

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int.Cl⁷

G01N 29/00

A61B 8/00 G03B 42/06

[12]发明专利申请公开说明书

[21]申请号 00104303.X

[43]公开日 2000年9月20日

[11]公开号 CN 1266989A

[22]申请日 2000.3.16 [21]申请号 00104303.X

[30]优先权

[32]1999.3.16 [33]US [31]09/268306

[71]申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

[72]发明人 R·Y·奇奥 L·J·托马斯三世

[74]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

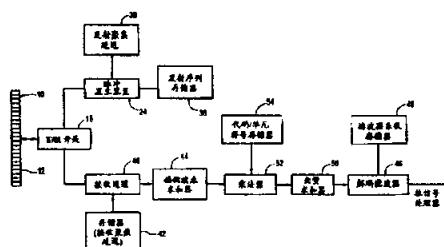
代理人 陈 霖 张志醒

权利要求书8页 说明书13页 附图页数7页

[54]发明名称 有使用单极或者双极编码激励的波束形成的超声成象系统

[57]摘要

医学超声成象用的编码激励通过在不同的点火上发射在编码基序列中的代码或单元符号实现。编码的基序列通过用过采样的代码序列卷积基序列而形成。对于每个点火，编码基序列里的指定代码或单元符号由单位符号替换(即1或-1)，同时其他的符号位置全部设为零。在每个发射之后，所接收的波形乘以各自的符号并且累加从而合成所接收的编码波形。



ISSN 1008-4274

权 利 要 求 书

1. 用来对超声散射体进行成象的系统，包括：

包括多个换能器单元的超声换能器阵列；

5 分别用来脉冲式驱动所述多个换能器单元的多个脉冲发生器；

发射序列源，用于分别在第一和第二发射点火期间向所述脉冲发生器提供第一和第二发射序列，所述第一和第二发射点火被聚焦于发射焦点位置处，所述第一和第二发射序列的特性是所述第一发射序列和第一代码/单元符号相乘的乘积与所述第二发射序列和第二代码/单元符号的乘积进行矢量相加而得到第一编码基序列；

接收器，它和所述换能器阵列耦合并经编程，分别在第一和第二发射点火之后，从构成接收孔径的选定换能器单元接收第一和第二组接收信号，并且产生分别从所述第一和第二组接收信号得出的第一和第二波束叠加信号；

15 以第一和第二组滤波器系数编程的滤波器，用于分别对所述第一和第二波束叠加信号滤波以构成第一和第二滤波信号，所述第一组滤波器系数是通过将所述第一代码/单元符号乘以第一组解码滤波器系数而得到的，所述第二组滤波器系数是通过将所述第二代码/单元符号乘以第一组解码滤波器系数而得到的；

20 矢量求和器，用来至少对所述第一和第二滤波信号求和，从而形成解码信号；

处理器，用于形成作为至少所述解码信号的函数的图像信号；以及

用来显示有一部分表示所述图像信号的图像的显示器。

25 2. 如在权利要求书 1 中所述的系统，其特征在于：

所述发射序列源适合于在第三和第四发射点火期间向所述脉冲发生器提供第三和第四发射序列，第三和第四发射点火被聚焦于所述发射焦点位置处，所述第三和第四发射序列的特性是所述第三发射序列和第一代码/单元符号相乘的矢量乘积与所述第四发射序列和第二代码/单元符号的乘积进行矢量相加而得到第二编码基序列，所述第一和第二编码基序列是互补的；

所述接收器经进一步编程，分别在第三和第四发射点火之后，从

构成所述接收孔径的所述选定换能器单元接收第三和第四组接收信号，并且提供分别从所述第三和第四组接收信号得出的第三和第四波束叠加信号；

所述滤波器进一步以第三和第四组滤波器系数编程，用于分别对
5 所述第三和第四波束叠加信号滤波以构成第三和第四滤波信号，所述
第三组滤波器系数是通过将所述第一代码/单元符号乘以第二组解码
滤波器系数而得到的，所述第四组滤波器系数是通过将所述第二代码
/单元符号乘以所述第二组解码滤波器系数而得到的；

所述矢量求和器适合于对所述第一至第四滤波信号求和，从而形
10 成所述解码信号。

3. 用来对超声散射体进行成象的系统，包括：

包括多个换能器单元的超声换能器阵列；

分别用来脉冲式驱动所述多个换能器单元的多个脉冲发生器；

发射序列源，用于分别在第一和第二发射点火期间向所述脉冲发
15 生器提供第一和第二发射序列，所述第一和第二发射点火被聚焦于发
射焦点位置处，所述第一和第二发射序列的特性是 Barker 码和基序
列进行卷积而得到一个编码基序列；

接收器，它和所述换能器阵列耦合并经编程，分别在第一和第二
发射点火之后，从构成接收孔径的选定换能器单元接收第一和第二组
20 接收信号，并且产生分别从所述第一和第二组接收信号得出的第一和
第二波束叠加信号；

乘法器，用于分别以第一和第二单位代码符号乘以每个第一和第
二波束形成信号，从而产生第一和第二乘积；

矢量求和器，用来对所述乘法器的乘积相加，从而形成合成信
25 号；

解码滤波器，用于对所述合成信号解码，以产生至少一个压缩脉
冲；

处理器，用于形成作为至少所述至少一个压缩脉冲的函数的图像
信号；以及

30 用来显示有一部分表示所述图像信号的图像的显示器。

4. 用来对超声散射体进行成象的方法，包括：

分别在第一和第二发射点火期间用第一和第二发射序列驱动在

换能器阵列中构成一个发射孔径的第一组换能器单元，所述第一和第二发射点火被聚焦于发射焦点位置处，所述第一和第二发射序列分别由第一和第二发射序列得到，所述第一和第二发射序列的特性是所述第一发射序列和第一代码/单元符号相乘的乘积与所述第二发射序列和第二代码/单元符号的乘积进行矢量相加而得到第一编码基序列；

5 分别在第一和第二发射点火之后，从换能器阵列中的构成接收孔径的第二组换能器单元接收第一和第二组接收信号；

产生分别从所述第一和第二组接收信号得出的第一和第二波束叠加信号；

10 通过分别施加第一和第二组滤波器系数，分别对所述第一和第二波束叠加信号滤波以构成第一和第二滤波信号，所述第一组滤波器系数是通过将所述第一代码/单元符号乘以第一组解码滤波器系数而得到的，所述第二组滤波器系数是通过将所述第二代码/单元符号乘以第一组解码滤波器系数而得到的；

15 至少对所述第一和第二滤波信号求和，从而形成解码信号；
形成作为至少所述解码信号的函数的图像信号；以及
显示有一部分表示所述图像信号的图像。

5. 如在权利要求书 4 中所述的方法，其特征在于：

20 分别在第三和第四发射点火期间用第三和第四脉冲序列驱动所述第一组换能器单元，所述第三和第四发射点火被聚焦于所述发射焦点位置处，所述第三和第四脉冲序列是分别从第三和第四发射序列得到的，所述第三和第四发射序列的特性是所述第三发射序列和第一代码/单元符号相乘的矢量乘积与所述第四发射序列和第二代码/单元符号的乘积进行矢量相加而得到第二编码基序列，所述第一和第二编码基序列是互补的；

25 分别在所述第三和第四发射点火之后，从所述第二组换能器单元接收第三和第四组接收信号；

形成分别从所述第三和第四组接收信号得出的第三和第四波束叠加信号；

30 通过分别施加第三和第四组滤波器系数，分别对所述第三和第四波束叠加信号滤波以构成第三和第四滤波信号，所述第三组滤波器系数是通过将所述第一代码/单元符号乘以第二组解码滤波器系数而得

到的，所述第四组滤波器系数是通过将所述第二代码/单元符号乘以第二组解码滤波器系数而得到的；

对所述第一至第四滤波信号求和，从而形成所述解码信号。

6. 用来对超声散射体进行成象的方法，包括：

5 分别在第一和第二发射点火期间用第一和第二脉冲序列驱动在换能器阵列中构成一个发射孔径的第一组换能器单元，所述第一和第二发射点火被聚焦于发射焦点位置处，所述第一和第二脉冲序列分别由第一和第二发射序列得到，所述第一和第二发射序列的特性是 Barker 码和基序列进行卷积以及所述第二发射序列和第二代码/单元符号的乘积而得到第一编码基序列；

分别在第一和第二发射点火之后，从换能器阵列中的构成接收孔径的第二组换能器单元接收第一和第二组接收信号；

产生分别从所述第一和第二组接收信号得出的第一和第二波束叠加信号；

15 将所述第一和第二波束形成信号分别乘以所述第一和第二单元代码符号，从而产生第一和第二乘积；

至少对所述第一和第二乘积求和，从而形成合成信号；

对所述合成信号解码，从而产生至少一个压缩脉冲；

形成作为所述至少一个压缩信号的函数的图像信号；以及显示有一部分表示所述图像信号的图像。

7. 用来对超声散射体进行成象的系统，包括：

包括多个换能器单元的超声换能器阵列；

25 发射器，它和所述换能器阵列耦合并经编程，在第一发射点火期间响应第一脉冲序列并且在第二发射点火期间响应第二脉冲序列脉冲式驱动构成发射孔径的选定换能器单元，所述第一和第二发射点火被聚焦于发射焦点位置处；

接收器，它和所述换能器阵列耦合并经编程，分别在第一和第二发射点火之后，从构成接收孔径的选定换能器单元接收第一和第二组接收信号，并且产生分别从所述第一和第二组接收信号得出的第一和第二波束叠加信号；

30 合成器，将所述第二波束叠加信号从第一波束叠加信号中减去，以构成第一合成信号；

子系统，用于形成作为至少所述合成信号的函数的图像信号；以及

用来显示有一部分表示所述图像信号的图像的显示器。

8. 如权利要求 7 所述的系统，其特征在于还包括单元符号存储器，其中所述第一和第二脉冲序列是单极的，并且所述合成器包括具有第一和第二输入端以及一个输出端的乘法器，和其输入端和所述乘法器输出端耦合的矢量求和器，所述第一和第二乘法器输入端分别适用于接收所述第一波束叠加信号和在第一接收周期期间来自所述单元符号存储器的第一值，并且分别进一步适用于接收所述第二波束叠加信号和在第二接收周期期间来自所述单元符号存储器的第二值，所述第一第二值极性是相反的。

9. 如权利要求 7 所述的系统，其特征在于还包括代码符号存储器，其中所述第一和第二脉冲序列是双极的，并且所述合成器包括具有第一和第二输入端以及一个输出端的乘法器，和其输入端和所述乘法器输出端耦合的矢量求和器，所述第一和第二乘法器输入端分别适用于接收所述第一波束叠加信号和在第一接收周期期间来自所述代码符号存储器的第一值，并且分别进一步适用于接收所述第二波束叠加信号和在第二接收周期期间来自所述代码符号存储器的第二值，所述第一第二值极性是相反的。

10. 如权利要求 7 所述的系统，其特征在于所述发射器经进一步编程，在第三发射点火期间用第三脉冲序列并且在第四发射点火期间用第四脉冲序列驱动构成所述发射孔径的所述选定换能器单元，所述第三和第四发射点火被聚焦于所述发射焦点位置处，所述接收器经进一步编程，分别在所述第三和第四发射点火之后，从构成所述接收孔径的所述选定换能器单元接收第三和第四组接收信号，并且产生分别从所述第三和第四组信号得出的第三和第四波束叠加信号，所述合成器适用于从所述第三波束叠加信号中减去所述第四波束叠加信号，以构成第二合成信号，由所述子系统形成的所述图象信号是所述第一和第二合成信号的函数。

11. 如权利要求 10 所述的系统，其特征在于所述第一脉冲序列和所述第二脉冲序列的反相的第一叠加基本上等于由基序列和第一发射码卷积而形成的第一编码基序列，所述第三脉冲序列和所述第四

脉冲序列的反相的第二叠加基本上等于由基序列和第二发射码卷积而形成的第二编码基序列，所述第一和第二发射码是互补的，所述子系统包括用第一和第二组滤波器系数编程以分别对所述第一和第二合成信号滤波的解码滤波器，所述第一和第二组滤波器系数分别是所述第一和第二发射代码的相应函数。

12. 如权利要求 7 所述的系统，其特征在于所述子系统包括用一组滤波器系数编程以对所述第一合成信号滤波从而构成压缩脉冲信号的解码滤波器。

13. 用来对超声散射体进行成象的系统，包括：

10 包括多个换能器单元的超声换能器阵列；

发射器，它和所述换能器阵列耦合并经编程，响应在第一发射点火期间设定的第一单极脉冲并且响应在第二发射点火期间设定的第二单极脉冲同时脉冲式驱动构成发射孔径的选定换能器单元；

15 接收器，它和所述换能器阵列耦合并经编程，分别在第一和第二发射点火之后，从构成接收孔径的选定换能器单元接收第一和第二组接收信号；

合成器，分别将所述第二组接收信号从第一组接收信号中减去，以构成一组合成信号；

处理器，用于形成作为至少所述合成信号组的函数的图像信号；

20 以及

用来显示有一部分表示所述图像信号的图像的显示器。

14. 如权利要求 13 所述的系统，其特征在于还包括单元符号存储器，所述合成器适用于为所述接收孔径中的每个换能器对第一产生信号和第二产生信号相加，所述第一产生信号是所述第一组的相应接收信号和来自所述单元符号存储器的第一值的乘积，而所述第二产生信号是所述第二组的相应接收信号和来自所述单元符号存储器的第二值的乘积，所述第一和第二值在极性上是相反的。

15. 用来对超声散射体进行成象的方法，包括：

30 在第一和第二发射点火期间分别用第一和第二脉冲序列驱动在换能器阵列中构成发射孔径的第一组换能器单元；

分别在第一和第二发射点火之后从在该换能器阵列中构成接收孔径的第二组换能器单元接收第一和第二组接收信号；

分别从所述第一和第二组接收信号形成第一和第二波束叠加信号；

将所述第二波束叠加信号从所述第一波束叠加信号中减去，以构成第一合成信号；

5 形成作为至少所述第一合成信号的函数的图像信号；以及
用来显示有一部分表示所述图像信号的图像。

16. 如权利要求 15 所述的方法，其特征在于所述第一脉冲序列
和所述第二脉冲序列分别由第一和第二发射序列而得到，所述第一发
射序列和所述第二发射序列的反相结果的叠加构成第一编码基序
10 列，

17. 如权利要求 16 所述的方法，其特征在于所述第一脉冲序列
和所述第二脉冲序列分别由第一和第二发射序列而得到，所述第一发
射序列和所述第二发射序列均是由 Barker 码和基序列卷积而形成的
编码基序列而构成的。

15 18. 如权利要求 15 所述的方法，其特征在于还包括下列步骤：

在第三和第四发射点火期间分别用第三和第四脉冲序列驱动所
述第一组换能器单元，所述第三和第四发射点火聚焦在所述发射焦点
位置；

20 分别在所述第三和第四发射点火之后从所述第二组换能器单元
接收第三和第四组接收信号；

分别从所述第三和第四组接收信号形成第三和第四波束叠加信
号；

将所述第四波束叠加信号从所述第三波束叠加信号中减去，以构
成第二合成信号；

25 形成作为所述第一和第二合成信号的函数的图像信号。

19. 如权利要求 18 所述的方法，其特征在于所述第三脉冲序列
和所述第四脉冲序列分别由第三和第四发射序列而得到，所述第三发
射序列和所述第四发射序列的反相结果的叠加构成第二编码基序
列，

30 20. 如权利要求 19 所述的方法，其特征在于所述第一、第二、
第三和第四脉冲序列分别由第一、第二、第三和第四发射序列而得
到，所述第一、第二、第三和第四发射序列均是由第一和第二互补码

和基序列卷积而形成的编码基序列而构成的。

21. 如权利要求 19 所述的方法，其特征在于所述第一和第二互
补码构成 Golay 码对。

22. 如权利要求 15 所述的方法，其特征在于所述第一和第二脉
冲序列是单极的。

23. 如权利要求 15 所述的方法，其特征在于所述第一和第二脉
冲序列是双极的。

24. 用来对超声散射体进行成象的方法，包括：

在第一和第二发射点火期间分别用第一和第二单极脉冲组驱动
10 在换能器阵列中构成发射孔径的第一组换能器单元，所述第一组换能
器单元对于所述第一和第二发射点火同时被驱动；

分别在所述第一和第二发射点火之后从在该换能器阵列中构成
接收孔径的第二组换能器单元接收第一和第二组接收信号；

15 分别将所述第二组接收信号从所述第一组接收信号中减去，以构
成一组合成信号；

形成作为至少所述合成信号组的函数的图像信号；以及
用来显示表示所述图像信号的图像。

25. 如权利要求 24 所述的方法，其特征在于将所述第二组接收
信号从所述第一组接收信号中减去的步骤包括对所述接收孔径中的
20 每个换能器的第一产生信号和第二产生信号相加的步骤，所述第一产
生信号是所述第一组的相应接收信号和来自单元符号存储器的第一
值的乘积，而所述第二产生信号是所述第二组的相应接收信号和来自
所述单元符号存储器的第二值的乘积，所述第一和第二值在极性上是
相反的。

说 明 书

有使用单极或者双极编码激励的波束形成的超声成象系统

本发明涉及超声成象系统，并且特别是与增加医学超声成象中信
5 噪比（SNR）的方法和装置有关联。

传统的超声成象系统包括发射超声束并从被研究对象接收反射
声束的超声换能器单元阵列。具体地说，进行一系列的测量，其中发
射一个聚焦超声波，在短的时间间隔后系统切换至接收模式，并且接
收所反射的超声波，对其作波束形成并处理以供显示用。典型地，发
10 射和接收在每次测量期间被聚焦在相同的方向，以便从沿声束或扫描
线的一系列点取得数据。接收器在接收所反射的超声波时，动态地聚
焦在沿着扫描线的一连串射程（范围）处。

为了进行超声成象，阵列的多个换能器单元通常排列成一行或多
行，用各自的电压驱动。选择施加电压的时间延迟（或者相位）和振
幅，给定行里的每个换能器单元可以在其控制之下产生各自的超声
15 波，这些产生的超声波组合成为一个净的超声波，它沿一个优选的矢
量方向传播，并且聚焦在沿该声束的选定点处。每个点火的波束形成
参数都可以予以改变，从而提供最大的焦点改变，或者以别的方式改
变对于每个点火所接收数据的内容，例如，通过沿着相同的扫描线发
20 射连续的波束，使每个波束的焦点都相对于先前波束的焦点有所移
动。就导向（steered array）阵列来说，改变施加电压的时间延迟
和振幅，波束及其焦点在平面内运动，从而扫描该对象。就线性阵列
来说，其指向垂直于该阵列的聚焦波束从一次点火到下次点火跨过阵
列平移该孔径，从而对整个对象进行扫描。相同的原理适用于采用换
25 能器探头在接收模式中接收反射声音的时候。在接收换能器单元产生
的电压被求和，这样，净信号代表从物体中的单一焦点反射的超声能
量。和发射模式一样，这种超声能量的聚焦接收是通过把相应的时间
延迟（和 / 或相移）和增益赋予来自每个接收换能器单元的信号而完
成的。

30 超声图像由多个图像扫描线组成。将聚焦的超声能量发射在关注
区域的某点处，然后随着时间的流逝接收反射能量，即可取得单一的
扫描线（或者只限于局部的扫描线小集合）。聚焦的发射能量被称为

发射束。在发射之后的时间里，一或多个接收波束形成器以动态改变的相位旋转或延迟的方式对每个通道所接收的能量进行相干求和，以便沿所期望扫描线在和流逝时间成正比的范围内产生峰值灵敏度。作为结果产生的聚焦灵敏度图案被称为接收束。扫描线的分辨率是相关
5 联的发射和接收波束对的指向性的结果。

波束形成器通道的输出信号被相干求和，构成在对象区域或所关注体积中的每个样品体积的一个相应像素强度值。这些像素强度值被对数压缩，扫描变换，然后作为正被扫描的解剖组织的图像被显示。

10 在上文所描述类型的医学超声成象系统中，合乎需要的是使 SNR 最优化。额外的 SNR 可以被用来在给定成像频率下增加渗透力，或者通过促进在更高频率的超声成像而改进分辨率。

15 Golay 码在超声中的使用在采用单一单元的固定焦点换能器检查无生命物体的无损检测（NDE）领域是众所周知的。另外，Golay 码在医学超声成象领域中也已为人所知。不过，因为动态聚焦、组织运动（在 NDE 中并不存在的效应）和非线性传播效应被认定会引起不能接受的代码退化，并导致相应的范围退化，所以 Golay 码在超声成象系统中没有得到广泛的使用。

于 1998 年 4 月 20 日提交且已转让给现在受让人的美国专利申请 No. 09/063109，披露了进行对换能器阵列的 Golay 编码激励从而改进
20 医学超声成象中的 SNR 的方法和装置。SNR 是如此得到改进的：在相同的焦点位置在每个波束上连续发射一对 Golay 编码的基序列，然后解码波束叠加的数据。Golay 编码基序列是通过在过采样之后用 Golay 码对和基序列进行卷积而形成的。Golay 码对是一对二进制（+1, -1）
25 序列，其特性是这两对序列的自相关之和是一个 Kronecker 得尔它（ Δ ）函数。过采样的 Golay 序列是每个+1 和 -1 之间带有零的 Golay 序列，零的个数比基序列长度小一个大于或等于一的数值。前面提到的 Golay 代码对的特性比起一般代码具有两个重要的优势：（1）Golay 码没有射程旁瓣，并且（2）Golay 码可以使用仅仅一个双极的脉冲发生器而不是较昂贵的数字—模拟转换器进行发射。

30 在实践中，使用编码的激励而产生的图像可能由于代码失真而有所退化。当表示正代码符号的信号和表示负代码符号的信号在非线性传播后不再相互抵消的时候，双极代码出现退化。迫切需要有一种方

法能够减少由非线性传播造成的代码退化，以及在仅有单极脉冲发生器的系统上进行编码激励。

用于医学超声成象的编码激励是通过在不同的点火上发射在编码基序列中的不同代码或单元符号来实现的。编码的基序列通过用过采样的代码序列和基序列卷积而形成。对于每个点火，编码的基序列里的指定代码或单元符号被单位符号替换（例如 1 或 -1），同时其他的符号位置全部设置为零。在每次发射之后，所接收的波形乘以各自的符号，并且基于全部发射进行累积，从而合成所接收的编码波形。这种根据单极编码发射合成双极（一般是多相）代码的技术有助于减少由于非线性传播代码而引起的代码退化，并且在仅有单极脉冲发生器的系统上实现编码激励。这一技术的交换条件是帧频降低，原因是对于每个双极点火需要两个单极的发射点火（firings）。本发明的方法可以扩展到多相代码，单发射代码（例如 Barker 码），以及空间编码的发射。

在本文中，术语“发射序列”指的是提供给脉冲发生器的单元符号(element symbol)或单位代码的序列，与此相反，术语“脉冲序列”指的是根据对发射序列的接收由脉冲发生器提供的脉冲序列。

图 1 是可以经编程而包含本发明的超声成象系统的框图。

图 2 是在美国专利申请(序列号)No. 09/063109 所披露类型的超声成象系统的框图。

图 3-5 是显示按照美国专利申请 No. 09/063109 讲授的基序列(图 3)、过采样的 Golay 码序列(图 4)，以及经 Golay 编码的基序列(图 5)的脉冲图。

图 6 和 7 是根据本发明的一个优选实施例供在分开的发射点火中使用的单位代码符号发射序列 A 和 B 的脉冲图。

图 8 和 9 是根据本发明的另一优选实施例供在分开的发射点火中使用的单位代码符号发射序列 A 和 B 的脉冲图。

图 10 是根据本发明优选实施例的将互补发射代码（例如 Golay 码）或所谓的单发射码（例如 Barker 码）之一合成的超声成象系统的前端的框图。

图 11 是在 5 比特双相位发射代码和解码滤波器的匹配滤波器系数卷积而产生的压缩脉冲的例子。

图 12 是根据本发明优选实施例的合成空间编码发射的数字超声成象系统的框图。

图 1 表示的是本发明可以被包括在内的超声成象系统。它包括具有多个单独驱动的换能器单元 12 的换能器阵列 10，每个换能器单元在由发送器 14 产生的脉冲化波形激励的时候产生一个超声能量短脉冲串(burst)。从被研究的物体反射回换能器阵列 10 的超声能量被每个接收换能器单元 12 转换为电信号，并通过一组发射/接收(T/R)开关 18 分别加在接收器 16 上。T/R 开关典型地是二极管，它保护接收电路免受发射电路所产生的高电压的影响。发射信号促使二极管关闭，或者把信号限定在接收器内。发送器 14 和接收器 16 在主控制器 20 的控制下根据操作员的指令进行操作。一个完整的扫描过程是通过获取一系列的回声而进行的，其中发送器 14 被暂时选通从而激励每个换能器单元 12，并且其后每个换能器单元 12 产生的回声信号都施加给接收器 16。一个通道可以在另一个通道仍然在发射的时候开始接收。接收器 16 将来自每个换能器单元的各个回声信号结合起来，产生被用来构成在显示器 22 上显示的图像某一行的单个回声信号。

在主控制器 20 的指引下，发送器 14 驱动换能器阵列 10，使得超声能量以定向的聚焦波束的形式发射。要做到这一点，由发射波束形成器 26 向多个脉冲发生器 24 分配相应的时间延迟。主控制器 20 确定声学脉冲将被发射的条件。根据该信息，发射波束形成器 26 确定脉冲发生器 24 将要产生的每个发射脉冲的时序和振幅。每个发射脉冲的振幅都由变迹产生电路产生(未显示)。脉冲发生器 24 按顺序将发射脉冲经 T/R 开关 18 送给换能器阵列 10 的各单元，该 T/R 开关 18 保护时间增益补偿(TGC)放大器 28 使之免受可能在换能器阵列存在的高电压的冲击。通过以传统方法恰当地调节发射焦点时间延迟和变迹加权，超声波束可以被定向并聚焦以形成发射波束。

每个超声能量短脉冲串产生的回声信号都从沿着每个发射波束位于一连串射程的对象反射。回声信号分别由每个换能器单元 12 检测，并且，回声信号在时间上某点处的幅度的采样表示在特定射程处发生的反射量。由于在反射点和每个换能器单元 12 之间的传播通路的差异，回声信号不是被同时检测到，并且它们的振幅不相等。接收器 16 经在每个接收通道中的相应 TGC 放大器 28 放大各独立的回声信

号。TGC 放大器提供的放大量通过控制线路（未显示）加以控制。放大的回声信号馈送给接收波束形成器 30。接收波束形成器的每个接收器通道都经相应的一个 TGC 放大器 28 和相应的一个换能器单元 12 耦合。

5 在主控制器 20 的指引下，接收波束形成器 30 跟踪发射波束的方向，对沿着每个波束的一连串射程处的回声信号进行抽样。接收波束形成器向每个放大的回声信号赋予适当的时间延迟和接收变迹加权，并对这些信号求和从而得到合成的回声信号，该合成信号准确地表示从沿着一个超声波束的某个射程内的一点反射的总超声能量。接
10 收焦点时间延迟使用专用硬件实时地加以计算，或者从查表中读出。接收通道也具有在由接收波束形成器对接收脉冲求和之前将该接收脉冲滤波的电路。

在图 1 所示的系统中，波束形成器输出信号的频率由解调器 31 移动到基频带。完成这一过程的一种途径是将输入信号乘以复数正弦
15 信号 $e^{i2\pi f_d t}$ ，这里 f_d 是将信号频谱移到基频带的频率移动量。解调信号被提供给信号处理器 32，该信号处理器把解调信号转换成显示数据。在 B 模式（灰度级）中，这是进行了一些额外处理，比如边缘增强和对数压缩的信号包络。扫描转换器 34 接收来自信号处理器 32 的显示数据，并将数据转换成所希望的显示图像。特别是，扫描转换器
20 34 将声学图象数据从极坐标（R-θ）扇形格式或者笛卡尔坐标线性阵列转换为在视频速率下的恰当定标的笛卡尔坐标显示像素数据。然后经过扫描转换的声学数据被提供在显示器 22 上进行显示，该显示器将 B-mode 信号包络的时变振幅以灰度级的形式绘制出来。对于每个发射波束显示一个相应的扫描线。

25 在图 2 的系统中，发射孔径中的每个换能器单元都使用基序列的编码序列作为驱动脉冲驱动（pulse），序列中的每个脉冲通常被称为一片（CHIP）。基序列是采用 N 位的发射码进行相位编码的，以便产生 N 片的编码序列，这些序列被存储在发射序列存储器 36 中。从发射序列存储器 36 中读出的每个编码序列在相应的发射点火期间控制
30 多个脉冲发生器 24 的激活。例如，换能器单元在被聚焦于期望发射焦点位置的第一发射点火期间根据第一编码序列，并且在被聚焦于同一发射焦点位置的第二发射点火期间根据第二编码序列加以脉冲驱

动。第一和第二编码序列是分别通过利用基序列与第一和第二发射代码卷积，即使用这些发射码对基序列进行相位编码而产生的。根据优选的实施例，第一和第二发射码是互补的 Golay 码，例如 Golay 码对 [1, 1], 和 [1, -1]，并且脉冲发生器 24 是双极的。

5 脉冲发生器 24 驱动换能器阵列 10 的各单元 12，使得对于每个发射点火所产生的超声能量聚焦在一个波束中。为了完成这一任务，发射焦点时间延迟 38 被赋予脉冲发生器产生的各自的脉冲波形。以传统方法恰当地调节发射焦点时间延迟，超声波束可以聚焦在多个发射焦点位置处，以完成在图像平面的扫描。

10 对于每个发射，来自换能器单元 12 的回声信号被馈给接收波束形成器的相应接收通道 40。每个接收通道包括一个模—数转换器（未显示）。在主控制器 20 的指引下（图 1），接收波束形成器跟踪发射波束的方向。接收波束形成器存储器 42 把适当的接收焦点时间延迟赋予每个接收的回声信号，并对这些回声信号求和而得到合成的回声信号，该合成信号准确地表示了从某个发射焦点位置反射的总超声能量。对于每个发射点火，经过时间延迟的接收信号在接收波束求和器 15 44 相加。

20 来自连续点火的相加后的接收信号被提供给解码滤波器 46，该滤波器对于第一发射点火把第一相加的接收信号与第一接收代码相关，并且对于第二发射点火将第二相加的接收信号和第二接收代码相关。被聚焦在相同发射焦点位置处的第一和第二发射点火而得到的滤波信号被矢量求和器 50 相加。在本文中，术语“解码器”包括解码滤波器与矢量求和器。

25 解码信号被解调，并被提供给信号处理器 32（图 1）。在 B 模式中，信号处理包括包络检测，边缘增强和对数压缩。在进行了信号处理和扫描转换之后，扫描线在显示器 22 上被显示。这一过程被重复，使得对于每个发射焦点位置（在每个束角度一个发射焦点位置的情况下）或者对于每个矢量（在每个束角度多个发射焦点位置的情况下）显示各自的扫描线。

30 在每个点火期间，脉冲发生器 24 被从发射序列存储器 36 或者从专门硬件提供的 Golay 编码基序列激励。根据来自发射序列存储器 36 的 Golay 编码基序列以及来自查表 38 的发射焦点延迟，脉冲发生器

结构成发射孔径的换能器单元 12 提供 Golay 编码脉冲序列。每个 Golay 编码基序列的 +1 和 -1 单元都由脉冲发生器 24 转换成相位相反的脉冲。

Golay 代码对并不被直接发射，而是在对该序列进行第一过采样
5 (典型地在 40 MHz 或 $dt=0.025$ 微秒时间样本)，然后将它们和基序列卷积从而形成 Golay 编码基序列之后才予以发射。与 Golay 代码序列本身相比，Golay 编码的基序列能够更为有效地发射，这是因为在对基序列作适当的选择之后其频谱和换能器通带匹配得更好。

图 3-5 图解了由基序列和一对过采样的 Golay 序列之一卷积形成
10 发射 Golay 编码基序列的情况。基序列经设计使作为结果产生的超声脉冲波形和光谱能量最优化。在图 3 所描写的例子中，基序列是有下列极性的脉冲序列：[+1, +1, +1, +1, -1, -1, -1, -1]。对于第一点火，
15 基序列和对应于 Golay 代码 [+1, +1, +1, -1] 的过采样 Golay 序列(见图 4) 卷积。作为结果产生的 Golay 编码基序列被表示在图 5 中。对于第二点火，基序列和对应于 Golay 代码 [-1, +1, -1, -1] 的过采样
20 Golay 序列(未表示) 卷积。Golay 编码基序列事先计算出来，并储存在发射序列存储器中。发射序列在激励换能器单元之后导致对于每个点火其极性由 Golay 序列给定的超声脉冲序列。

优选的是，如图 2 所示的解码滤波器 46 包括还进行带通滤波的
25 有限冲击响应滤波器(FIR)，而矢量求和器 50 包括其输入端和该 FIR 滤波器的输出端耦合的缓冲存储器。

对于每个点火，译码滤波是利用和在发射期间里所采用的 Golay 编码基序列相对应的过采样 Golay 序列进行的。时间反转的过采样
25 Golay 序列被储存在存储器 48 中，并在适当的时间被提供给解码滤波器 46。解码滤波器是执行下列相关操作的有限冲击响应滤波器：

$$x(n) * \overline{y(-n)} = \sum_m x(m+n) \overline{y(m)} \quad (1)$$

这里 * 表示卷积，而上划线表示共轭(如果 x 和 y 是复数)。相关结果在矢量求和器 50 中相加，形成解码信号，该解码信号然后被提供给解调器 31。

在美国专利申请第 09/063109 号所描述的成象系统也可以通过使
30 射频回声信号解调至基频带，并且在波束叠加之前或之后进行下采样

而展开其操作。在该事件中，为相关操作而储存的过采样 Golay 序列被解调至基频带并且下采样。

图 10 是本发明实施例可适用的方框图，该实施例合成互补的发射码（例如 Golay 码），并且使用单极或者双极的脉冲发生器。图 10
5 也适用于合成单发射码（例如 Barker 码），并且使用单极或者双极的脉冲发生器的实施例。不过，对于互补的发射码，解码滤波器 46 的输出信号被送给矢量求和器 50（图 2），与此相反，对于单发射码，解码滤波器 46 的输出信号被直接送到解调器 31（图 2），而不用在从解码滤波器通过之后进行矢量求和。此外，被提供给解码滤波器的滤波器系数依所使用的发射代码类型而不同，下文对此将予以详细解释。
10

在本发明的优选实施例中，互补码失真通过不同的点火上发射在编码基序列（参看图 5）中的不同代码符号而降低，如图 6 和 7 所示。在图 6 中的发射序列 A 对应着代码符号 +1，而图 7 中的发射序列 B 对应着代码符号 -1，使得从 A 序列减去 B 序列就可以得到原始编码的基序列。图 10 表明这可以通过从发射序列存储器连续提供发射序列 A 和 B（图 6 和 7）而实现。从第一发射点火（序列 A）产生的波束叠加接收信号在乘法器 52 中乘以从代码符号存储器 54 取出的代码符号 +1。该第一乘积信号被提供给矢量求和器 56。从第二发射点火（序列 B）产生的波束叠加接收信号在乘法器 52 中乘以从代码符号存储器 54 取出的代码符号 -1。该第二乘积信号也被提供给矢量求和器 56。矢量求和器将第一和第二乘积信号相加，以合成波形，该波形在没有代码失真的情况下，将根据图 5 所示的编码基序列在双极脉冲序列的单发射点火之后接收。合成的接收波形被送往解码滤波器 46，如图 2 所示。这一过程重复进行，以合成用于互补编码基序列的接收波形。解码滤波器 46 在矢量求和器 50 的合作下将和互补发射码对应的合成接收波形解码。解码滤波器经编程，对于两个合成接收波形采用各自的一组滤波器系数。发射序列、代码符号和滤波器系数由主控制器提供。
25

尽管在图 6 和 7 中描写的实施例有助于减少由于非线性传播而引起的代码退化，但是如果基序列是双极的那么脉冲发生器也必须是双极的。这一限制在另一个优选实施例中被去除，在该实施例中如图 8
30

和 9 所示，在编码基序列中的不同单元符号在不同的点火上被发射。图 8 所示的发射序列 A 对应于 +1 单元符号，而图 9 表示的发射序列 B 对应于 -1 单元符号，使得从“A”序列减去 B 序列再一次得到原始编码基序列。如图 10 所表示，图 8 和 9 所示的发射序列 A 和 B 从发射序列存储器 36 中取出，而相应的单元符号（例如 +1 和 -1）从单元符号存储器 54 中取出。乘法器 52 和矢量求和器 56 所合成的接收波形提供给解码滤波器 46，如图 2 所示。这一过程重复进行，以合成用于互补编码基序列的接收波形。解码滤波器 46 在矢量求和器 50 的合作下将和互补发射码对应的合成接收波形解码。对解码滤波器编程，使其对于这两个合成接收波形采用各自的一组滤波器系数。发射序列、单元符号和滤波器系数由主控制器提供。

本发明可以延伸到双极单发射码（例如 Barker 码）。对于双极单发射码，一个特别设计的代码序列调制长度为 P 的发射短脉冲串（基序列）。N 个短脉冲串的编码脉冲序列通常被当作一个 N 片的代码，使得编码的脉冲序列具有总长度 $N \times P$ 。让来自波束形成器的输出信号通过解码滤波器 46（图 10）而使之得到时间上的压缩，解码滤波器 46 是有限冲击响应滤波器。一些编码波形由匹配滤波，即使用一组是 N 片代码的完全相同的拷贝的 FIR 滤波器系数而得到最佳压缩。不过，有时更合乎需要的压缩效果是利用滤波器系数数量多于 N 或者滤波器系数和原始 N 片的代码不同的 FIR 滤波器进行失配滤波而得到的。解码（即压缩）滤波器的输出信号是长度等于或者接近于原始发射短脉冲串长度 P、但其振幅是由长 N 倍的编码脉冲序列产生的压缩脉冲信号。

按照本发明的优选实施例，两个发射脉冲序列（无论是和单位单元符号的发射序列相对应的单极脉冲，还是和单位代码符号的发射序列相对应的双极脉冲）在分开的点火中发射，而不是在一次点火中发射单发射代码的双极脉冲序列。在每个发射之后，各个接收波形和图 10 所示的乘法器 52 中的相应符号相乘，并在矢量求和器 56 中累加从而合成波形，该波形在没有代码失真的情况下将跟在单发射代码脉冲序列的单发射点火之后接收。对于每个发射点火，发射孔径的每个换能器单元 12 都由脉冲发生器 24 的相应一个用相应的脉冲序列（单极的和双极）驱动。相应的发射序列得自于通过发射代码（例如 Barker

码) 和基序列卷积形成的编码基序列。用来控制每个脉冲发生器 24 产生的脉冲的编码发射序列都被储存在发射序列存储器 36 中。

如图 10 所示在成对的发射点火之后由矢量求和器 56 产生的合成接收信号由解码滤波器 46 解码。对于单发射码，解码滤波器 46 产生 5 压缩的脉冲。对于 N 位发射代码，解码滤波器 46 优选是有 M 个滤波器抽头 ($M \geq n$) 的 FIR 滤波器，用于从滤波器系数存储器 48 接收一组 M 个滤波器系数。滤波器系数 c_0, c_1, \dots, c_{M-1} 的标量值在和 N 位发射代码卷积的时候，产生压缩的接收脉冲序列。

作为例证，图 11 表示了从 Barker 码系中选出的 5 片的代码序列。Barker 码是可达 $N=13$ 的各种长度的双相位（或者二进制）的代码序列。该组 Barker 码的所有代码由 Welch 等在“Practical Spread Spectrum Pulse Compression For Ultrasonic Tissue Imaging,” IEEE Trans Ultrason., Ferroelect., and Freq. Contr. 卷 45, 第 2 期，1998 年 3 月，第 349–355 页中阐述。如图 11 所示，如果 5 位 10 的 Barker 码 [1, 1, 1, -1, 1] 由匹配的 FIR 滤波器（即滤波器系数和发射代码的各数位相同）解码，那么所取得的压缩比率是 $n=5$ ，这相当于 15 7dB 的 SNR 增益。不过，如图 11 所见到的那样，解码器滤波器输出信号中的主脉冲被振幅较小的脉冲包围。这些小振幅的脉冲相当于在幅度上比主瓣低 $1/N$ 倍的轴向或射程旁瓣。

在全部的双相位码中，Barker 码的众所周知的特性是当在被匹配 20 滤波器解码的时候具有可能的最小旁瓣。不过，对于任何单发射代码，旁瓣经常可以经失配滤波而加以抑制，其代价是信号增益和 / 或 主瓣展宽降低（射程分辨率减少）。

图 10 所描述的本发明包括了合成波形的装置 52, 54 和 56，以及 25 对合成接收信号解码的装置 46, 48 和 50（图 2），该波形在没有代码失真的情况下将跟着单发射代码脉冲序列的单发射点火之后接收。不过，本发明的简化优选实施例可以通过取消装置 52, 54 和 56 并调整解码段 46、48 和 50 来执行两个功能而实现。例如，为了合成互补的 30 发射码，图 2 的图表将是有效的。在后一例子中，接收信号和代码 / 单元符号相乘的步骤在解码段进行，办法是将用各自的解码滤波器系数矢量乘以相应的代码 / 单元符号而形成的合成滤波器系数储存在滤波器系数存储器中；矢量求和从而形成合成接收信号的步骤可以通过

调节矢量求和器 50 使之对四个而不是二个矢量求和，与用于解码的矢量求和相结合一般解码。这样，图 2 里的装置 46、48 和 50 可以做到在功能上和装置 46、48、50、52、54 和 56 相当，所有这些除了图 2 的矢量求和器 50 外，都显示在图 10 中。

5 同样地，如果 Barker 码代替互补的代码被使用，装置 52、54 和 56 可以取消，办法是在如上所述的存储器 48 中储存合成的滤波器系数，以及在解码滤波器 46 之后以及在解调器之前设置一个矢量求和器。在这一场合下，矢量求和器仅需要求和两个矢量。

10 使用单位单元符号的方法可以延伸到在空间上编码的发射（例如使用 Hadamard 码）。在使用在空间上编码的发射的系统中，M 组编码信号是一组接一组地从换能器阵列的 M 个发射单元发射的。对于每个发射，全部 M 个发射单元都按照对特别一组的编码同时激活。对于 M 个发射事件的每一事件，储存作为结果产生的散射数据。接着，储存的散射数据用编码矩阵的逆矩阵解码，进而得到每个基本信息。

15 图 12 中描写的是前述类型的系统。换能器阵列 10 由多个单独驱动的换能器单元 12 组成，每个换能器单元在由各自的脉冲发生器/接收器 58 产生的脉冲化波形激励的时候产生超声能量的短脉冲串。从研究对象反射回换能器阵列 10 的超声能量被每个接收换能器单元转换为电信号，并且分别施加给各自的脉冲发生器/接收器 58。脉冲发生器/接收器 58 在主控制器 20 的控制下响应于操作员的指令进行操作。

20 设想在有 $L \geq M$ 个换能器单元的阵列里的 M 个发射单元，这 M 个单元同时被激活，以便在 $K=M$ 个发射事件的每个事件期间发射未聚焦的超声波。对于每个发射事件，不同的 M 单元代码矢量由控制器 20 施加给脉冲发生器/接收器，以便驱动发射单元。这 M 个 M 单元代码矢量构成不可逆的一个 $M \times M$ 矩阵 Q 的各列。矩阵 Q^{-1} 有各列 q_1, q_2, \dots, q_M 。

25 对于每个发射事件 M， $m = 1, 2, \dots, M$ ，反向散射的信号 $R_{mn}(t)$ ， $n = 1, 2, \dots, N$ 转换成为在一组 N 个接收单元处的电信号。这些电信号被放大，并被相应的脉冲发生器/接收器 58 发射给各自的模—数转换器 60。对于每个发射事件，数字化的信号在控制器 20 的控制下被储存在随机存取存储器（RAM）62 中。在完成对应于一个图像帧的这 K 个发射事件结束之后，储存在随机存取存储器 62 中的数据被取出，

并由数字信号处理器 64 变换即解码成为另一个数据组 $D_{mn}(t)$ 。数字信号处理器还在解码的图象数据上进行波束形成。解码及波束形成后的图象数据在视频监视器 22 上显示为单个图像帧。这一过程重复进行，以便当换能器阵列在关注的区域或体积上扫描的时候产生一连串的图像帧。

根据采用空间编码发射的系统，数据组 $D_{mn}(t)$ 按照下列公式转换：

$$D_{mn}(t) = \sum_{i=1}^M q_n(i) R_{in}(t) \quad (2)$$

该转换将这组 K 个发射事件解码，每个发射事件已经在一群 $M=K$ 10 个单元上发射，得到一个数据集，这里发射单元被孤立，即 $D_{mn}(t)$ 对应于在接收单元 n 处接收的来自发射单元 m 的信号。解码的数据组 $D_{mn}(t)$ 可以被波束形成，从而产生共焦图像。

尽管任何不可逆矩阵都能用作为编码矩阵，但是选择 Hadamard 矩阵作编码矩阵有明显的好处。Hadamard 矩阵的各单元要么是 +1，或是 -1，它们可以简单地实现为发射电路的相位倒置。对称 Hadamard 矩阵的逆矩阵仅仅是其本身 $Q_n^{-1} = (1/N)Q$ 的按比例缩放的版本。一般来说，解码过程包括在所接收的数据组上进行 $M(M - 1)$ 个操作（加法，以及乘法运算）。不过，对于 Hadamard 编码，解码可以在 $M \log_2 M$ 15 个操作（仅仅是加法）中完成。Hadamard 矩阵可以由下列递归产生：

$$Q_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

20

$$Q_{2M} = \begin{bmatrix} Q_M & Q_M \\ Q_M & -Q_M \end{bmatrix} \quad (4)$$

这里 $M=2, 4, 8, 16 \dots$

本发明可以供前述类型的空间编码发射使用。在一个优选实施例中，图 12 中的控制器 20 经编程使一组单极的脉冲发生器在分开的点火中为编码矩阵的每一行发射两组单极脉冲。例如，为了用单极脉冲发生器达到用双极脉冲发生器所能达到的相同效应，从而分别用在一个点火中该组单元符号 $[+1, +1, -1, +1]$ 脉冲式驱动一个四单元的阵

列，单极脉冲发生器被激活 2 次：在第一单极点火中，对应于在双极单元符号中的 +1 的三个单元被脉冲驱动（即 $[+1, +1, 0, +1]$ ）；在第二单极点火中，仅仅对应于在双极单元符号组中的 -1 的单元被脉冲驱动（即 $[0, 0, +1, 0]$ ）。第一和第二点火产生的接收信号将分别乘以
5 +1 和 -1，然后被求和从而合成为接收信号，该接收信号假定没有代码失真的话，已经利用双极脉冲发生器从而借助于该组单元符号 $[+1, +1, -1, +1]$ 脉冲式驱动一个四单元的阵列而产生。

一般来说，前述的操作可以由图 12 的数字信号处理器 64 执行。基于控制器 20 的指令，数字信号处理器 64 将单元接收数据信号的相应组乘以相应的单元符号组，并将产生的两组单元接收数据相加从而合成数据组，该数据组如果原始编码矩阵的该行已经在单一点火中使用双极脉冲发生器发射的话应当已经产生。
10

虽然仅仅针对本发明的某些优选特征进行了图解以及阐述，许多的修改和变化对于本领域的技术人员来说是很一目了然的。例如，本
15 发明不被限制在使用双相位码，单发射码和空间编码发射的射程内；也可以使用多相码。因此应当理解的是，后附的权利要求书旨在覆盖落入本发明真实精神的射程内的全部所有的修改和改变。

说 明 书 封 面

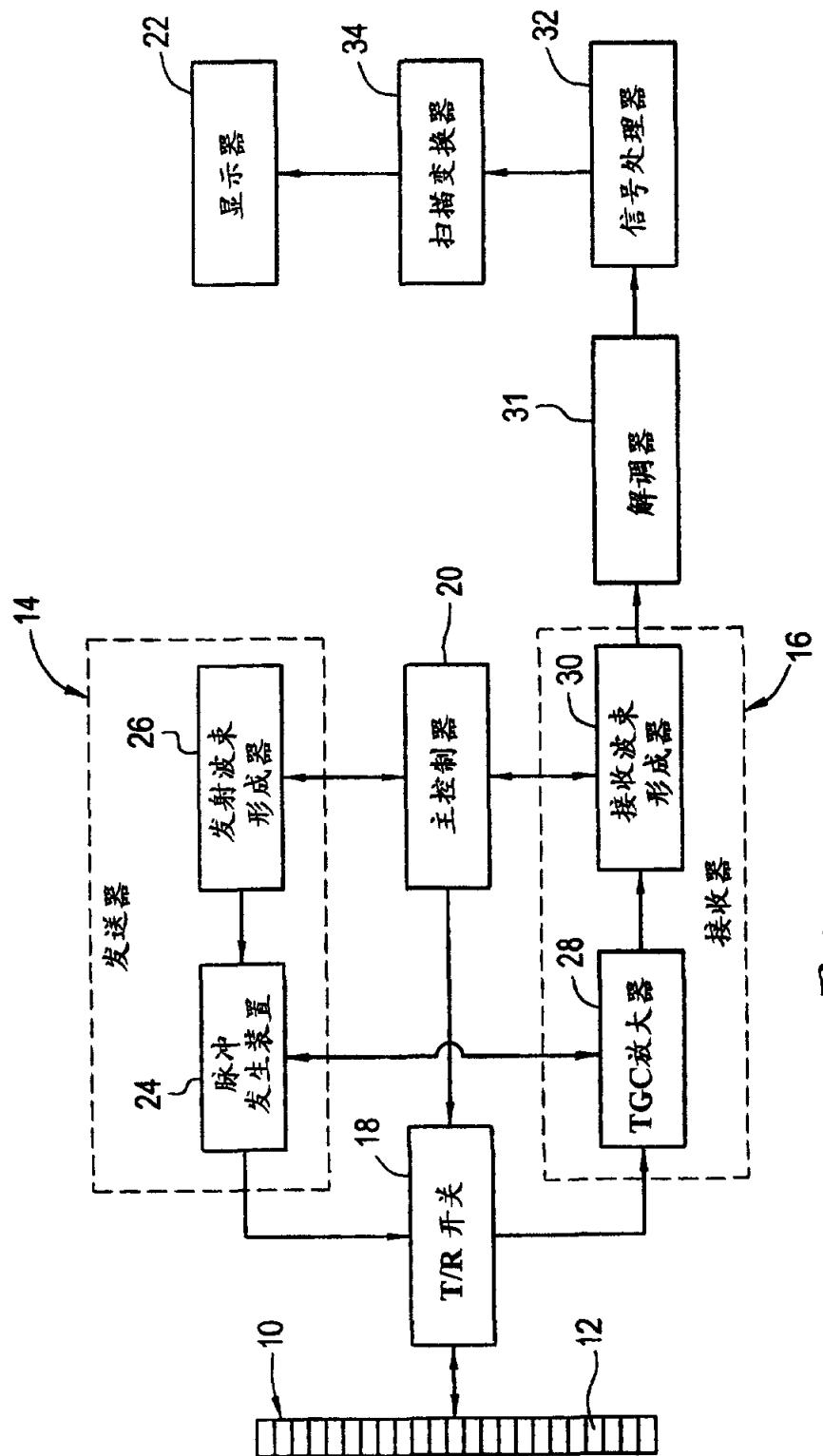
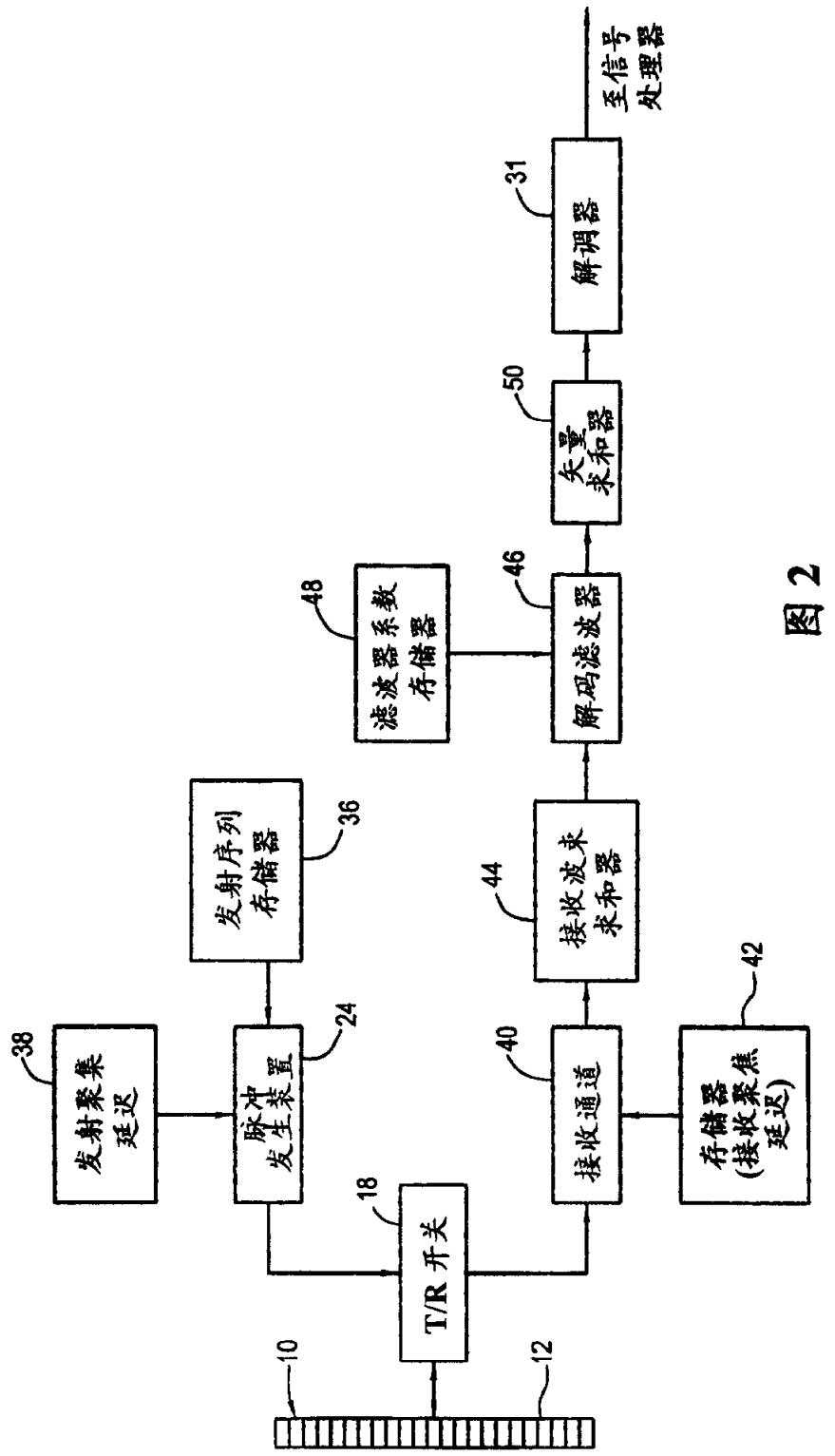
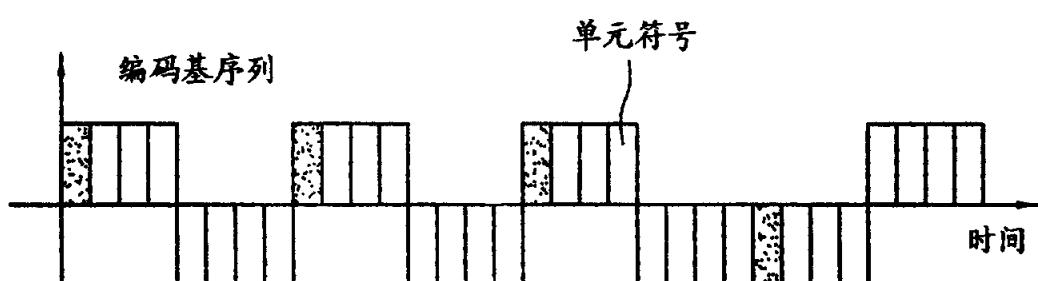
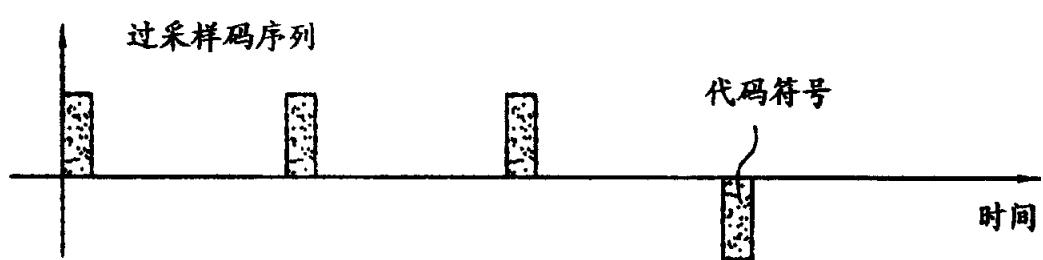
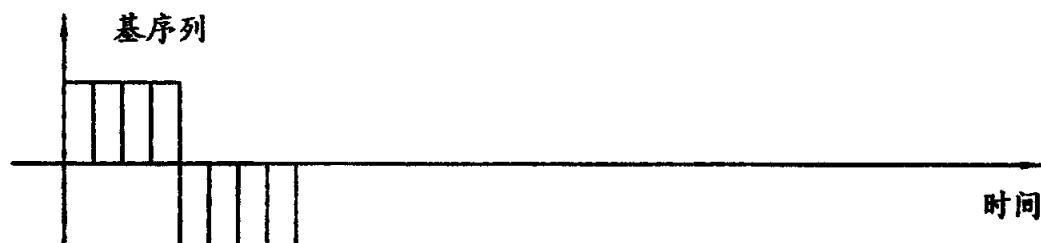


图 1 现有技术





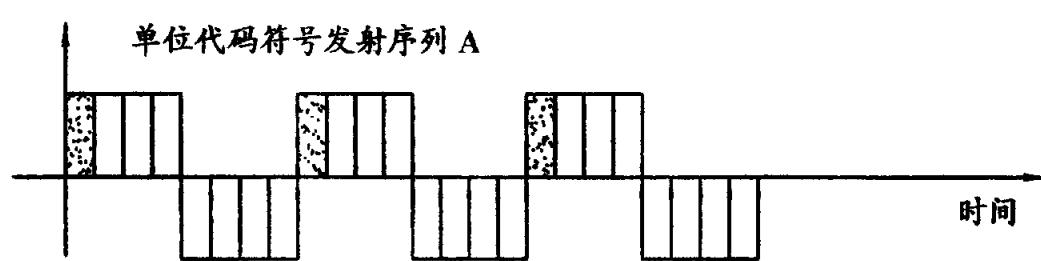


图 6

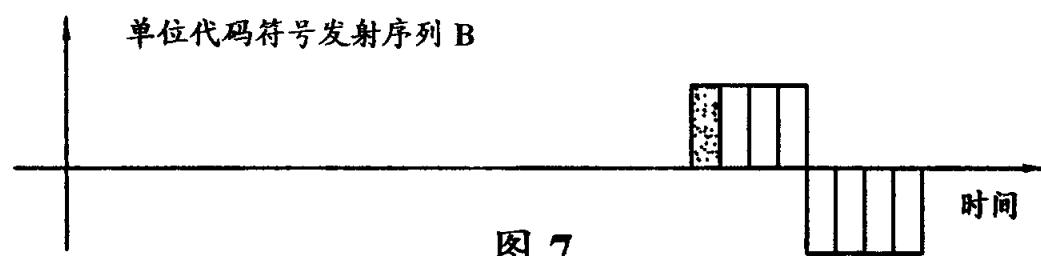


图 7

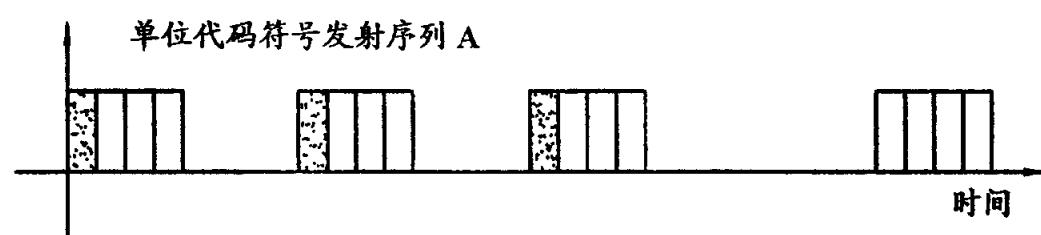


图 8

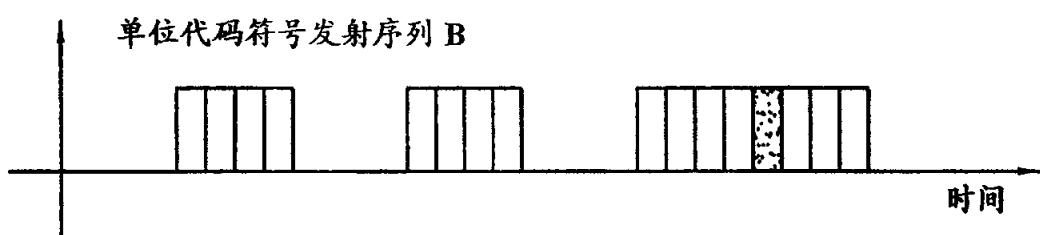


图 9

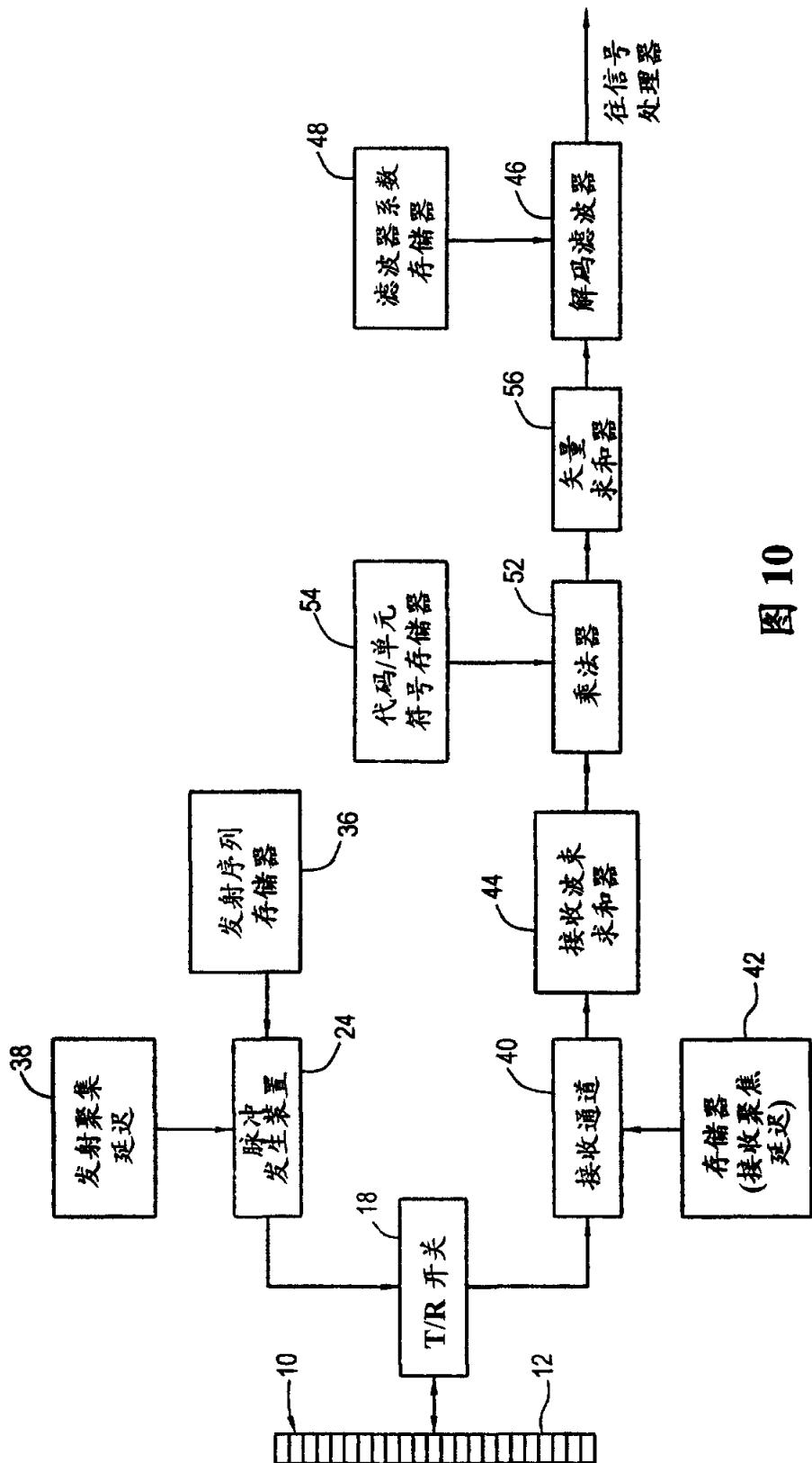
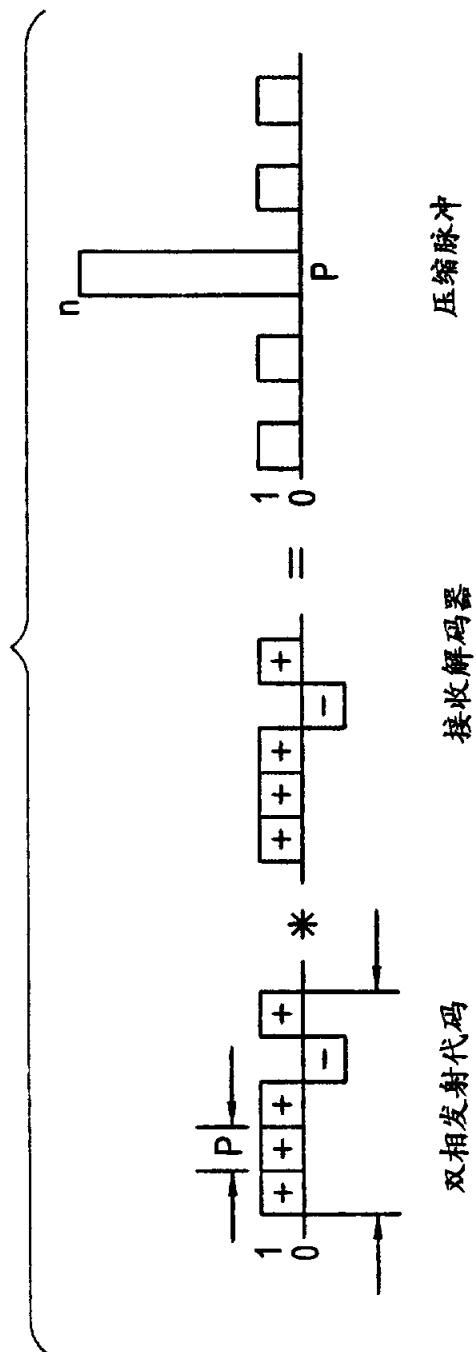


图 10

图 11



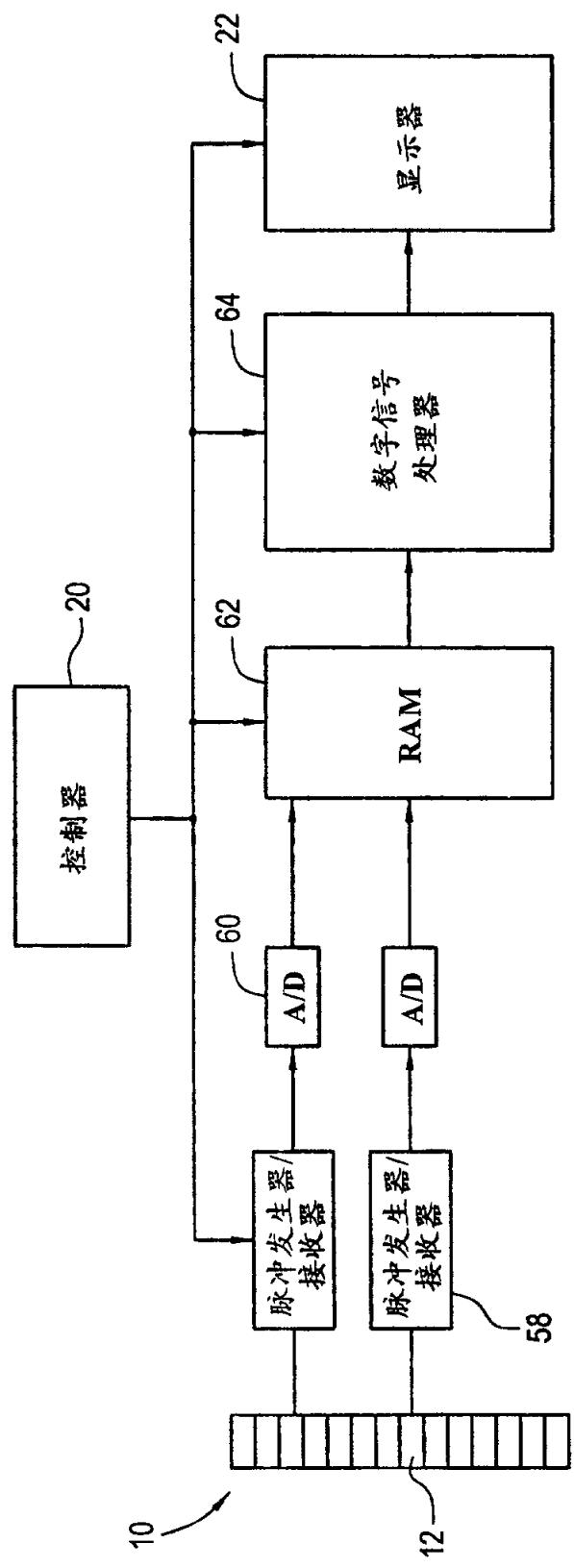


图 12

专利名称(译)	有使用单极或者双极编码激励的波束形成的超声成象系统		
公开(公告)号	CN1266989A	公开(公告)日	2000-09-20
申请号	CN00104303.X	申请日	2000-03-16
[标]申请(专利权)人(译)	通用电气公司		
申请(专利权)人(译)	通用电气公司		
当前申请(专利权)人(译)	通用电气公司		
[标]发明人	RY奇奥 LJ托马斯三世		
发明人	R·Y·奇奥 L·J·托马斯三世		
IPC分类号	A61B8/00 G01S7/52 G01S15/89 G01N29/00 G03B42/06		
CPC分类号	G01S15/8961 G01S7/52049 G01S15/8959		
代理人(译)	陈霖		
优先权	09/268306 1999-03-16 US		
其他公开文献	CN1218174C		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

医学超声成象用的编码激励通过在不同的点火上发射在编码基序列中的代码或单元符号实现。编码的基序列通过用过采样的代码序列卷积基序列而形成。对于每个点火,编码基序列里的指定代码或单元符号由单位符号替换(即1或 -1),同时其他的符号位置全部设为零。在每个发射之后,所接收的波形乘以各自的符号并且累加从而合成所接收的编码波形。

