



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101097256 B

(45) 授权公告日 2011.03.23

(21) 申请号 200610021344.6

(56) 对比文件

(22) 申请日 2006.06.28

US 6123671 A, 2000.09.26, 全文.

US 6110116 A, 2000.08.29, 全文.

(73) 专利权人 深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司

CN 1788685 A, 2006.06.21, 全文.

地址 518057 广东省深圳市南山区高新技术产业园科技南十二路迈瑞大厦

审查员 张亚玲

(72) 发明人 胡勤军 黄勇 李勇 康小刚 程东彪

(74) 专利代理机构 深圳鼎合诚知识产权代理有限公司 44281

代理人 郭燕

(51) Int. Cl.

A61B 8/00(2006.01)

G01S 15/89(2006.01)

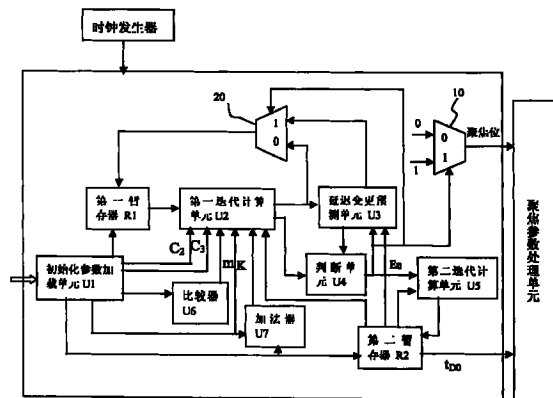
权利要求书 3 页 说明书 10 页 附图 6 页

(54) 发明名称

超声波束合成聚焦参数实时计算方法及装置

(57) 摘要

本发明涉及一种实时计算超声波束合成聚焦参数的方法及装置,设置初始化参数值,在第一中间变量 sum 原值上递加 2\*c2\*n+2\*t0\*n,计算出第一中间变量的新值,计算第二中间变量 sum\_a: sum\_a = sum-2\*T-2\*t0+1,比较第一中间变量 sum 和第二中间变量 sum\_a 的绝对值大小,如果 |sum\_a| < |sum| 则递减迭代计算焦点阵元延时差 t0,并置第一中间变量 sum 值为第二中间变量 sum\_a 的值,根据比较结果设置聚焦位为 0 或 1 并输出。只需预先加载有限的初始化参数,通过迭代逼近计算,即可获得比较理想的聚焦参数。适用于线阵、相控阵、凸阵。适用于多波束,支持多波束接收聚焦校正。在 FPGA 中实现,可适用于任意通道数和焦点数系统。



1. 一种用于超声波束合成聚焦参数的计算装置,包括时钟发生器和初始化参数加载单元 (U1),所述时钟发生器用于为所述计算装置提供时钟信号,所述初始化参数加载单元用于加载所述计算装置的初始化参数,其特征在于还包括:

第一暂存器 (R1),与所述初始化参数加载单元接口连接,用于暂存第一中间变量 sum;

第二暂存器 (R2),与初始化参数加载单元接口连接,用于暂存焦点阵元延时差  $t_0$ ;

第一迭代计算单元 (U2),其从所述初始化参数加载单元 (U1) 获取相应的初始化参数值,从所述第二暂存器 (R2) 获取焦点阵元延时差  $t_0$  值,在每步迭代计算过程中对从所述第一暂存器 (R1) 获取的第一中间变量 sum 值递加  $2*c2*n+2*t_0*n$ ,计算出所述第一中间变量 sum 的新值,其中 n 为整数、c2 为一初始化参数;

延迟变更预测单元 (U3),其从所述第一迭代计算单元 (U2) 获取第一中间变量 sum 值,从所述第二暂存器获取焦点阵元延时差  $t_0$  值,按下述公式计算第二中间变量 sum\_a 值:  
 $sum\_a = sum - 2*T - 2*t_0 + 1$ ,其中 T 为焦点声程;

判断单元 (U4),用于比较所述第一中间变量 sum 与所述第二中间变量 sum\_a 的绝对值大小,并根据比较结果输出控制信号;

第二迭代计算单元 (U5),用于迭代计算焦点阵元延时差  $t_0$ ,其根据所述判断单元 (U4) 的输出信号选择进行迭代递减运算,并向所述第二暂存器 (R2) 获取焦点阵元延时差  $t_0$  和写入运算后的焦点阵元延时差  $t_0$ ;

聚焦位单元 (10),用于根据所述判断单元 (U4) 的输出信号选择聚焦位为“1”或“0”并输出;

所述第一暂存器 (R1) 的初始值  $sum_0$  由所述初始化参数加载单元 (U1) 提供,后续值根据所述判断单元 (U4) 输出的控制信号选择由延迟变更预测单元 (U3) 或者第一迭代计算单元 (U2) 提供;

所述第二暂存器 (R2) 的初始值  $t_{00}$  由所述初始化参数加载单元 (U1) 提供,后续值由第二迭代计算单元 (U5) 提供,并在第一个接收焦点时输出焦点阵元延时差  $t_0$ 。

2. 如权利要求 1 所述的超声波束合成聚焦参数的实时计算装置,其特征在于:所述聚焦位置位单元 (10) 为第一多路选择器,所述第一多路选择器的输入端分别连接高电平“1”和低电平“0”,控制端响应判断单元 (U4) 输出的控制信号,输出端用于输出聚焦位。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的超声波束合成聚焦参数的实时计算装置,其特征在于:

还包括一个计数比较器 (U6),用于当焦点距离小于特定值时,控制所述计算装置直接输出初始化载入的初始化聚焦参数值  $t_{00}$ ,所述特定值由初始化参数加载单元 (U1) 载入。

4. 如权利要求 3 所述的超声波束合成聚焦参数的实时计算装置,其特征在于:

还包括一个加法器 (U7),用于根据初始化参数将多波束校正声程 K 按一定的时钟周期进行步增,并输出至第一迭代计算单元 (U2);

所述第一迭代计算单元 (U2),从所述加法器 (U7) 获取多波束校正声程 (K) 值,在每步迭代计算过程中还对从所述第一暂存器获取的第一中间变量 sum 值采取如下处理之一:

① 在 X-Y 坐标系中,若接收波束相对于发射焦点在 X 轴的正方向上,则递加  $+2*c3*m - m^2 - 2*m*K$ ,

② 在 X-Y 坐标系中,若接收波束相对于发射焦点在 X 轴的负方向上,则递加  $-2*c3*m - m^2 - 2*m*K$ ,

从而计算出所述第一中间变量  $sum$  的新值,其中  $c3$  为一初始参数、 $m$  为校正量的初始参数。

5. 如权利要求 4 所述的超声波束合成聚焦参数的实时计算装置,其特征在于:还包括第二多路选择器 (20),所述第二多路选择器 (20) 的输入端分别连接第一迭代计算单元 (U2) 的输出端和延迟变更预测单元 (U3) 的输出端,控制端响应判断单元 (U4) 输出的控制信号,输出端耦合到第一暂存器 (R1)。

6. 一种超声波束合成聚焦参数的实时计算方法,其特征在于包括以下步骤:

A1、设置初始化参数值,所述初始化参数包括第一中间变量  $sum$ 、焦点阵元延时差  $t_0$ ;

C1、计算第一中间变量  $sum$ ,即在第一中间变量  $sum$  原值上递加  $2*c2*n+2*t_0*n$ ,计算出第一中间变量的新值,其中  $n$  为整数, $c2$  为步骤 A1 设置的初始化参数;

D1、计算第二中间变量  $sum\_a$ : $sum\_a = sum - 2*T - 2*t_0 + 1$ ,其中  $T$  为焦点声程;

E1、比较 C1 步骤和 D1 步骤所计算的第一中间变量  $sum$  和第二中间变量  $sum\_a$  的绝对值大小;

F1、如果  $|sum\_a| < |sum|$ ,则递减迭代计算焦点阵元延时差  $t_0$ ,并置第一中间变量  $sum$  值为 D1 步骤计算出的第二中间变量  $sum\_a$  的值,然后执行步骤 H1;否则执行步骤 G1;

G1、设置聚焦位为 0 并输出,然后执行步骤 I1;

H1、设置聚焦位为 1 并输出,然后执行步骤 I1;

I1、将焦点阵元延时差的初始值  $t_{00}$  作为第一个焦点的聚焦参数,根据聚焦位和前一个焦点的聚焦参数计算出当前焦点的聚焦参数;

J1、循环步骤 C1 至 I1。

7. 如权利要求 6 所述的超声波束合成聚焦参数的实时计算方法,其特征在于在所述步骤 A1 之后和所述步骤 C1 之前还包括以下步骤:

B1、如果焦点声程  $T$  小于特定值时,直接转至步骤 G1;否则继续步骤 C1,所述特定值由初始化参数载入。

8. 如权利要求 7 所述的超声波束合成聚焦参数的实时计算方法,其特征在于:所述步骤 A1 中的初始化参数还包括多波束校正声程  $K$ 、校正量的初始参数  $m$ 、参数  $c3$ ;在所述步骤 C1 之后和所述步骤 D1 之前还包括以下步骤:

C2、计算第一中间变量  $sum$ ,即在第一中间变量  $sum$  值上再递加  $\mu 2*c3*m - m^2 - 2*m*K$ ,计算出第一中间变量的新值。

9. 如权利要求 6 所述的超声波束合成聚焦参数的实时计算方法,其特征在于:所述步骤 H1 包括以下步骤:

H11、设置步进量;

H12、根据聚焦位、前一个焦点的聚焦参数和步进量计算出当前焦点的聚焦参数,所述当前焦点的聚焦参数等于前一个焦点的聚焦参数减去聚焦位的值乘以步进量。

10. 一种超声波束合成聚焦参数的实时计算装置,包括时钟发生器和初始化参数加载单元 (U1),所述时钟发生器用于为所述计算装置提供时钟信号,所述初始化参数加载单元用于加载所述计算装置的初始化参数,其特征在于还包括:

第一暂存器 (R1),与所述初始化参数加载单元接口连接,用于暂存第一中间变量  $sum$ ;

第二暂存器 (R2),与初始化参数加载单元接口连接,用于暂存焦点阵元延时差  $t_0$ ;

第一迭代计算单元 (U2), 其从所述初始化参数加载单元 (U1) 获取相应的初始化参数值, 从所述第二暂存器 (R2) 获取焦点阵元延时差  $t_D$  值, 在每步迭代计算过程中对从所述第一暂存器 (R1) 获取的第一中间变量  $sum$  值递加  $2*c2*n+2*t_D*n$ , 计算出所述第一中间变量  $sum$  的新值, 其中  $n$  为整数、 $c2$  为一初始化参数;

延迟变更预测单元 (U3), 其从所述第一迭代计算单元 (U2) 获取第一中间变量  $sum$  值, 从所述第二暂存器获取焦点阵元延时差  $t_D$  值, 按下述公式计算第二中间变量  $sum\_a$  值:  
 $sum\_a = sum - 2*T - 2*t_D + 1$ , 其中  $T$  为焦点声程;

判断单元 (U4), 用于比较所述第一中间变量  $sum$  与所述第二中间变量  $sum\_a$  的绝对值大小, 并根据比较结果输出控制信号;

第二迭代计算单元 (U5), 用于迭代计算焦点阵元延时差  $t_D$ , 其根据所述判断单元 (U4) 的输出信号选择进行迭代递减运算, 并向所述第二暂存器 (R2) 获取焦点阵元延时差  $t_D$  和写入运算后的焦点阵元延时差  $t_D$ ;

聚焦位单元 (10), 用于根据所述判断单元 (U4) 的输出信号选择聚焦位为“1”或“0”并输出;

所述第一暂存器 (R1) 的初始值  $sum_0$  由所述初始化参数加载单元 (U1) 提供, 后续值根据所述判断单元 (U4) 输出的控制信号选择由延迟变更预测单元 (U3) 或者第一迭代计算单元 (U2) 提供;

所述第二暂存器 (R2) 的初始值  $t_{D0}$  由所述初始化参数加载单元 (U1) 提供, 后续值由第二迭代计算单元 (U5) 提供, 并在第一个接收焦点时输出焦点阵元延时差  $t_D$ ;

聚焦参数处理单元, 用于接收焦点阵元延时差的初始值  $t_{D0}$  和聚焦位单元 (10) 输出的聚焦位, 将焦点阵元延时差的初始值  $t_{D0}$  作为第一个接收焦点的聚焦参数, 根据聚焦位和前一个焦点的聚焦参数计算出当前焦点的聚焦参数。

## 超声波束合成聚焦参数实时计算方法及装置

### 【技术领域】

[0001] 本发明涉及医学超声系统,尤其涉及一种实时计算超声波束合成聚焦参数的方法以及实现该方法的装置。

### 【背景技术】

[0002] 医学超声系统通过扫描线(或称波束)合成二维图像,每幅二维图像称为一帧图像。每秒形成的帧图像总数称为帧率,帧率是一个很重要的参数,高帧率是真实再现快速运动组织(如心瓣膜)的基本条件。

[0003] 为提高帧率,可以降低扫描密度,但这样会牺牲图像空间分辨率;也可以采用多波束,即一次发射形成多条接收线,但每条接收线到达阵元的距离不同,导致接收线到达阵元的时间也不同,这样就无法形成清晰的图像,需要计算每两条接收线之间的延时差,该延时差通常表现为初始延时量与聚焦位变化量的函数关系式。聚焦是通过不同通道使用不同的延迟来实现的,因此聚焦参数也可称为延迟系数。随着多波束的引入即接收线的增加,需要成倍增加接收聚焦参数数据量。特别系统引入相控阵并考虑多波束校正时,总接收聚焦参数数据将增加为 512 倍或更多。40M 采样、26cm 探测深度、8 个时钟变换一次接收焦点,一般凸阵单波束模式大约需要 400KByte 的聚焦参数数据,而同时引入相控阵和双波束校正后,参数可达 200MByte。如此庞大的数据在实际中通过软件实现是不现实的,这样会同时增加系统的设计工作量、成本和不稳定性。

[0004] 利用硬件实时计算聚焦参数是一种解决机制。超声医学成像以扫描线(或称波束)为基本单位,只需要在每条扫描线启动前载入少量的初始控制参数,即可以在接收期间由硬件自动生成所需的聚焦参数。

[0005] 专利号为 6,110,116(公开日:2000 年 8 月 29 日)的美国专利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速度。

[0006] 专利号为 6,123,671(公开日:2000 年 9 月 26 日)的美国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,其方法较简单快捷,占用存储器及硬件资源也较少,但不便于实现多波束接收聚集校正功能。

### 【发明内容】

[0007] 本发明的主要目的就是为了解决聚焦参数的实时计算问题,提供一种超声波束合成聚焦参数的实时计算方法及装置,在高帧率的情况下,使用较少的硬件资源实现聚焦参数的实时计算。

[0008] 本发明的次要目的就是提供一种超声波束合成聚焦参数的实时计算方法及装置,在实现聚焦参数实时计算的同时,对多波束接收聚焦进行校正。

[0009] 为实现上述目的,本发明提出了一种超声波束合成聚焦参数的计算装置,包括时钟发生器和初始化参数加载单元,所述时钟发生器用于为所述计算装置提供时钟信号,所述初始化参数加载单元用于加载所述计算装置的初始化参数;第一暂存器,与所述初始化参数加载单元接口连接,用于暂存第一中间变量 sum;第二暂存器,与初始化参数加载单元接口连接,用于暂存焦点阵元延时差  $t_D$ ;第一迭代计算单元,其从所述初始化参数加载单元获取相应的初始化参数值,从所述第二暂存器获取焦点阵元延时差  $t_D$  值,在每步迭代计算过程中对从所述第一暂存器获取的第一中间变量 sum 值递加  $2*c2*n+2*t_D*n$ ,计算出所述第一中间变量 sum 的新值,其中 n 为整数、c2 为一初始化参数;延迟变更预测单元,其从所述第一迭代计算单元获取第一中间变量 sum 值,从所述第二暂存器获取焦点阵元延时差  $t_D$  值,按下述公式计算第二中间变量值 sum\_a:第二中间变量值=第一中间变量值  $-2*T-2*t_D+1$ ,即  $sum\_a = sum-2*T-2*t_D+1$ ,其中 T 为焦点声程;判断单元,用于比较所述第一中间变量 sum 与所述第二中间变量 sum\_a 的绝对值大小,并根据比较结果输出控制信号;第二迭代计算单元,用于迭代计算焦点阵元延时差  $t_D$ ,其根据所述判断单元的输出信号选择进行迭代递减运算,并向所述第二暂存器获取焦点阵元延时差  $t_D$  和写入运算后的焦点阵元延时差  $t_D$ ;聚焦位单元,用于根据所述判断单元的输出信号选择聚焦位为“1”或“0”并输出;所述第一暂存器的初始值由所述初始化参数加载单元提供,后续值根据所述判断单元输出的控制信号选择由延迟变更预测单元或者第一迭代计算单元提供;所述第二暂存器的初始值由所述初始化参数加载单元提供,后续值由第二迭代计算单元提供,并在第一个接收焦点时输出焦点阵元延时差  $t_D$ 。

[0010] 其中,所述聚焦位单元优选为第一多路选择器,所述第一多路选择器的输入端分别连接高电平“1”和低电平“0”,控制端响应判断单元输出的控制信号,输出端用于输出聚焦位。

[0011] 还可以进一步包括一个计数比较器 U6,用于当焦点距离小于特定值时,直接输出初始化载入的初始化聚焦参数值,所述特定值由初始化参数加载单元 U1 载入。

[0012] 另外,还可以包括一个加法器,用于根据初始化参数将多波束校正声程 K 按一定的时钟周期进行步增,并输出至第一迭代计算单元,该第一迭代计算单元从加法器获取多波束校正声程 K 值,在每步迭代计算过程中还对从第一中间变量值采取如下处理之一:①在 X-Y 坐标系中,若接收波束相对于发射焦点在 X 轴的正方向上,即接收波束的 X 坐标值大于发射焦点的 X 坐标值,则递加  $+2*c3*m-m^2-2*m*K$ ,②在 X-Y 坐标系中,若接收波束相对于发射焦点在 X 轴的负方向上,即接收波束的 X 坐标值小于发射焦点的 X 坐标值,则递加  $-2*c3*m-m^2-2*m*K$ ,从而计算出第一中间变量的新值,其中 c3 为一初始化参数、m 为校正量的初始参数。

[0013] 为实现上述目的,本发明还提出了一种超声波束合成聚焦参数的实时计算方法,包括以下步骤:

[0014] A1、设置初始化参数值,所述初始化参数包括第一中间变量 sum、焦点阵元延时差  $t_D$ ;

[0015] C1、计算第一中间变量 sum,即在第一中间变量 sum 原值上递加  $2*c2*n+2*t_D*n$ ,计算出第一中间变量的新值,其中 n 为整数,c2 为步骤 A1 设置的初始化参数;

[0016] D1、计算第二中间变量 sum\_a: $sum\_a = sum-2*T-2*t_D+1$ ,其中 T 为焦点声程;

[0017] E1、比较 C1 步骤和 D1 步骤所计算的第一中间变量 sum 和第二中间变量 sum\_a 的绝对值大小；

[0018] F1、如果  $|\text{sum}_a| < |\text{sum}|$ ，则递减迭代计算焦点阵元延时差  $t_D$ ，并置第一中间变量 sum 值为步骤 D1 计算出的第二中间变量 sum\_a 的值，然后执行步骤 H1；否则执行步骤 G1；

[0019] G1、设置聚焦位为 0 并输出，然后执行步骤 I1；

[0020] H1、设置聚焦位为 1 并输出，然后执行步骤 I1；

[0021] I1、将焦点阵元延时差的初始值  $t_{D0}$  作为第一个焦点的聚焦参数，根据聚焦位和前一个焦点的聚焦参数计算出当前焦点的聚焦参数；

[0022] J1、循环步骤 C1 至 I1。

[0023] 另外，初始化参数还可以包括多波束校正声程 K、校正量的初始参数 m、参数 c3 等；在所述步骤 C1 之后和步骤 D1 之前增加步骤 C2，即：

[0024] C2、计算第一中间变量，即在第一中间变量值上再递加  $\mu 2*c3*m-m^2-2*m*K$ ，计算出第一中间变量的新值。在 X-Y 坐标系中，若接收波束相对于发射焦点在 X 轴的正方向上，即接收波束的 X 坐标值大于发射焦点的 X 坐标值，则递加  $+2*c3*m-m^2-2*m*K$ ；若接收波束相对于发射焦点在 X 轴的负方向上，即接收波束的 X 坐标值小于发射焦点的 X 坐标值，则递加  $-2*c3*m-m^2-2*m*K$ 。

[0025] 还可以在步骤 A1 之后和步骤 C1 之前增加步骤 B1，即：

[0026] B1、如果焦点声程 T 小于特定值，则直接转至步骤 G1；否则继续步骤 C1。

[0027] 其中所述步骤 H3 优选包括以下步骤：

[0028] H31、设置步进量；

[0029] H32、根据聚焦位、前一个焦点的聚焦参数和步进量计算出当前焦点的聚焦参数，所述当前焦点的聚焦参数等于前一个焦点的聚焦参数减去聚焦位的值乘以步进量。

[0030] 为实现上述目的，本发明还提出了一种超声波束合成聚焦参数的实时计算装置，包括时钟发生器和初始化参数加载单元，所述时钟发生器用于为所述计算装置提供时钟信号，所述初始化参数加载单元用于加载所述计算装置的初始化参数；第一暂存器，与所述初始化参数加载单元接口连接，用于暂存第一中间变量 sum；第二暂存器，与初始化参数加载单元接口连接，用于暂存焦点阵元延时差  $t_D$ ；第一迭代计算单元，其从所述初始化参数加载单元获取相应的初始化参数值，从所述第二暂存器获取焦点阵元延时差  $t_D$  值，在每步迭代计算过程中对从所述第一暂存器获取的第一中间变量 sum 值递加  $2*c2*n+2*t_D*n$ ，计算出所述第一中间变量 sum 的新值，其中 n 为整数、c2 为一初始化参数；延迟变更预测单元，其从所述第一迭代计算单元获取第一中间变量 sum 值，从所述第二暂存器获取焦点阵元延时差  $t_D$  值，按下述公式计算第二中间变量值：第二中间变量值 = 第一中间变量值  $-2*T-2*t_D+1$ ，即  $\text{sum}_a = \text{sum}-2*T-2*t_D+1$ ，其中 T 为焦点声程；判断单元，用于比较所述第一中间变量 sum 与所述第二中间变量 sum\_a 的绝对值大小，并根据比较结果输出控制信号；第二迭代计算单元，用于迭代计算焦点阵元延时差  $t_D$ ，其根据所述判断单元的输出信号选择进行迭代递减运算，并向所述第二暂存器获取焦点阵元延时差  $t_D$  和写入运算后的焦点阵元延时差  $t_D$ ；聚焦位单元，用于根据所述判断单元的输出信号选择聚焦位为“1”或“0”并输出；所述第一暂存器的初始值由所述初始化参数加载单元提供，后续值根据所述判断单元输出的控制信

号选择由延迟变更预测单元或者第一迭代计算单元提供；所述第二暂存器的初始值由所述初始化参数加载单元提供，后续值由第二迭代计算单元提供，并在第一个接收焦点时输出焦点阵元延时差  $t_0$ ；所述初始化参数加载单元直接输出焦点阵元延时差的初始值；聚焦参数处理单元，用于接收焦点阵元延时差的初始值  $t_{00}$  和聚焦位单元输出的聚焦位，将焦点阵元延时差的初始值  $t_{00}$  作为第一个接收焦点的聚焦参数，根据聚焦位和前一个焦点的聚焦参数计算出当前焦点的聚焦参数。

[0031] 本发明的有益效果是：本发明方案利用迭代逼近计算原理，可实时计算医学超声系统波束合成的聚焦参数，使用较少的硬件资源和初始化参数，并且可以实现多波束校正，且校正对初始化参数的影响很小。在 FPGA 中实现，可适用于任意通道数和焦点数系统。

[0032] 本发明的理论基础、特征及优点将通过实施例结合附图进行详细说明。

### 【附图说明】

[0033] 图 1 为 B 型医学超声成像系统结构框图；

[0034] 图 2 为波束延迟时间计算示意图；

[0035] 图 3 为相控阵双波束接收波束校正原理图；

[0036] 图 4 为线阵及相控阵探头（换能器）阵元的波束聚焦参数计算原理图；

[0037] 图 5 为凸阵探头（换能器）阵元的波束聚焦参数计算原理图；

[0038] 图 6 为焦点距离与波束延迟时间的关系曲线图；

[0039] 图 7 为本发明一种实施例的双波束合成结构框图；

[0040] 图 8 为本发明一种实施例的聚焦参数实时计算的单通道处理框图；

[0041] 图 9 为一种基于 RAM 回写机制的聚焦参数实时计算的硬件实现框图；

[0042] 图 10 为应用本发明的一种分时复用系统实施例原理框图。

### 【具体实施方式】

[0043] 本发明可适用于 24、48、64、128 等通道数及多波束。双波束是多波束的一种特例。下面主要以 64 通道双波束系统为例进行说明。

[0044] 图 1 为 B 型医学超声成像系统结构框图，本发明的技术方案可以应用在发射电路和波束合成两部分。

[0045] 图 2 为波束延迟时间计算示意图。横坐标为换能器（探头）阵元序列，纵坐标为阵元中心距离焦点位置的距离。要达到聚焦的目的，即要使各个阵元的波束能同时到达。图中示例画出的是最边缘一个阵元和几个焦点之间的波束线。

[0046] 首先以相控阵双波束接收为例。线阵实际上可以认为是相控阵 0 角度的一种特例。由于发射和接收线位置不同，造成接收线两边声场强度不对称，会造成实际形成接收线相对于理想接收线内切（即靠近发射线），而通常 DSC (Digital Scan Converter, 数据扫描变换) 过程是假定接收线等距的，二者的不匹配即形成了扫描图像上的双波束偏差。解决这种偏差可以从前端波束合成和 DSC 两边入手，只要二者完全匹配，即能达到校正的目的。由于 DSC 的非等量变化实现比较困难，通常均从前端入手，一种多波束的校正方法即是双波束接收外切，即使用图中的接收校正线作为参数计算依据、通过逆补偿实现校正，外切的位置量随着深度变化，在发射焦点处最大。如图 3 所示。图 3 为相控阵双波束接收波束

校正原理图。

[0047] 图 4 为线阵及相控阵探头（换能器）阵元的波束聚焦参数计算原理图，它是在图 3 基础上建立的。对于每一个接收焦点，假定相应的双（多）波束校正量为  $k$ 。不同的接收焦点对应不同的双（多）波束校正量  $k$ 。则有：

[0048]

$$\Delta D = \sqrt{(x - F * \sin \theta \pm k * \cos \theta)^2 + (F * \cos \theta \pm k * \sin \theta)^2} - \sqrt{F^2 + k^2} \dots (1)$$

[0049] 其中， $\Delta D$  是接收焦点到阵元和子阵中心的距离差，或者称为延时距离； $x$  是阵元中心到接收线与探头交接点的距离； $\theta$  是当前接收线的偏转角度； $F$  是当前接收聚焦的焦距。

[0050] 为计算方便，可定义  $x$  和  $\theta$  在第二象限为负，第一象限为正（ $X-Z$  平面）。

[0051] 在式 (1) 中，对于双（多）波束左侧接收线（即靠近小序号阵元）取上面符号（即“+”号），右侧接收线取下面符号（即“-”号）。

[0052] 除最接近换能器（探头）的几个接收焦点外，通常  $k$  与  $F$  是不可比的，因此计算时可以认为  $F \approx \sqrt{F^2 + k^2}$ ，则式 (1) 可简化为：

$$[\Delta D]^2 + 2 * \Delta D * F = x^2 + k^2 - 2x * F * \sin \theta \pm 2x * k * \cos \theta \dots (2)$$

[0054] 如果将式 (2) 两边均除以  $C^2$ （其中  $C$  为声速），将距离运算转化为时间运算，则得：

[0055]

$$\left(\frac{\Delta D}{C}\right)^2 + 2\left(\frac{x}{C}\right) * \left(\frac{F}{C}\right) * \sin \theta + 2\left(\frac{\Delta D}{C}\right)\left(\frac{F}{C}\right) - \left(\frac{x}{C}\right)^2 - \left(\frac{k}{C}\right)^2 \pm 2\left(\frac{x}{C}\right) * \left(\frac{k}{C}\right) * \cos \theta = 0 \dots (3)$$

[0056] 如果定义：各接收焦点阵元延迟时差为  $t_D = \Delta D / C$ ；焦点声程为  $T = F / C$ ；双波束校正声程  $K = k / C$ ；同时，由于对于特定的扫描线以及特定的阵元来说， $x$  和  $\theta$  都是常数，因此可以定义  $c1 = (x/C)^2$ ； $c2 = \sin \theta * x / C$ ； $c3 = \cos \theta * x / C$ ；则式 (3) 可简化为：

$$t_D^2 + 2 * c2 * T + 2 * t_D * T \pm 2 * c3 * K - c1 - K^2 = 0 \dots (4)$$

[0058] 由于双波束校正量通常很小，因此可以认为  $t_D$  随  $T$  增大而减小的方向是不变的。

$$[\text{sum}] = t_D^2 + 2 * c2 * T + 2 * t_D * T \pm 2 * c3 * K - c1 - K^2 \dots (5)$$

[0060] 其中  $\text{sum}$  称为中间变量。 $\text{sum} = 0$  时，即意味着达到理想精度，但实际情况不可能达到，只能逼近，越逼近 0 就代表聚焦的效果越好。通过迭代运算可以使  $\text{sum}$  逼近 0。

[0061] 其次，再以凸阵双波束接收为例。如图 5 所示。图 5 为凸阵探头（换能器）阵元的波束聚焦参数计算原理图。通常换能器（探头）的半径  $R$ 、阵元弧长间距  $d$ 、接收通道相对中心数量  $n$ 、接收焦距  $F$ 、双波束校正量  $k$  均已知，则该焦点的聚焦延迟距离差为：

$$[\Delta D] = (r(j, n) - \sqrt{F^2 + (k(j))^2}) \dots (6)$$

[0063] 其中： $j$  代表不同的接收焦点，

$$r(j, n) = \sqrt{R^2 + [R + F]^2 + (k(j))^2} - 2R * \sqrt{[R + F]^2 + (ka(j))^2} * \cos(\theta(j, n))$$

[0065] 而在上式中，

$$\theta(j, n) = [((32 + p * stn - n) * d) / R] - \text{atan}[ka(j) / (R + (j - 0.5) * q)],$$

[0067] 其中  $pstn$  表示接收线起点与子阵中心弧度偏差,与接收线的位置有关,取值在  $[0, 1]$  之间; $atan$  表示  $\tan$  的反函数; $q$  表示相邻近两接收焦点的距离; $ka(j)$  表示当前焦点的校正距离。

[0068] 由于  $ka(j)$  与  $R+(j-0.5)*q$  不可比,上式可简化后得:

$$[0069] \quad \theta = ((32+pstn-n)*d)/R \dots (7)$$

[0070] 结合相控阵分析的结论,在计算延迟差时也可以用理想焦距代替实际焦距,则式(6)可以化简为:

$$[0071] \quad \Delta D = \sqrt{R^2 + [R + F]^2 + (k(j))^2} - 2R * \sqrt{[R + F]^2 + (k(j))^2} * \cos(\theta(n)) - F \dots (8)$$

[0072] 如果将式(8)两边平方,可得:

$$[0073] \quad (\Delta D)^2 + 2 * \Delta D * F = 2R^2(1 - \cos \theta) + 2F * R(1 - \cos \theta) + k^2 \dots (9)$$

[0074] 如果将式(9)两边均除以  $C^2$  (其中  $C$  为声速),将距离运算转化为时间运算,可得:

$$[0075] \quad \left(\frac{\Delta D}{C}\right)^2 + 2\left(\frac{\Delta D}{C}\right) * \left(\frac{F}{C}\right) * \cos \theta - \left(2\left(\frac{R}{C}\right)\left(\frac{F}{C}\right) + 2\left(\frac{R}{C}\right)^2\right)(1 - \cos \theta) - \left(\frac{k}{C}\right)^2 = 0 \dots (10)$$

[0076] 同样定义:各接收焦点阵元延迟时差为  $t_D = \Delta D/C$ ;焦点声程为  $T = F/C$ ;双波束校正声程  $K = k/C$ ;同样由于对于特定的扫描线以及特定的阵元, $R$  和  $\theta$  都是常数,因此定义  $c1 = 2 * (R/C)^2 * (1 - \cos \theta)$ ,  $c2 = -(R/C) * (1 - \cos \theta)$ ,  $c3 = 0$  则式(10)可简化为:

$$[0077] \quad t_D^2 + 2 * c2 * T + 2 * t_D * T + 2 * c3 * K - c1 - K^2 = 0 \dots (11)$$

[0078] 由于双波束校正量通常很小,因此可以认为  $t_D$  随  $T$  增大而减小的方向是不变的。

$$[0079] \quad \text{假设: } t_D^2 + 2 * c2 * T + 2 * t_D * T + 2 * c3 * K - c1 - K^2 = \text{sum} \dots (12)$$

[0080] 其中  $\text{sum}$  称为中间变量。 $\text{sum} = 0$  时即意味着达到理想精度,但实际情况不可能达到,只能逼近,越逼近 0 就代表聚焦的效果越好。通过迭代可以使  $\text{sum}$  逼近 0。

[0081] 比较式(12)和式(5),可以发现二者完全相同。因此,对于线阵、相控阵、凸阵,均可以按相同的方法处理。

[0082] 逼近计算可由硬件完成,并应设法避免浮点运算。

[0083] 假定医学超声系统的最小延迟时间精度为  $p$ ,则  $T$ 、 $t_D$  必为  $p$  的整数倍,因此先将式(5)或式(12)量化处理,以方便硬件实现: $t_D$  按  $p$  整数取值, $T$  按  $p$  的  $n$  整数倍数取值, $n$  由焦点时差及  $p$  比决定; $c1$ 、 $c2$ 、 $K$  参数初始化时可保留适当小数位,以提高运算精度,每步运算后再恢复;实际应用中  $K$  可以按医学超声系统的最小精度执行,这样可以避免量化;由于  $K$  的变化必然是连续的,因此可以设置一定的度量单位,假定每次变化量为  $\pm m$ ;适当选择变化量,可使  $m = 1$ ,简化运算;由于接收焦点是单向累加的,则  $T$  也是累加的; $t_D$  随  $T$  增大而减小;其余都是确定数。校正量  $m$  如果设置为 0,就没有对双(多)波束合成失真的校正功能。

[0084] 由于接收焦点是单向累加,则  $T$  也是累加的, $t_D$  随  $T$  增大而减小,其余都是确定数。定义因此可按以下迭代步骤完成每一次计算:

[0085] 1、设定初始延迟值(即提前预置  $K_0$  和  $t_{D0}$ ),在各通道初始延迟值之前聚焦参数不作处理,聚焦位输出置“0”。这是受到硬件实现时的值域范围限制,为控制字长而设置的。初始化相关参数之后按以下步骤处理。

[0086] 2、迭代计算第一中间变量 sum, 其中第一中间变量 sum 的初始值作为初始参数输入的:  $sum = sum + 2 * c^2 * n + 2 * t_0 * n \mu 2 * c^3 * m - m^2 - 2 * m * K$

[0087] 其中 Sum 为第一中间变量。

[0088] 3、计算第二中间变量 sum\_a :  $sum\_a = sum - 2 * T - 2 * t_0 + 1$ 。

[0089] 其中 T 为焦点声程。

[0090] 4、如果  $|sum\_a| < |sum|$ , 则设置  $t_0 = t_0 - 1$ 、 $sum = sum\_a$ 、聚焦位输出为“1”, 返回第 2 步骤继续迭代逼近运算; 否则, 设置聚焦位输出为“0”、 $t_0$  及 sum 不改变。

[0091] 上述第 2、3、4 步骤运算的目标就是使每次聚焦运算结果的 sum 等于或趋近于 0。

[0092] 5、设置  $T = T + \Delta T$ , 重复上述 2、3、4 步骤, 直到 T 累加至最远接收焦点。该步骤是计算下一接收焦点。其中 T 在前文已经阐述, 即焦点声程,  $T = F/C$ ;  $\Delta T$  即是两个焦点之间的声程差。

[0093] 根据上述步骤输出的焦点阵元延时差的初始值  $t_{00}$  和聚焦位, 将焦点阵元延时差的初始值  $t_{00}$  作为第一个焦点的聚焦参数, 根据聚焦位和前一个焦点的聚焦参数计算出当前焦点的聚焦参数。

[0094] 计算聚焦参数可以通过以下步骤实现:

[0095] 1、设置步进量, 例如步进量为 5ns 或 6ns;

[0096] 2、根据聚焦位、前一个焦点的聚焦参数和步进量计算出当前焦点的聚焦参数, 所述当前焦点的聚焦参数等于前一个焦点的聚焦参数减去聚焦位的值乘以步进量。

[0097] 利用聚焦位来得到聚焦参数的目的是减少参数, 减少存储数据量。例如, 假如实际延迟理想计算值为 502、497、492、489、486... (ns), 最直接的存储方法就将以上数据全部存储, 这样数据偏多, 需要考虑压缩, 增加存储的难度; 本发明的方法是按一定值量化逼近, 如按 5 量化则形成以下数据 500、495、490、490、485... (ns), 如果用聚焦位表现, 则聚焦参数的初始值 (即初延迟) 为 500, 后面的焦点的聚焦参数根据前一个焦点的聚焦参数和聚焦位确定, 聚焦位为“0”时, 焦点的聚焦参数与前一个焦点的聚焦参数相同, 聚焦位为“1”时, 焦点的聚焦参数是前一个焦点的聚焦参数减去步进量。假设初延迟为 500, 聚焦位为 0、1、1、0、1、..., 步进量为 5ns, 1 表示相对于前一焦点要减 5 操作, 则计算后的聚焦参数是 500、495、490、490、485... (ns)。很明显 0、1 可以使用 1bit 存储, 而 500 则需要 16bit, 这样存储数据量就减小为 1/16。

[0098] 上述第 1 步骤中加入初始延迟值的好处是可以方便系统实现同时又对医学超声成像质量影响不大。参见图 6。图 6 为焦点距离与波束延迟时间的关系曲线图。图中横坐标为焦点个数, 相当于距离; 纵坐标为延迟差, 单位为 ns。图中两条曲线, 一条是没有初延迟的延迟计算结果值, 一条是考虑初延迟后的延迟结果值。对比两条线可以发现, 没有初延迟时, 最近几个焦点的延迟量变化很快, 通常可以达到 200ns 以上。而系统时钟通常会设置在 40MHz 或 30MHz, 每个时钟周期对应 25ns 或 33ns。因此可以简化设计, 设法取接收聚焦延迟变化步长在时钟周期内的变化段, 使每个焦点都可以高精度的逼近。初延迟的位置与阵元相对于理想发射接收线的距离成正比。考虑到实际超声成像中, 近场孔径较小, 因此采用初延迟, 对成像效果影响很小, 通常感觉不到, 同时又可以大大方便系统实现。对多个通道可以画出多条类似的曲线。

[0099] 实现上述方法的装置如图 8 所示。图 8 为本发明一种实施例的聚焦参数实时计算

的单通道处理框图。

[0100] 时钟发生器用于为所述计算装置提供时钟信号,初始化参数加载单元 U1 用于加载所述计算装置的初始化参数,第一暂存器 R1,用于与初始化参数加载单元接口连接,暂存第一中间变量 sum;第二暂存器 R2,用于与初始化参数加载单元接口连接,暂存焦点阵元延时差  $t_D$ ;第一迭代计算单元 U2,其从初始化参数加载单元获取相应的初始化参数值,从第二暂存器获取聚焦参数值,在每步迭代计算过程中对第一中间变量值递加  $2*c2*n+2*t_D*n$ ,计算出所述第一中间变量 sum 的新值,当输入校正量 m 时, sum 的计算公式如下:

$$[0101] \quad \text{sum} = \text{sum} + 2*c2*n + 2*t_D*n \mu 2*c3*m - m^2 - 2*m*K$$

[0102] 延迟变更预测单元 U3 从第一迭代计算单元 U2 获取第一中间变量 sum 值,从第二暂存器获取焦点阵元延时差  $t_D$  值,按下述公式计算第二中间变量 sum\_a 值:  $\text{sum}_a = \text{sum} - 2*T - 2*t_D + 1$ ,其中 T 为焦点声程;判断单元 U4 用于比较第一中间变量 sum 与第二中间变量 sum\_a 的绝对值大小,并根据比较结果输出控制信号 En;第二迭代计算单元 U5 用于迭代计算焦点阵元延时差  $t_D$ ,其根据判断单元 U4 的输出信号 En 选择进行迭代递减运算,并向第二暂存器 R2 获取焦点阵元延时差  $t_D$  或写入新计算的焦点阵元延时差  $t_D$ ;聚焦位单元 10 用于根据判断单元 U4 的输出信号 En 选择聚焦位置“1”或“0”,聚焦位单元 10 优选为第一多路选择器,第一多路选择器的输入端分别连接高电平“1”和低电平“0”,控制端响应判断单元 U4 输出的控制信号 En,输出端用于输出聚焦位。第一暂存器 R1 的初始值  $\text{sum}_0$  由初始化参数加载单元 U1 提供,后续值根据判断单元 U4 输出的控制信号 En 选择由延迟变更预测单元 U3 或者第一迭代计算单元 U2 提供,其选择优选通过第二多路选择器 20 实现,第二多路选择器 20 的输入端分别连接第一迭代计算单元 U2 的输出端和延迟变更预测单元 U3 的输出端,控制端响应判断单元 U4 输出的控制信号 En,输出端耦合到第一暂存器 R1。当  $|\text{sum}_a| < |\text{sum}|$  时,判断单元 U4 输出的控制信号 En 为“1”,使  $t_D = t_D - 1$ 、 $\text{sum} = \text{sum}_a$ 、聚焦位输出为“1”, $\text{sum}_a$  存入第一暂存器 R1;当  $|\text{sum}_a| \geq |\text{sum}|$  时,判断单元 U4 输出的控制信号 En 为“0”,使  $t_D$ 、sum 不变, sum 存入第一暂存器 R1,聚焦位输出为“0”;第二暂存器 R2 的初始值  $t_{D0}$  由初始化参数加载单元 U1 提供,后续值由第二迭代计算单元 U5 提供,并在第一个接收焦点时输出焦点阵元延时差  $t_D$  至聚焦参数处理单元,即图 7 中的延迟系数处理单元 30。

[0103] 为了实现循环运算,增加设置了第一暂存器 R1,用于保存当前计算周期输出的第一中间变量 sum,同时作为每一个计算周期的输入(即输入到第一迭代计算单元 U2 的第一中间变量 sum)。

[0104] 聚焦参数处理单元接收焦点阵元延时差的初始值  $t_{D0}$  和聚焦位单元输出的聚焦位,将焦点阵元延时差的初始值  $t_{D0}$  作为第一个焦点的聚焦参数,根据聚焦位和前一个焦点的聚焦参数计算出当前焦点的聚焦参数。

[0105] 另外,还可以包括一个加法器 U7,用于根据初始化参数将多波束校正声程 K 按一定的时钟周期进行步增,并输出至第一迭代计算单元 U2,该第一迭代计算单元 U2,从加法器 U7 获取多波束校正声程 K 值,在每步迭代计算过程中还对从第一中间变量值采取如下处理之一:①在 X-Y 坐标系中,若接收波束相对于发射焦点在 X 轴的正方向上,则递加  $+2*c3*m - m^2 - 2*m*K$ ,②在 X-Y 坐标系中,若接收波束相对于发射焦点在 X 轴的负方向上,则递加  $-2*c3*m - m^2 - 2*m*K$ ,从而计算出第一中间变量的新值,其中  $c3$  为一初始化参数、m 为一

初始化参数。

[0106] 还可以进一步包括一个计数比较器 U6,用于当焦点距离小于特定值时,直接输出初始化载入的初始化聚焦参数值。

[0107] 双波束的波束合成过程,如图 7 所示。图 7 为本发明一种实施例的双波束波束合成结构框图。

[0108] 双波束的波束合成过程是:首先并行将各个通道的回波数据转换成数字信号,这个过程使用 ADC(模数转换器,analogue digital converter)来实现,ADC的工作频率通常在 20-50MHz 之间;转换后的各通道超声回波数据,根据各通道与最终形成的合成波束的声程差(超声传播的时间差)给与不同的时间延迟,使各通道相位一致;经过相位同步(时间延迟)后的各通道信号再给予不同的变迹并相加,即可合成回波波束。

[0109] 对于单波束系统,一组通道回波数据只通过一组延迟系数,形成一条合成波束;对于多波束系统,一组通道回波数据可通过多组延迟系数,形成多条合成波束。双波束是多波束的一种特例。

[0110] 图 9 表达了一种基于 RAM 回写机制的聚焦参数实时计算的硬件实现框图,这是按上述思想设计的一种硬件结构。通过 RAM 回写机制,实现系统资源的分时复用。硬件实现时,为节省资源,可以通过分时复用,使用 5 级流水操作来完成核心运算。图 10 为应用本发明技术方案的一种分时复用系统实施例原理框图。

[0111] 参见图 10,可以将所有的通道划分成若干组,比如将 128 个通道划分成 8 组,每组包括 16 个通道。每组的通道数也可以取 8、16 或 32,这取决于每个接收焦点的聚焦所应用的系统时钟数。

[0112] 系统工作时,首先将多个通道的预置数据存到 RAM 中。当系统收到工作启动信号后,将各个通道的预置数据依次送入聚焦参数计算器中,待最后一个通道的数据送完后,又重新从第一个通道送出,直至收到线周期结束信号为止。同时,每个通道的当前运算结果,即中间变量 sum 的计算结果、焦点阵元延时差  $t_p$  的计算结果、双(多)波束校正声程 K 的计算结果,在经过 5 个时钟的流水运算后,又会回写到预置数据 RAM 中,聚焦位数据则送出运算到波束合成中(参见图 7)。由于流水时钟数必然小于每个聚焦参数计算器计算的通道数,这样当一次预置数据送出循环结束后,RAM 的数据就会被更新。一个聚焦参数计算器即可实时计算多个通道的接收波束聚焦参数(延迟系数)数据。

[0113] 比如,每条接收波束线共需要 6 个(组)预置参数,可以预先计算好,由系统软件实时控制载入。对每条接收波束线的 64 个通道的聚焦计算,使用相同的校正参数。

[0114] 比如,在图 10 中,每一个实时参数计算模块按 16 通道进行分时复用,则在 128 通道双波束系统中共需要 8 个计算模块,每个模块负责 16 个通道的参数实时计算。在每条接收波束线计算之初,需要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,各模块按流水模式输出相应通道的聚焦参数数据。由于各通道的聚焦参数数据是交错输出,因此需要对数据和通道匹配进行选择。如果系统焦点变换速率为 5MHz,每 8 个时钟变换一次焦点,则聚焦数据计算器必须工作在 80MHz。各通道每次焦点数据计算结束时,必须将当前计算的结果回写至状态 RAM,作为下一焦点的迭代依据。由于计算器存在 5 级流水,因此参数回写相对于参数读出存在 5 个时钟延迟。根据具体硬件情况,还可以按其它数量的通道数进行组合,例如 8 个通道组合成一组,则焦点变化速率与系统时钟速率可以按

1 : 8 设计。

[0115] 上述说明主要是基于接收波束线的。但由于发射波束线可以认为是接收的一个简化过程,因此同样可以应用于发射波束线。

[0116] 本发明可在 FPGA 中实现,可适用于任意通道数和焦点数系统。

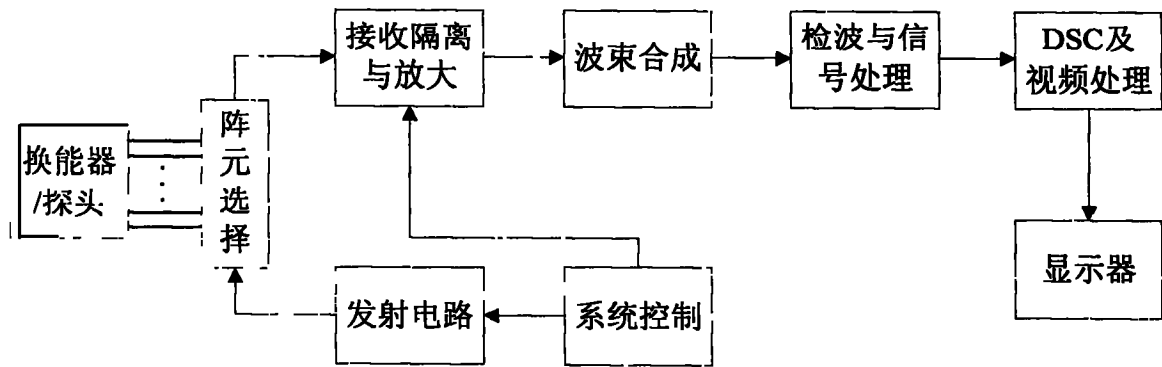


图 1

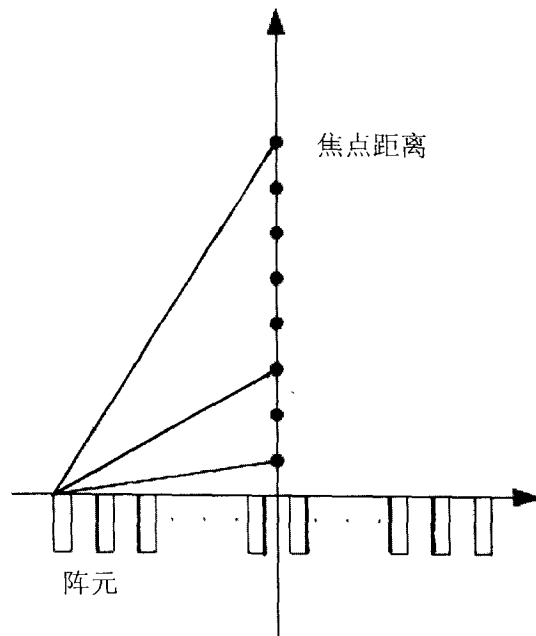


图 2

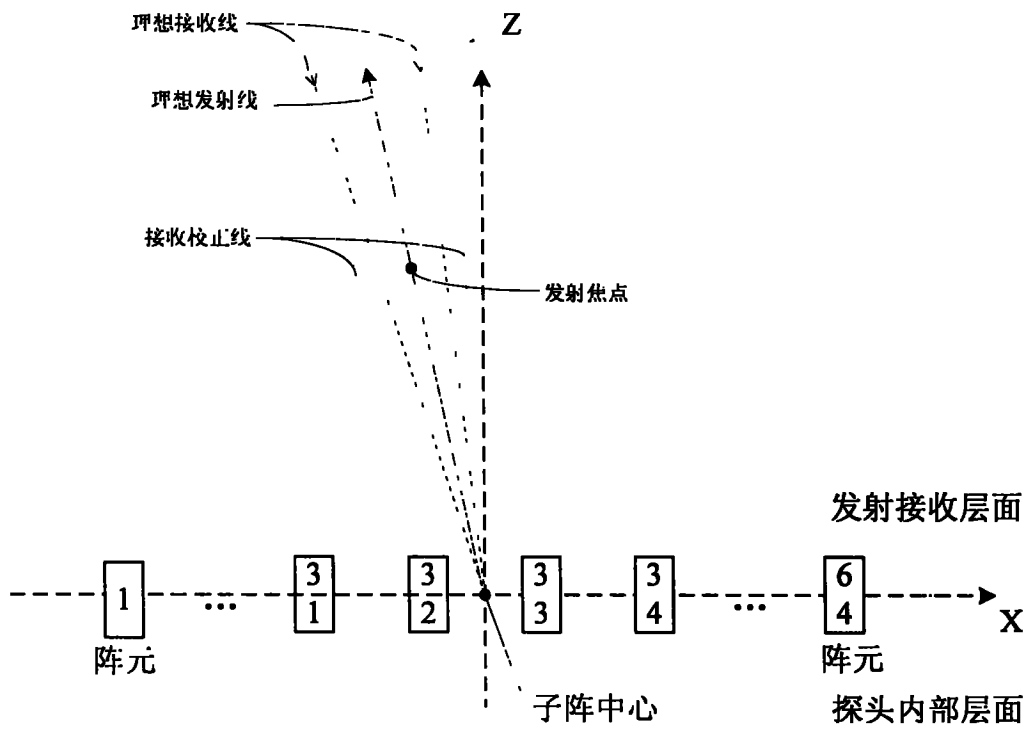


图 3

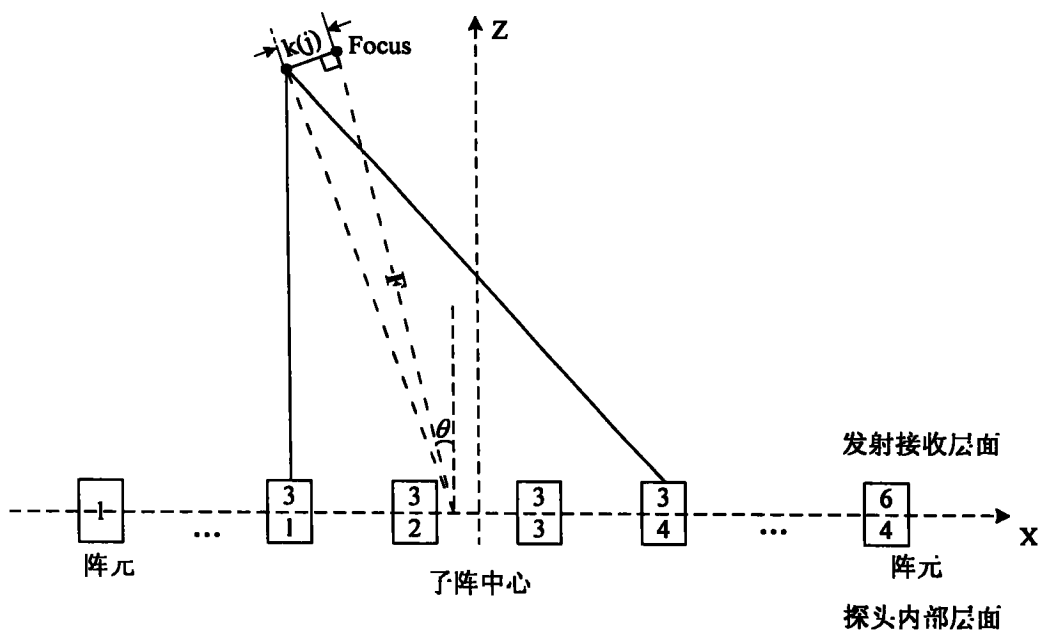


图 4

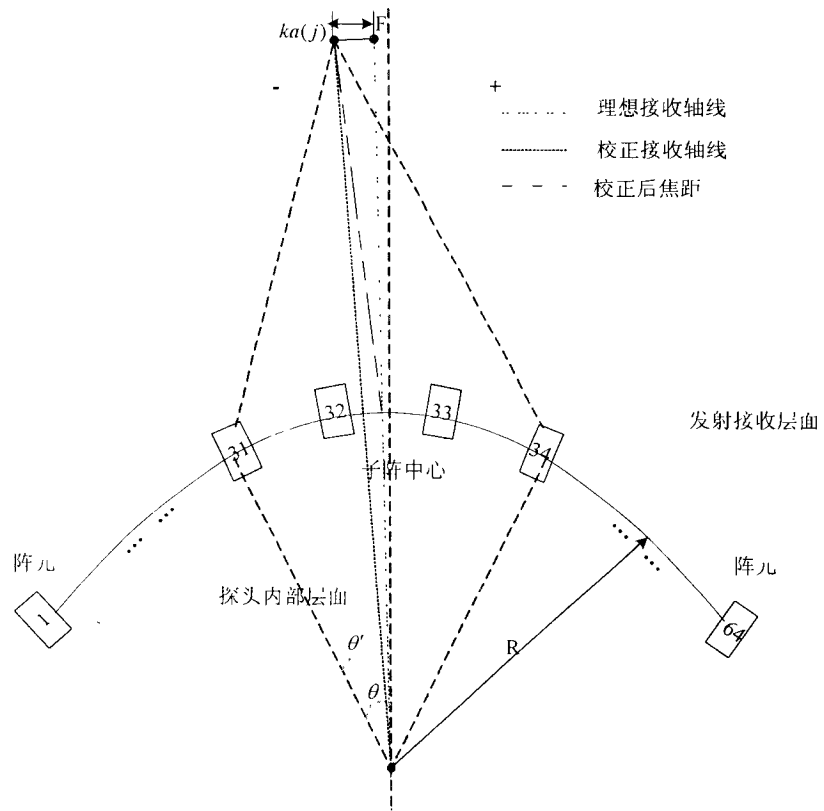


图 5

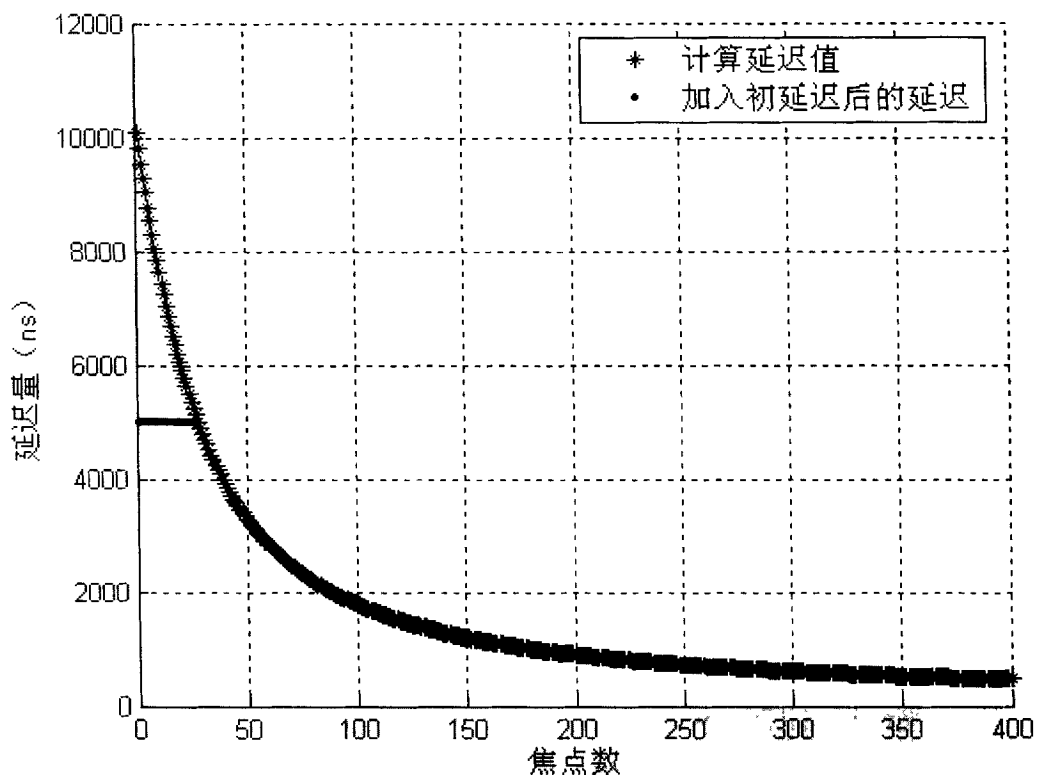


图 6

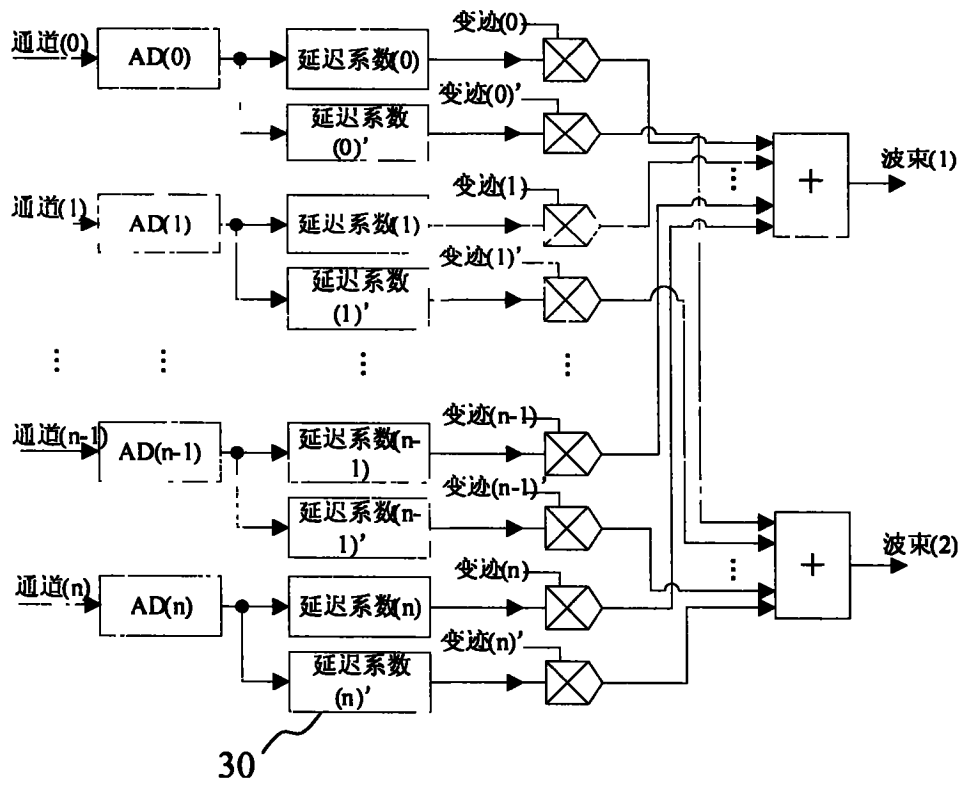


图 7

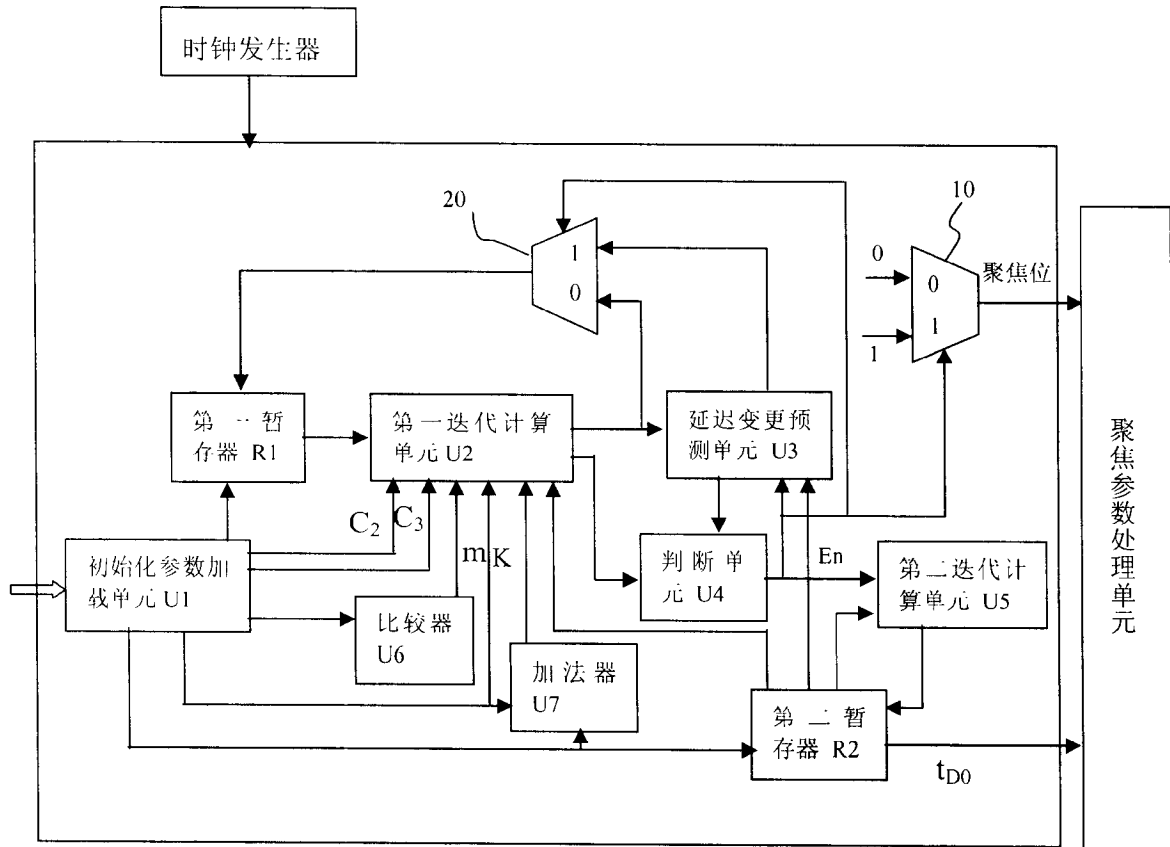


图 8

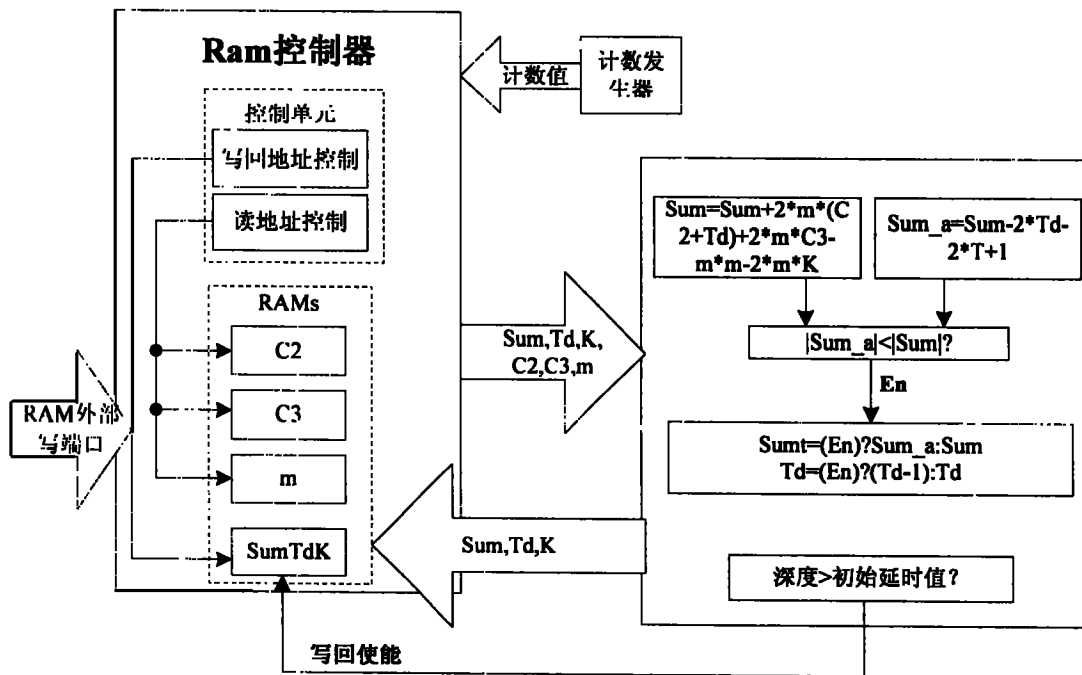


图 9

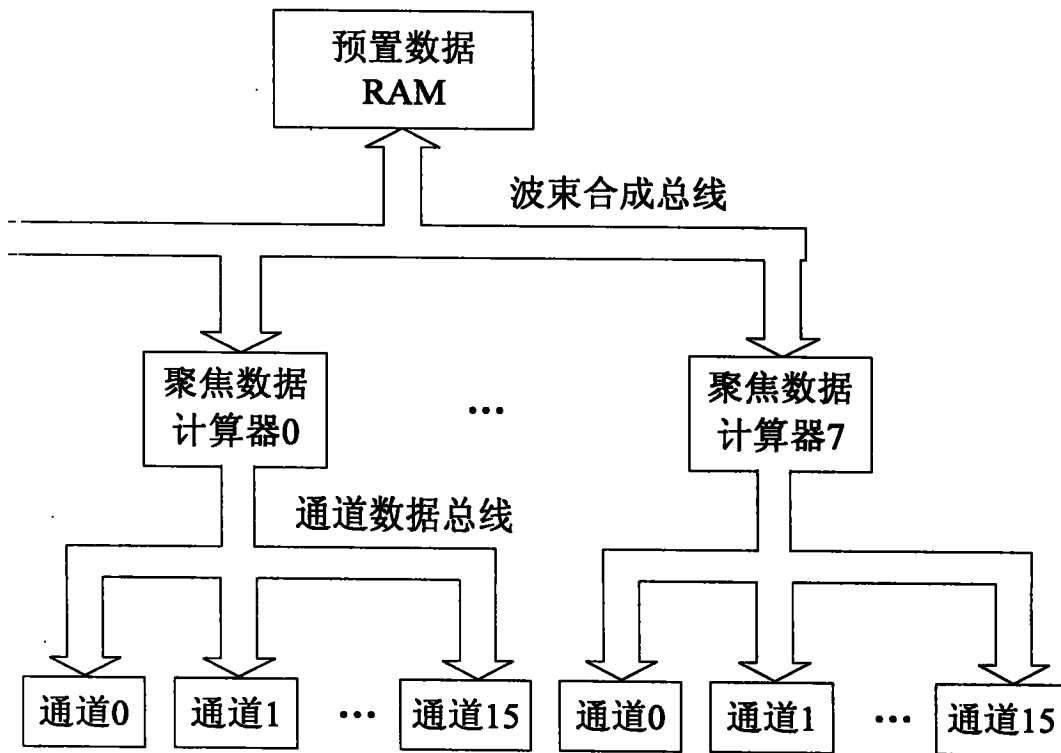


图 10

专利名称(译)	超声波束合成聚焦参数实时计算方法及装置		
公开(公告)号	<a href="#">CN101097256B</a>	公开(公告)日	2011-03-23
申请号	CN200610021344.6	申请日	2006-06-28
[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	胡勤军 黄勇 李勇 康小刚 程东彪		
发明人	胡勤军 黄勇 李勇 康小刚 程东彪		
IPC分类号	A61B8/00 G01S15/89		
代理人(译)	郭燕		
审查员(译)	张亚玲		
其他公开文献	CN101097256A		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a>		

摘要(译)

本发明涉及一种实时计算超声波束合成聚焦参数的方法及装置，设置初始化参数值，在第一中间变量sum原值上递加 $2*c2*n+2*tD*n$ ，计算出第一中间变量的新值，计算第二中间变量sum\_a： $sum\_a = sum - 2*T - 2*tD + 1$ ，比较第一中间变量sum和第二中间变量sum\_a的绝对值大小，如果 $|sum\_a| < |sum|$ 则递减迭代计算焦点阵元延时差tD，并置第一中间变量sum值为第二中间变量sum\_a的值，根据比较结果设置聚焦位为0或1并输出。只需预先加载有限的初始化参数，通过迭代逼近计算，即可获得比较理想的聚焦参数。适用于线阵、相控阵、凸阵。适用于多波束，支持多波束接收聚焦校正。在FPGA中实现，可适用于任意通道数和焦点数系统。

