第一累加器计算原始值  $Fx_0/C$  及其累加量  $i \Delta F_x/C$ ,利用第二累加器计算原始值  $Fz_0/C$  及其累加量  $i \Delta F_z/C$ ,利用第一移位和第二移位分别计算  $k_i \Delta F_x/(CN_d)$  和  $k_i \Delta F_z/(CN_d)$ ;

ii、所述第一累加器和第一移位的输出结果在第一求和处相加;所述第二累加器和第二移位的输出结果在第二求和处相加,由此获得量化后的焦点坐标  $(F_x, F_z)$ ;

iii、距离求取电路读取量化后的焦点坐标  $(F_x, F_z)$  和量化后探头第 j 个阵元的坐标  $(Elex_j, Elez_j)$  并计算两坐标点之间的距离;

iv、由第三累加器累加获得  $i * N / 2$  的数值;

v、第三累加器和距离求取电路的输出结果在第三求和处相加,所述第三求和的输出结果就是实时计算的回波数据读地址。

3. 一种超声波束的合成方法,包括如下步骤:

a. 探头各阵元接收来自接收线的反射回波信号;

b. 所述探头各阵元把接收到的反射回波信号送入各自的信号接收处理通道进行放大处理和模数转换;

c. 经模数转换后的各通道数字化回波数据分别被送入 FIFO 存储器;

其特征在于,还包括如下步骤:

d. 波束合成参数生成模块实时计算各通道 FIFO 存储器的数字化回波数据的读地址;

e. 接收波束合成模块通过波束合成总线按照波束合成参数生成模块产生的读地址,读取各接收通道的回波数据进行波束合成;

在所述步骤 d 中,如果每隔 N 个采样点计算一次读地址,某一信号接收线第 i 个接收焦点、第 j 个通道的回波数据对应的读地址的计算公式如下:

$$Addr_{ij} = \sqrt{\left(\frac{Elex_j}{C} - \frac{Fx_0}{C} - i * \frac{\Delta F_x}{C}\right)^2 + \left(\frac{Elez_j}{C} - \frac{Fz_0}{C} - i * \frac{\Delta F_z}{C}\right)^2} + i * N/2$$

其中,  $(Elex_j, Elez_j)$  和  $(Fx_0, Fz_0)$  分别为第  $j$  个通道所对应的探头阵元的坐标和某一信号接收线第  $i$  个接收焦点的坐标,  $\Delta F_x$  和  $\Delta F_z$  分别为相邻两个接收焦点的横坐标差值和纵坐标差值,  $C$  为反射回波的传播速度。

4. 根据权利要求 3 所述的超声波束的合成方法, 其特征在于: 所述实时计算回波数据读地址的硬件实现方式包括如下过程:

i、利用第一累加器计算原始值  $Fx_0/C$  及其累加量  $i \Delta F_x/C$ , 利用第二累加器计算原始值  $Fz_0/C$  及其累加量  $i \Delta F_z/C$ , 由此获得量化后的焦点坐标  $(F_x, F_z)$ ;

ii、距离求取电路读取量化后的焦点坐标  $(F_x, F_z)$  和量化后探头第  $j$  个阵元的坐标  $(Elex_j, Elez_j)$  并计算两坐标点之间的距离;

iii、 $i*N/2$  的数值由第三累加器计算;

iv、第三累加器和距离求取电路的输出结果在第三求和处相加, 所述第三求和的输出结果就是实时计算的回波数据读地址。

5. 一种波束合成的接收聚焦参数的实时计算装置, 该装置作为一个独立附件接入超声成像系统的接收波束合成模块的信号输入端, 包括至少一个聚焦数据计算器, 其特征在于: 所述聚焦数据计算器包括:

第一累加器和第二累加器, 用于计算量化后的焦点坐标  $(F_x, F_z)$ ;

距离求取电路, 用于计算量化后的焦点坐标  $(F_x, F_z)$  和量化后探头第  $j$  个阵元的坐标  $(Elex_j, Elez_j)$  之间的距离;

第三累加器, 用于累加  $i*N/2$  的数值;

第三求和器, 用于读取第三累加器和距离求取电路的输出结果并把两者相加后作为实时计算的回波数据读地址输出;

所述距离求取电路的一个输入端连接第一累加器和第二累加器的输出端, 另一个输入端连接量化后探头第  $j$  个阵元的坐标  $(Elex_j, Elez_j)$  输出值, 所述距离求取电路的输出端与第三累加器的输出端一起连接第三求和器的输入端;

所述接收聚焦参数即为数字化回波数据的读地址。

6. 根据权利要求 5 所述的波束合成的接收聚焦参数的实时计算装置, 其特征在于: 所述聚焦数据计算器按  $M$  通道进行分时复用, 即每一个聚焦数据计算器负责  $M$  个通道的参数实时计算, 系统多于  $M$  个通道时采用多个并列的聚焦数据计算器, 所述接收聚焦参数即为数字化回波数据的读地址。

7. 根据权利要求 6 所述的波束合成的接收聚焦参数的实时计算装置, 其特征在于: 所述  $M$  的取值范围是 1 至 512。

8. 根据权利要求 7 所述的波束合成的接收聚焦参数的实时计算装置, 其特征在于: 所述  $M$  的取值为 32 或 64。

9. 一种带有波束校正的波束合成的接收聚焦参数的实时计算装置, 该装置作为一个独立附件接入超声成像系统的接收波束合成模块的信号输入端, 包括至少一个聚焦数据计算器, 其特征在于: 所述聚焦数据计算器包括:

第一累加器、第一移位器和第一求和器, 用于计算量化后焦点坐标  $(F_x, F_z)$  的  $F_x$  值, 第

二累加器、第二移位器和第二求和器,用于计算量化后焦点坐标  $(F_x, F_z)$  的  $F_z$  值;

距离求取电路,用于计算量化后的焦点坐标  $(F_x, F_z)$  和量化后探头第  $j$  个阵元的坐标  $(Elex_j, Elez_j)$  之间的距离;

第三累加器,用于累加  $i*N/2$  的数值;

第三求和器,用于读取第三累加器和距离求取电路的输出结果并把两者相加后作为实时计算的回波数据读地址输出;

所述第一求和器的输入端连接所述第一累加器和第一移位器,所述第二求和器的输入端连接所述第二累加器和第二移位器,所述距离求取电路的一个输入端连接第一求和器和第二求和器的输出端,另一个输入端连接量化后探头第  $j$  个阵元的坐标  $(Elex_j, Elez_j)$  的输出,其输出端与第三累加器的输出端一起连接第三求和器的输入端;

所述接收聚焦参数即为数字化回波数据的读地址。

10. 根据权利要求 9 所述的波束合成的接收聚焦参数的实时计算装置,其特征在于:所述聚焦数据计算器按  $M$  通道进行分时复用,即每一个聚焦数据计算器负责  $M$  个通道的参数实时计算,系统多于  $M$  个通道时采用多个并列的聚焦数据计算器。

11. 根据权利要求 10 所述的波束合成的接收聚焦参数的实时计算装置,其特征在于:所述  $M$  的取值范围是 1 至 512。

12. 根据权利要求 11 所述的波束合成的接收聚焦参数的实时计算装置,其特征在于:所述  $M$  的取值为 32 或 64。

## 波束合成的接收聚焦参数的实时计算方法及其装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及医用超声波诊断系统中数字波束的合成,尤其涉及旨在节省系统存储器资源的在接收进程中波束合成聚焦参数的实时计算方法及其装置。

### [0002] 背景技术

[0003] 波束合成是医用超声波诊断系统中最关键的技术,合成波束的质量对超声成像的精确性和分辨率有很大影响。绝大多数超声成像系统将聚焦参数保存在系统内部的 RAM 中,这需要耗费大量的存储器,尤其是在需要支持线阵梯形扫描以及相控阵的时候。例如某系统使用 30M 采样、30cm 探测深度、8 个时钟变换一次接收焦点,如果所有接收参数预存,参数量将超过 200MByte。存储器的增加必然导致系统造价高,在切换探头时装载参数慢等问题。

[0004] 硬件实时参数计算是一种解决机制。超声成像以扫描线为基本单位,只需要预存少量参数,并在每条扫描线发射接收前写入几个控制参数,即可以在接收期间由硬件自动生成所需的聚焦参数。这样将大大节省存储器资源。

[0005] 美国专利 6,110,116 提供了一种预存储延迟数据的波束合成聚焦方法,即预先将聚集数据存储,每个焦区的回波使用相应预存储聚集数据。这样做简单快捷,但首先需要较大的存储器,其次是更换探头时需要重新载入大量参数,影响开机启动及探头切换的速度。

[0006] 美国 6,123,671 号专利提供了一种基于 CORDIC 算法的实时接收聚集及变迹参数计算方法,可适用于各种几何形状探头,包括二维探头,亦可用于多波束。该方法的基本思路是:计算对不同接收焦点各阵元的延时差,以延时差为参数控制波束合成。虽然美国 6,123,671 号专利的方法较简单快捷,占用存储器及硬件资源也较少,但电路仍比较复杂。

[0007] 我国哈尔滨工业大学控制科学与工程系的马家辰、沈毅、苏宝库三人在“Chinese Journal of Medical Instrumentation”(2005 年 29 卷第 6 期)上发表的综合评述“超声声束形成技术的对比分析”公开了超声成像系统中声束形成的几种常见技术,其中也公开了一种接收波束的聚焦方法,该方法是通过数字并行阵列加法器读取各通道 FIFO 存储器的回波数据,进行波束合成,但并未解决用“波束合成生成模块实时计算各通道 FIFO 存储器的数字化回波信号的读地址”这一技术问题。

[0008] 本发明从另一个出发点来计算接收聚焦参数,即:不计算探头各阵元延时差,而是直接计算存储各通道 AD 转换数据存储器的读地址,这样做电路相对于美国 6,123,671 号专利更为简单。另外,接收聚焦坐标采取实时计算的方法而不预先存储,更加节约存储器资源,同时可以实现波束校正。

### [0009] 发明内容

[0010] 本发明要解决的技术问题是提供一种在波束合成中实时计算存储各通道 AD 转换数据存储器的读地址的方法及其装置。

[0011] 本发明采用如下技术方案:

[0012] 设计一种波束合成的接收聚焦参数的实时计算方法,该方法执行如下步骤:

[0013] a. 探头各阵元接收来自接收线的反射回波信号;

[0014] b. 所述探头各阵元把接收到的反射回波信号送入各自的信号接收处理通道进行放大处理和模数转换；

[0015] c. 经模数转换后的数字化回波数据被送入 FIFO 存储器；

[0016] d. 波束合成参数生成模块实时计算各通道 FIFO 存储器的数字化回波信号的读地址；

[0017] e. 接收波束合成模块通过波束合成总线按照波束合成参数生成模块产生的读地址，读取各接收通道的回波数据进行波束合成。

[0018] 步骤 d 是本发明方法的核心技术，有两种实现方式，不考虑波束校正的实施方式和考虑了波束校正的实施方式。

[0019] 考虑了波束校正时，如果步骤 d 中每隔 N 个采样点计算一次读地址，所述某一信号接收线第 i 个接收焦点、第 j 个通道的回波数据对应的读地址的计算公式如下：

$$[0020] \quad Addr_{ij} = \left( \sqrt{\left( \frac{Elex_j}{C} - \frac{Fx_0}{C} - i * \frac{\Delta F_x}{C} - k_i \frac{\Delta F_x}{N_d * C} \right)^2 + \left( \frac{Elez_j}{C} - \frac{Fz_0}{C} - i * \frac{\Delta F_z}{C} - k_i \frac{\Delta F_z}{N_d * C} \right)^2} + i * N / 2 \right)$$

[0021] 其中，(Elex<sub>j</sub>, Elez<sub>j</sub>) 和 (Fx<sub>0</sub>, Fz<sub>0</sub>) 分别为探头第 j 个阵元的坐标和某一信号接收线第 i 个接收焦点的坐标，ΔF<sub>x</sub> 和 ΔF<sub>z</sub> 分别为相邻两个

[0022] 接收焦点的横坐标差值和纵坐标差值，C 为反射回波的传播速度，N<sub>d</sub> 为 2 的整次幂。

[0023] 上述考虑了波束校正时的实时计算回波数据读地址的硬件实现方式包括如下过程：

[0024] i、利用第一累加器计算原始值 Fx<sub>0</sub>/C 及其累加量 i ΔF<sub>x</sub>/C，利用第二累加器计算原始值 Fz<sub>0</sub>/C 及其累加量 i ΔF<sub>z</sub>/C，利用第一移位和第二移位分别计算 k<sub>i</sub> ΔF<sub>x</sub>/(CN<sub>d</sub>) 和 k<sub>i</sub> ΔF<sub>z</sub>/(CN<sub>d</sub>)；

[0025] ii、所述第一累加器和第一移位的输出结果在第一求和处相加；所述第二累加器和第二移位的输出结果在第二求和处相加，由此获得量化后的焦点坐标 (F<sub>x</sub>, F<sub>z</sub>)；

[0026] iii、距离求取电路读取量化后的焦点坐标 (F<sub>x</sub>, F<sub>z</sub>) 和量化后探头第 j 个阵元的坐标 (Elex<sub>j</sub>, Elez<sub>j</sub>) 并计算两坐标点之间的距离；

[0027] iv、由第三累加器累加获得 i\*N/2 的数值；

[0028] v、第三累加器和距离求取电路的输出结果在第三求和处相加，所述第三求和的输出结果就是实时计算的回波数据读地址。

[0029] 在不考虑波束校正时，如果步骤 d 每隔 N 个采样点计算一次读地址，所述某一信号接收线第 i 个接收焦点、第 j 个通道的回波数据对应的读地址的计算公式如下：

$$[0030] \quad Addr_{ij} = \left( \sqrt{\left( \frac{Elex_j}{C} - \frac{Fx_0}{C} - i * \frac{\Delta F_x}{C} \right)^2 + \left( \frac{Elez_j}{C} - \frac{Fz_0}{C} - i * \frac{\Delta F_z}{C} \right)^2} + i * N / 2 \right)$$

[0031] 其中，(Elex<sub>j</sub>, Elez<sub>j</sub>) 和 (Fx<sub>0</sub>, Fz<sub>0</sub>) 分别为第 j 个通道所对应的探头阵元的坐标和某一信号接收线第 i 个接收焦点的坐标，ΔF<sub>x</sub> 和 ΔF<sub>z</sub> 分别为相邻两个接收焦点的横坐标差值和纵坐标差值，C 为反射回波的传播速度。

[0032] 上述不考虑波束校正时的实时计算回波数据读地址的硬件实现方式包括如下过程：

[0033] i、利用第一累加器计算原始值 Fx<sub>0</sub>/C 及其累加量 i ΔF<sub>x</sub>/C，利用第二累加器计算原

始值  $Fz_0/C$  及其累加量  $i \Delta Fz/C$ , 由此获得量化后的焦点坐标  $(F_x, F_z)$  ;

[0034] ii、距离求取电路读取量化后的焦点坐标  $(F_x, F_z)$  和量化后探头第  $j$  个阵元的坐标  $(Elex_j, Elez_j)$  并计算两坐标点之间的距离 ;

[0035] iii、 $i*N/2$  的数值由第三累加器计算 ;

[0036] iv、第三累加器和距离求取电路的输出结果在第三求和处相加, 所述第三求和的输出结果就是实时计算的回波数据读地址。

[0037] 与上述不考虑波束校正和考虑了波束校正两种波束合成的接收聚焦参数的实时计算方法相对应, 本发明设计出两种波束合成的接收聚焦参数的实时计算装置。

[0038] 不考虑波束校正的波束合成的接收聚焦参数的实时计算装置包括至少一个聚焦数据计算器, 该装置作为一个独立附件接入超声成像系统的接收波束合成模块的信号输入端, 所述聚焦数据计算器包括 :

[0039] 第一累加器和第二累加器, 用于计算量化后的焦点坐标  $(F_x, F_z)$  ;

[0040] 距离求取电路, 用于计算量化后的焦点坐标  $(F_x, F_z)$  和量化后探头第  $j$  个阵元的坐标  $(Elex_j, Elez_j)$  之间的距离 ;

[0041] 第三累加器, 用于累加  $i*N/2$  的数值 ;

[0042] 第三求和器, 用于读取第三累加器和距离求取电路的输出结果并把两者相加后作为实时计算的回波数据读地址输出 ;

[0043] 所述距离求取电路的一个输入端连接第一累加器和第二累加器的输出端, 另一个输入端连接量化后探头第  $j$  个阵元的坐标  $(Elex_j, Elez_j)$  输出值, 所述距离求取电路的输出端与第三累加器的输出端一起连接第三求和器的输入端。

[0044] 考虑波束校正的波束合成的接收聚焦参数的实时计算装置包括至少一个聚焦数据计算器, 该装置也作为一个独立附件接入超声成像系统的接收波束合成模块的信号输入端, 所述聚焦数据计算器包括 :

[0045] 第一累加器、第一移位器和第一求和器, 用于计算量化后焦点坐标  $(F_x, F_z)$  的  $F_x$  值, 第二累加器、第二移位器和第二求和器, 用于计算量化后焦点坐标  $(F_x, F_z)$  的  $F_z$  值 ;

[0046] 距离求取电路, 用于计算量化后的焦点坐标  $(F_x, F_z)$  和量化后探头第  $j$  个阵元的坐标  $(Elex_j, Elez_j)$  之间的距离 ;

[0047] 第三累加器, 用于累加  $i*N/2$  的数值 ;

[0048] 第三求和器, 用于读取第三累加器和距离求取电路的输出结果并把两者相加后作为实时计算的回波数据读地址输出 ;

[0049] 所述第一求和器的输入端连接所述第一累加器和第一移位器, 所述第二求和器的输入端连接所述第二累加器和第二移位器, 所述距离求取电路的一个输入端连接第一求和器和第二求和器的输出端, 另一个输入端连接量化后探头第  $j$  个阵元的坐标  $(Elex_j, Elez_j)$  的输出, 其输出端与第三累加器的输出端一起连接第三求和器的输入端。

[0050] 上述两种计算装置的聚焦数据计算器都按  $M$  通道进行分时复用, 即每一个聚焦数据计算器负责  $M$  个通道的参数实时计算, 系统多于  $M$  个通道时采用多个并列的聚焦数据计算器。所述  $M$  的取值范围是 1 至 512, 典型值为 32 或者 64。

[0051] 与现有技术相比, 本发明波束合成的接收聚焦参数的实时计算方法及其装置具有如下优点 : 在保证波束合成质量的前提下, 系统需要存储的参数更少, 因此节省了系统的

存储器资源,电路更简单,系统切换探头时装载参数的速度也较快,而且也可以实现波束校正。

#### [0052] 附图说明

[0053] 图 1 是采用本发明装置的一个超声波成像系统的原理方框图;

[0054] 图 2 是超声波成像系统接收聚焦示意图;

[0055] 图 3 是本发明波束合成的接收聚焦参数的实时计算方法的基本原理示意图;

[0056] 图 4 是本发明考虑波束校正的波束合成的接收聚焦参数的实时计算方法的基本原理示意图;

[0057] 图 5 是实施图 3 的接收聚焦参数的实时计算方法所需要的计算硬件构成框图;

[0058] 图 6 是实施图 4 的接收聚焦参数的实时计算方法,即考虑了波束校正后所需要的计算硬件构成框图;

[0059] 图 7 为本发明的波束合成的接收聚焦参数的实时计算装置的硬件应用方式的示意图;

[0060] 图 8 是采用本发明方法的波束合成示意框图。

#### 具体实施方式

[0061] 下面将结合附图和实施例对本发明方法及其装置进行详细的说明。

[0062] 图 1 是 B 型超声成像系统的原理方框图,本发明的接收聚焦参数的实时计算装置在图 1 中作为作为一个独立附件接入超声成像系统的接收波束合成模块的信号输入端,如图 1 和图 8 所示。

[0063] 下面主要以 64 通道单波束的 B 型超声成像系统为例进行说明,很显然,本发明方法和装置也适用于其它通道数(如 24、48 或其它)及多波束的情况。

#### [0064] 一、基本原理

[0065] 图 2 是本发明接收聚焦的原理示意图。B 型超声成像系统为每个接收通道分配了一块存储器,它们同步地接收每路 AD 转换后的数字化回波数据。由于从接收聚焦点返回的回波不可能同时到达各通道对应的探头阵元,这需要我们用不同的读地址从各通道读出对应的 AD 转换后的数据(图 2 中黑色方块对应某一个接收焦点),然后相加,以实现接收聚焦。接收聚焦即是对各通道 RAM 读地址的控制。本发明中,波束合成参数的计算也即是各通道 RAM 读地址的计算。

[0066] 大多数 B 型超声成像系统(如美国 6,123,671 号专利)均采用计算接收通道中心阵元和其它阵元的延时差,以此为基础来计算各通道 RAM 的读地址,实际上并不是一定要这样做。如图 3 所示,假定对一条扫描线,第 i 个接收焦点的坐标为  $(Fx_i, Fz_i)$ ,声脉冲从发出,到达该接收焦点,部分声波被反射回到阵元 j,经过的路径可近似认为如图 3 的虚线所示,这段路径的总长度为:

$$[0067] \quad D_{ij} = d_{ij} + F_i = \sqrt{(Elex_j - Fx_i)^2 + (Elez_j - Fz_i)^2} + F_i$$

[0068] 上式上 j 代表阵元序号,对 64 通道系统, j 取值 1 至 64, i 代表接收焦点序号。

[0069] 对应的声波传播时间为:

$$[0070] \quad T_{ij} = \frac{D_{ij}}{c}$$

[0071] 每一通道的 RAM 是从声脉冲发射的瞬间就就开始接收 AD 数据的, 所以从焦点  $i$  处的回波到达阵元  $j$  的回波数据对应读地址为:

$$[0072] \quad Addr_{ij} = T_{ij} * f_s = \frac{(\sqrt{(Elex_j - Fx_i)^2 + (Elez_j - Fz_i)^2} + F_i) * f_s}{c} \quad (1)$$

[0073] 其中  $f_s$  为 AD 采样率,  $Addr_{ij}$  一般是一个小数, 实际做波束合成时一般是将地址最接近  $Addr_{ij}$  的两个 RAM 单元中存的数取出, 对这两个数按照  $Addr_{ij}$  的小数部分做插值处理。

[0074] 接收聚焦的各个焦点间距一般是相等的, 所以有:

$$[0075] \quad [0070] Fx_i = Fx_0 + i * \Delta Fx \quad (2)$$

$$[0076] \quad Fz_i = Fz_0 + i * \Delta Fz \quad (3)$$

$$[0077] \quad [0072] F_i = i * \sqrt{\Delta Fz^2 + \Delta Fx^2} = i * \Delta F \quad (4)$$

[0078] 在 (2), (3), (4) 式中,  $\Delta F_x$ ,  $\Delta F_z$ ,  $\Delta F$  分别是指相邻两个接收焦点的横坐标差值, 纵坐标差值, 距离差值 (参见图 3)。

[0079] 将 (2), (3), (4) 代入到 (1), 并令  $c/f_s = C$  有:

[0080]

$$Addr_{ij} = \left( \sqrt{\left( \frac{Elex_j}{C} - \frac{Fx_0}{C} - i * \frac{\Delta F_x}{C} \right)^2 + \left( \frac{Elez_j}{C} - \frac{Fz_0}{C} - i * \frac{\Delta F_z}{C} \right)^2} + i * \frac{\Delta F}{C} \right) \quad (5)$$

[0081] 假定每隔  $N$  个采样点计算一次接收聚焦读地址 (中间的  $N-1$  个采样点的读地址总是在上一个采样点的读地址基础上加 1), 则相邻两个接收聚焦点的距离为:

$$[0082] \quad \Delta F = N/f_s * c/2 \quad (6)$$

[0083] 将 (6) 代入 (5)

$$[0084] \quad Addr_{ij} = \left( \sqrt{\left( \frac{Elex_j}{C} - \frac{Fx_0}{C} - i * \frac{\Delta F_x}{C} \right)^2 + \left( \frac{Elez_j}{C} - \frac{Fz_0}{C} - i * \frac{\Delta F_z}{C} \right)^2} + i * N/2 \right) \quad (7)$$

[0085] 公式 (7) 是我们用硬件实时计算波束合成读地址的设计基础, 从 (7) 式来看, 可以将对  $C$  量化以后的阵元坐标写入到硬件存储器,  $Fx_0/C$ ,  $Fz_0/C$ ,  $\Delta F_x/C$ ,  $\Delta F_z/C$  也存入到硬件中 (在一些情况下, 这几个值是和接收线角度和位置相关的, 可以在扫描过程中由控制器实时更新), 可以用累加器计算接收焦点坐标以及式 (7) 中的  $i*N/2$ 。因此, 本发明的实施例一的波束合成的接收聚焦参数的实时计算装置包括:

[0086] 第一累加器和第二累加器, 用于计算量化后的焦点坐标 ( $F_x$ ,  $F_z$ );

[0087] 距离求取电路, 用于计算量化后的焦点坐标 ( $F_x$ ,  $F_z$ ) 和量化后探头第  $j$  个阵元的坐标 ( $Elex_j$ ,  $Elez_j$ ) 之间的距离;

[0088] 第三累加器, 用于累加  $i*N/2$  的数值;

[0089] 第三求和器, 用于读取第三累加器和距离求取电路的输出结果并把两者相加后作为实时计算的回波数据读地址输出;

[0090] 所述距离求取电路的一个输入端连接第一累加器和第二累加器的输出端, 另一个输入端连接量化后探头第  $j$  个阵元的坐标 ( $Elex_j$ ,  $Elez_j$ ) 输出值, 所述距离求取电路的输出端与第三累加器的输出端一起连接第三求和器的输入端。如图 5 所示。

[0091] 二、波束校正

[0092] 波束校正是指使接收聚焦参数对应的接收路径并非直线,而是带有一定弧度,在多波束接收中时常需要用到波束校正。如图 4 所示,从  $0'$  到  $(F_{x_i}, F_{z_i})$  为理想接收线,而且通过对接收参数的控制,使实际接收线是以  $0'$  为起点的以实线表示的弧线,使接收线为弧线称为波束校正。

[0093] 由于使用了波束校正,第  $i$  个接收焦点的坐标就不是  $(F_{x_i}, F_{z_i})$ ,而在图 4 所示的  $(F_{x_i'}, F_{z_i}')$ 。

[0094]  $F_{x_i'} = F_{x_i} + OF_{x_i}$   $F_{z_i'} = F_{z_i} + OF_{z_i}$

[0095]  $OF_{x_i}$  和  $OF_{z_i}$  是相对于理想接收焦点  $(F_{x_i}, F_{z_i})$  在  $x$  和  $z$  方向的校正量,在考虑波束校正后,式 (1) 改写成如下形式:

$$[0096] \quad Addr_{ij} = \frac{\sqrt{(Elex_j - F_{x_i'})^2 + (Elez_j - F_{z_i'})^2 + F_i'} * f_s}{c} \quad (8)$$

[0097]  $F_i'$  为考虑波束校正后,实际接收焦点到接收线起点的距离,由于校正量是一个非常小的量,可以近似认为  $F_i = F_i'$ 。上述 (8) 式变成:

[0098]

$$Addr_{ij} = \sqrt{\left(\frac{Elex_j}{C} - \frac{F_{x_0}}{C} - i * \frac{\Delta F_x}{C} - \frac{OF_{x_i}}{C}\right)^2 + \left(\frac{Elez_j}{C} - \frac{F_{z_0}}{C} - i * \frac{\Delta F_z}{C} - \frac{OF_{z_i}}{C}\right)^2 + i * N/2} \quad (9)$$

[0099]  $OF_{x_i}$  和  $OF_{z_i}$  是一个与接收焦点的深度和接收线角度相关的量,如果都需要保存,这样将消耗比较大的存储量(尤其对相控阵),所以我们采用以下方法来节约存储空间:

[0100] 参见图 4,有如下关系:

$$[0101] \quad OF_{z_i} / \Delta F_x = OF_{x_i} / \Delta F_z = OF_i / \Delta F \quad (10)$$

[0102] 令波束校正精度为  $\Delta F$  的  $1/N_d$ ,即  $OF_i = k_i * \Delta F / N_d$ ,可以得到:

$$[0103] \quad OF_{z_i} = k_i * \Delta F_x / N_d \quad OF_{x_i} = k_i * \Delta F_z / N_d \quad (11)$$

[0104] 将 (11) 代入 (9),得到:

[0105]

$$Addr_{ij} = \sqrt{\left(\frac{Elex_j}{C} - \frac{F_{x_0}}{C} - i * \frac{\Delta F_x}{C} - k_i \frac{\Delta F_x}{N_d * C}\right)^2 + \left(\frac{Elez_j}{C} - \frac{F_{z_0}}{C} - i * \frac{\Delta F_z}{C} - k_i \frac{\Delta F_z}{N_d * C}\right)^2 + i * N/2}$$

[0106]  $N_d$  设为 2 的整次幂,这样可以用移位来运算  $\Delta F_z / N_d$  和  $\Delta F_x / N_d$

[0107] 近似认为校正后的接收焦点离理想接收焦点的距离是一个只和接收焦点深度有关,和接收线角度无关的量,即只需要把  $k_i$  保存下来,就可以实现所有不同接收线的波束校正。这样硬件存储量就减少了很多。硬件也可以保存  $k_i$  相对于  $k_{i-1}$  的递增量  $\Delta k_i$ ,从而进一步节约存储量,  $\Delta k_i$  只取三个值 1, 0, -1。这样  $k_i$  由下式进行计算:

$$[0108] \quad k_i = k_{i-1} + \Delta k_i \quad (12)$$

[0109] 考虑波束校正的逻辑部分的框图见图 6。由此设计出的带有波束校正的波束合成的接收聚焦参数的实时计算装置(实施例二)包括:

[0110] 第一累加器、第一移位器和第一求和器,用于计算量化后焦点坐标  $(F_x, F_z)$  的  $F_x$  值,第二累加器、第二移位器和第二求和器,用于计算量化后焦点坐标  $(F_x, F_z)$  的  $F_z$  值;

[0111] 距离求取电路,用于计算量化后的焦点坐标  $(F_x, F_z)$  和量化后探头第  $j$  个阵元的坐标  $(Elex_j, Elez_j)$  之间的距离;

[0112] 第三累加器,用于累加  $i * N/2$  的数值;

[0113] 第三求和器,用于读取第三累加器和距离求取电路的输出结果并把两者相加后作为实时计算的回波数据读地址输出;

[0114] 所述第一求和器的输入端连接所述第一累加器和第一移位器,所述第二求和器的输入端连接所述第二累加器和第二移位器,所述距离求取电路的一个输入端连接第一求和器和第二求和器的输出端,另一个输入端连接量化后探头第  $j$  个阵元的坐标  $(Elex_j, Elez_j)$  的输出,其输出端与第三累加器的输出端一起连接第三求和器的输入端。

### [0115] 三、硬件实现

[0116] 如图 7 所示,每一个实时参数计算模块(即图 7 中的聚焦数据计算器,每个聚焦数据计算器包含了图 5 或图 6 中的全部硬件单元)可以按 32 通道进行分时复用,则在 64 通道双波束系统中共需要两个计算模块,每个模块负责 32 个通道的参数实时计算。如果要实时  $N$  个波束的接收,模块数量则应该是  $2N$  个。

[0117] 在每条接收线计算之初,需要从将各个通道的预置参数通过波束合成总线载入到相应的计算模块,各模块将按流水模式输出相应通道的聚焦参数数据。如果系统焦点变换速率为  $3.75\text{MHz}$  (采样率的  $1/8$ ),每 8 个焦点变换一次焦点,则聚焦数据计算器必须工作进  $120\text{MHz}$  ( $3.75*32$ )。

### [0118] 四、参数机制

[0119] 预先存储好的参数只有通道内的阵元坐标(量化后的值),如果考虑波束校正,则需要保存校正量  $k_i$  或者校正递增量  $\Delta k_i$ 。

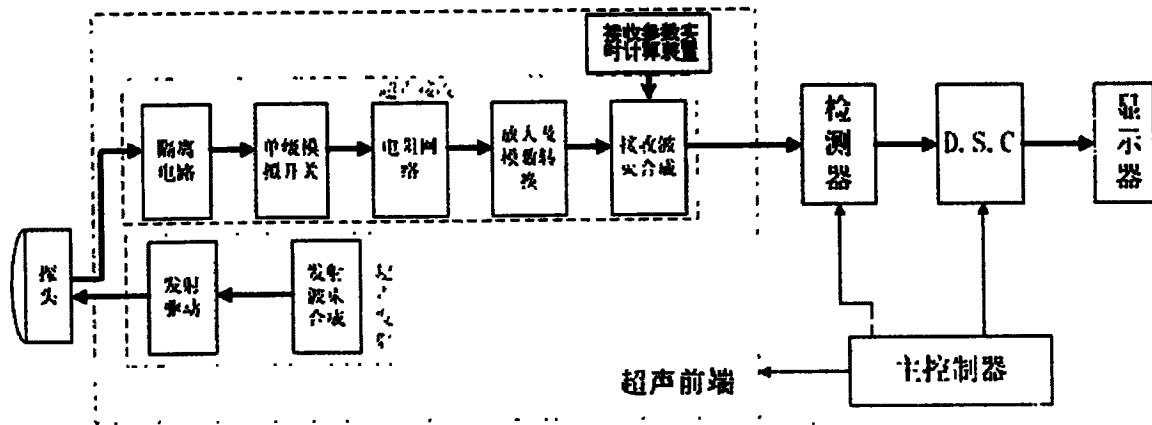


图 1

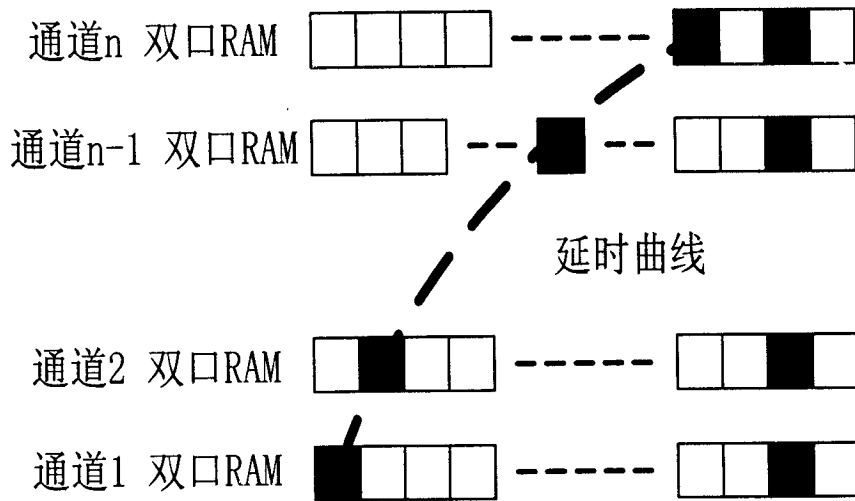


图 2

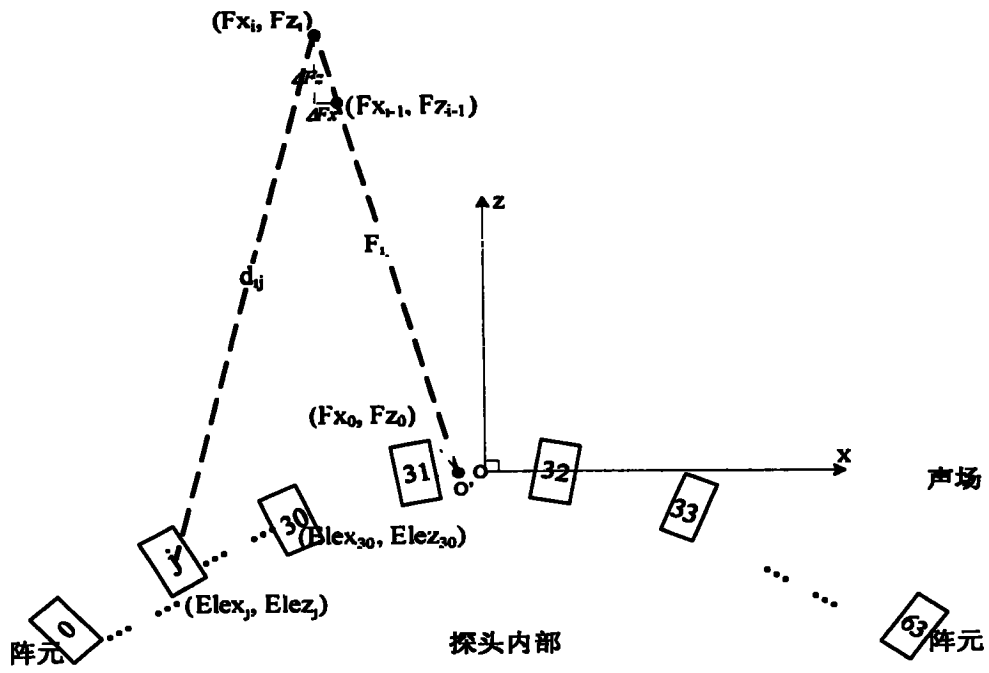


图 3

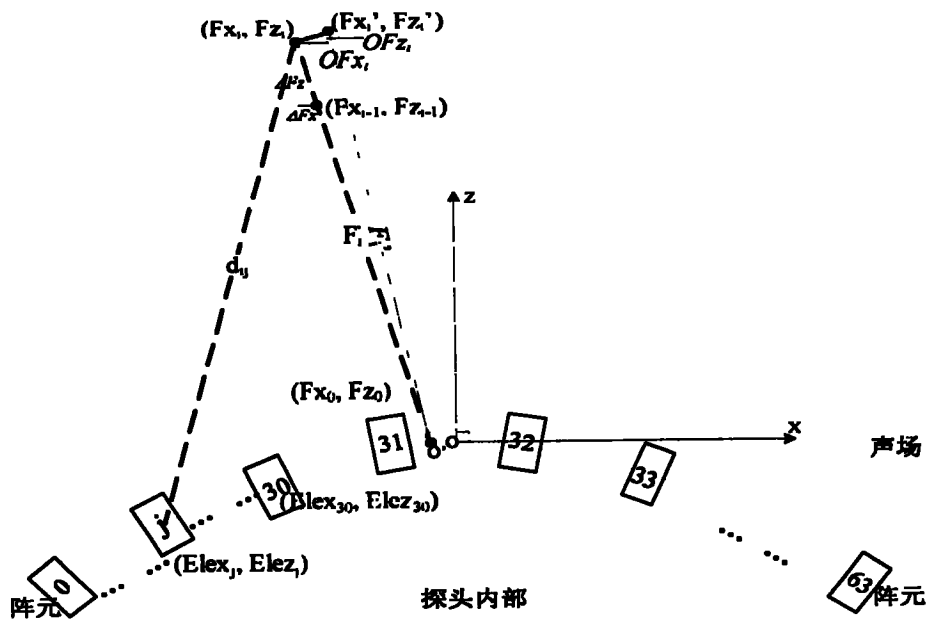


图 4

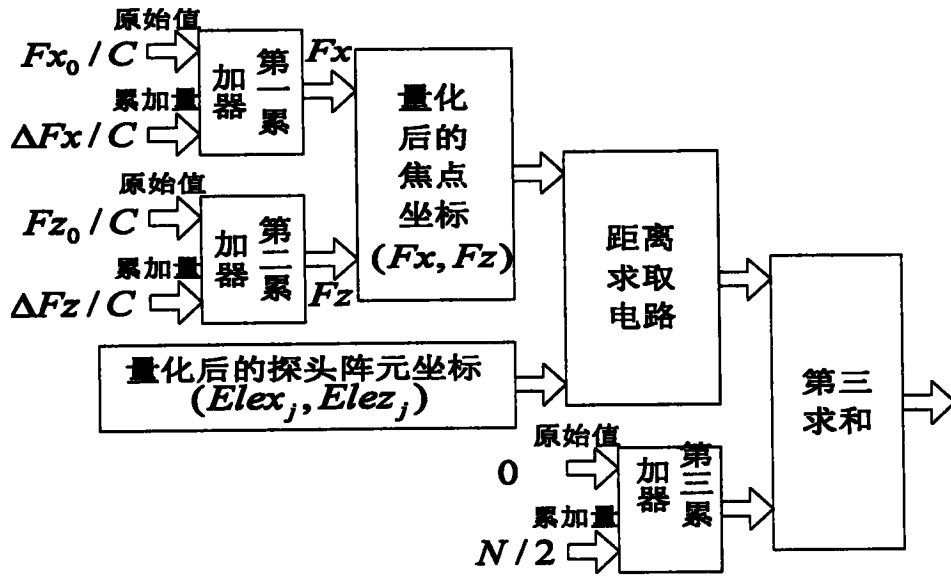


图 5

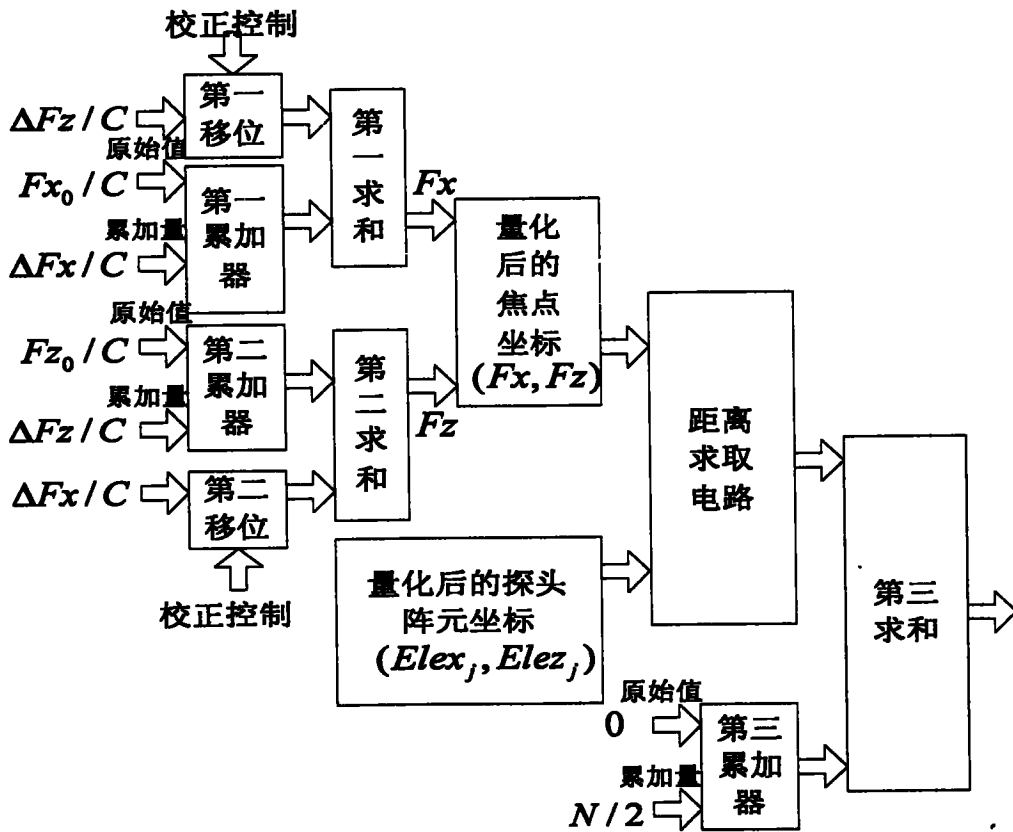


图 6

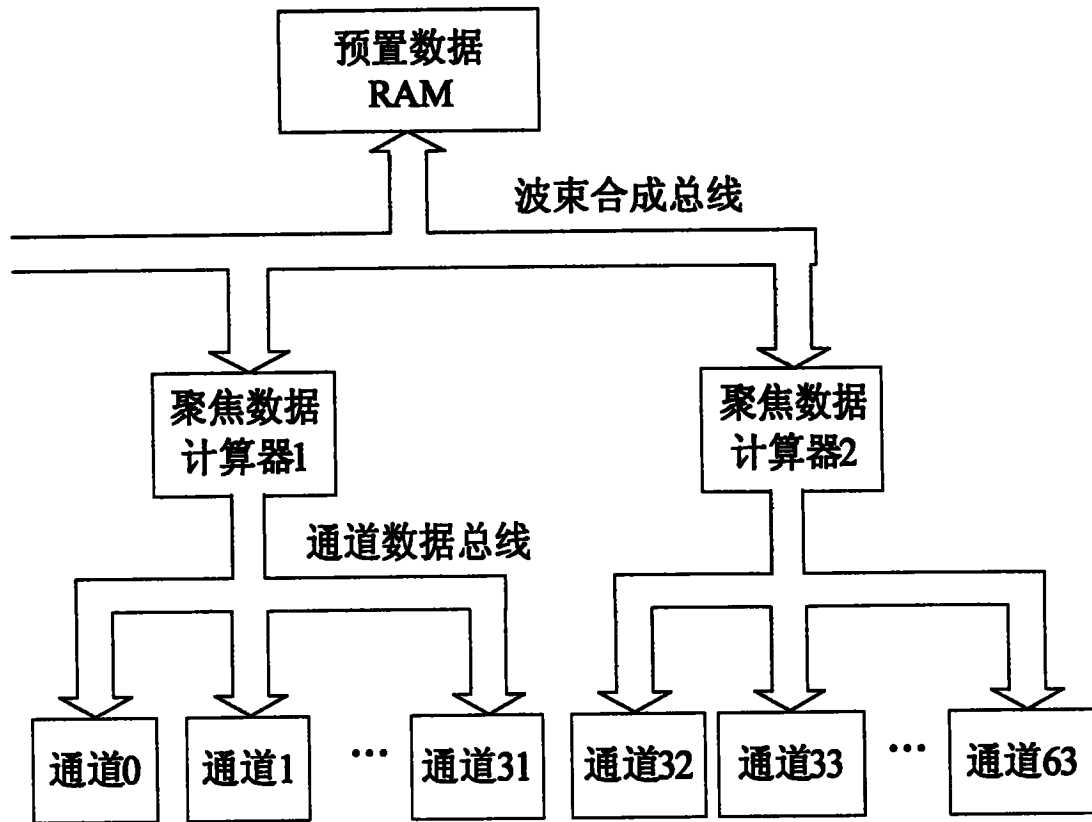


图 7

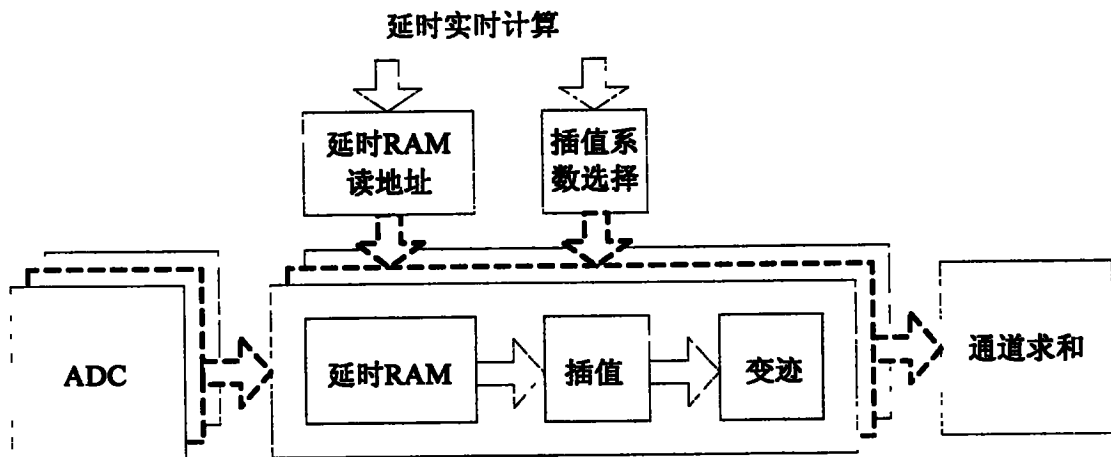


图 8

专利名称(译)	波束合成的接收聚焦参数的实时计算方法及其装置		
公开(公告)号	<a href="#">CN101112320B</a>	公开(公告)日	2010-07-21
申请号	CN200610061884.7	申请日	2006-07-28
[标]申请(专利权)人(译)	深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司		
申请(专利权)人(译)	深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司		
当前申请(专利权)人(译)	深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司		
[标]发明人	蒋勇 胡勤军 程东彪		
发明人	蒋勇 胡勤军 程东彪		
IPC分类号	G01N29/36 G06F19/00 A61B8/00		
CPC分类号	G10K11/341 G01S7/52028		
代理人(译)	王志明		
其他公开文献	CN101112320A		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a>		

摘要(译)

一种波束合成的接收聚焦参数的实时计算的方法和装置，所述装置作为一个附件接入超声成像系统的接收波束合成模块的信号输入端，包括：第一累加器和第二累加器，用于计算量化后的焦点坐标( $F_x$ ,  $F_z$ )，距离求取电路，用于计算量化后的焦点坐标( $F_x$ ,  $F_z$ )和量化后探头第 $j$ 个阵元的坐标( $Elex_j$ ,  $Elez_j$ )之间的距离，第三累加器，用于累加 $i \cdot N/2$ 的数值；第三求和器，用于读取第三累加器和距离求取电路的输出结果并把两者相加后作为实时计算的回波数据读地址输出。采用本发明的技术方案能节省系统的存储器资源，电路更简单，系统切换探头时装载参数的速度较快，而且可以实现波束校正。

