

1. 一种发射一束波能的系统，包括：

一个换能器阵列，包括多个换能器元件；

5 多个脉冲发生器，耦合到所述换能器阵列中相应的换能器元件；

以及

发射束形成器，该发射束形成器被程序设计为使其在发射激发的过程中以编码基本序列和相应的发射焦点延迟激励每个所述脉冲发生器，所述编码基本序列包括由具有周期的基本序列与编码序列的第一和第二编码符号分别进行卷积而形成的第一和第二片段，所述第二片段相对于所述
10 第一片段移动了周期的 $1/2N$ ，在此 N 为大于 1 的正整数。

2. 如权利要求 1 所述的系统，其中所述第一和第二换能器元件包括压电换能器元件。

3. 如权利要求 1 所述的系统，其中所述编码序列包括巴克码。

15 4. 如权利要求 1 所述的系统，其中所述发射束形成器包括以所述编码基本序列编程的发射序列存储器，所述第二片段包括时间采样，该时间采样被循环地移动所述周期的 $1/2N$ 。

5. 一种运行换能器阵列以发射一束波能的方法，其中所述阵列的换能器元件形成了一个发射孔径，该方法包括如下步骤：在发射激发过程中，以编码激励波形驱动各个所述换能器元件，依据编码基本序列对所述编码激励波形进行编码，该编码基本序列包括由具有周期的基本序列与编码序列的第一和第二编码符号分别进行卷积而形成的第一和第二片段，所述第二片段相对于所述第一片段移动了周期的 $1/2N$ ，在此 N 为大于 1 的正整数。
20

6. 如权利要求 5 所述的方法，其中所述编码序列包括巴克码。

25 7. 一种成像系统，包括：

换能器阵列，其包括多个换能器元件，用于响应电激励发射波能并将所返回的波能转换成电信号；

发射器，将其耦合到所述换能器阵列，并对其编程以激励所选择

的换能器元件以形成发射聚焦的波能的发射孔径，该聚焦的波能具有基本频率 f_0 并在发射激发的过程中以编码基本序列进行编码，所述编码基本序列包括由具有周期的基本序列与编码序列的第一和第二编码符号分别进行卷积而形成的第一和第二片段，所述第二片段相对于所述第一片段移动了周

5 期的 $1/2N$ ，在此 N 为大于 1 的正整数；

接收器，对该接收器进行编程以从所选择的在所述发射激发之后形成接收孔径的换能器元件所产生的电信号中形成接收矢量；

复合滤波器，对该复合滤波器进行编程以对作为所述编码基本序列的函数的所述接收矢量进行滤波并具有中心在谐波频率 Nf_0 的通带；以

10 及

显示图像的子系统，该图像具有为所述经滤波的接收矢量的函数的一个图像部分。

8. 如权利要求 7 所述的系统，其中所述编码序列包括巴克码。

9. 如权利要求 7 所述的系统，其中所述复合滤波器包括 FIR 滤波器。

15 10. 如权利要求 7 所述的系统，其中所述子系统包括：

处理子系统，对该处理子系统进行编程以从所述经滤波的接收矢量中形成图像信号；以及

显示子系统，对该显示子系统进行编程以显示所述图像，并使所述图像部分为所述信号的函数。

20 11. 如权利要求 7 所述的系统，其中所述换能器元件包括响应电激励发射超声波并将所返回的超声波转换成电信号的压电元件。

12. 一种成像系统，包括：

换能器阵列，其包括多个换能器元件，用于响应电激励发射波能并将所返回的波能转换成电信号；

25 发射器，耦合到所述换能器阵列，并对其编程以激励所选择的换能器元件以形成发射聚焦的波能的发射孔径，该聚焦的波能具有基本频率 f_0 并在发射激发的过程中以编码基本序列进行编码，所述编码基本序列包括由具有周期的基本序列与编码序列的第一和第二编码符号分别进行卷积

而形成的第一和第二片段,所述第二片段相对于所述第一片段移动了周期的 $1/2N$,在此 N 为大于1的正整数;

接收器,对该接收器进行编程以从所选择的在所述发射激发之后形成接收孔径的换能器元件所产生的电信号形成接收矢量;

5 对所述接收矢量的谐波信号分量进行解码的装置,所述谐波信号分量的中心频率等于 Nf_0 ; 以及

显示图像的子系统,该图像具有一个为所述接收矢量的所述经解码的谐波信号分量的函数的部分。

13. 一种成像系统, 包括:

10 换能器阵列, 其包括多个换能器元件, 用于响应电激励发射波能并将所返回的波能转换成电信号;

显示子系统, 用于显示图像, 该图像具有一个作为图像信号的函数的图像部分;

计算机, 对该计算机进行编程以执行如下步骤:

15 (a) 激励多个所述换能器元件以发射聚焦的波能, 该聚焦的波能具有基本频率 f_0 并在发射激发的过程中以编码基本序列进行编码, 所述编码基本序列包括由具有周期的基本序列与编码序列的第一和第二编码符号分别进行卷积而形成的第一和第二片段, 所述第二片段相对于所述第一片段移动了周期的 $1/2N$, 在此 N 为大于1的正整数;

20 (b) 从所选择的在所述发射激发之后形成接收孔径的换能器元件所产生的电信号中形成接收矢量;

(c) 对所述接收矢量的谐波信号分量进行解码, 所述谐波信号分量的中心频率等于 Nf_0 ;

25 (d) 从所述接收矢量的所述谐波信号分量中形成图像信号; 以及

(e) 给所述显示子系统发送所述图像信号。

14. 如权利要求13所述的系统, 其中所述编码序列包括巴克码。

15. 如权利要求13所述的系统, 其中所述计算机包括执行解码步骤

的 FIR 滤波器, 以及存储用于对所述 FIR 滤波器进行编程的一组滤波器系数的存储器, 所述一组滤波器系数是所述接收矢量的所述谐波信号分量的所述中心频率和所述编码基本序列的函数。

5 16. 如权利要求 13 所述的系统, 其中所述换能器元件包括响应电激励发射超声波并将所返回的超声波转换成电信号的压电元件。

17. 一种运行成像系统的方法, 该成像系统包括响应电激励发射波能并将所返回的波能转换成电信号的多个换能器元件, 以及一个显示子系统, 该显示子系统用于显示图像, 所述图像具有一个作为图像信号的函数的部分, 所述方法包括如下步骤:

10 (a) 激励多个所述换能器元件以发射聚焦的波能, 该聚焦的波能具有基本频率 f_0 并在发射激发的过程中以编码基本序列进行编码, 所述编码基本序列包括由具有周期的基本序列与编码序列的第一和第二编码符号分别进行卷积而形成的第一和第二片段, 所述第二片段相对于所述第一片段移动了周期的 $1/2N$, 在此 N 为大于 1 的正整数;

15 (b) 从所选择的在所述发射激发之后形成接收孔径的换能器元件所产生的电信号中形成接收矢量;

(c) 对所述接收矢量的谐波信号分量进行解码, 所述谐波信号分量的中心频率等于 Nf_0 ;

20 (d) 从所述接收矢量的所述谐波信号分量中形成图像信号; 以及

(e) 给所述显示子系统发送所述图像信号。

18. 如权利要求 17 所述的方法, 其中所述编码序列包括巴克码。

19. 一种成像系统, 包括:

25 换能器阵列, 其包括多个换能器元件, 以响应电激励发射波能并将所返回的波能转换成电信号;

发射器, 耦合到所述换能器阵列, 对其编程以激励所选择的换能器元件以形成发射聚焦的波能的发射孔径, 该聚焦的波能具有基本频率 f_0 并在第一和第二发射激发的过程中分别以第一和第二编码基本序列进行编

码, 所述第一和第二编码基本序列每个都包括由具有周期的基本序列与第一和第二编码序列的相应编码符号分别进行卷积而形成的第一和第二片段, 从包括第一和第二编码符号的一个组中采集所述编码符号, 通过所述第二编码符号编码的每个所述片段相对于通过所述第一编码符号编码的片段移动了周期的 $1/2N$, 在此 N 为大于 1 的正整数;

接收器, 对该接收器进行编程以从所选择的在所述第一和第二发射激发之后形成接收孔径的换能器元件所产生的电信号分别形成第一和第二接收矢量;

复合滤波器, 对该复合滤波器进行编程以对作为所述第一和第二编码基本序列的函数的所述第一和第二接收矢量分别进行滤波, 并且所述复合滤波器具有中心在谐波频率 Nf_0 的通带;

加法器, 将所述第一和第二经滤波的接收矢量相加以形成解码接收矢量, 以及

子系统, 用于显示图像, 该图像具有一个作为所述解码接收矢量的函数的图像部分。

20. 如权利要求 19 所述的系统, 其中所述第一和第二编码序列形成格莱码对。

21. 一种成像系统, 包括:

换能器阵列, 其包括多个换能器元件, 用于响应电激励发射波能并将所返回的波能转换成电信号;

发射器, 耦合到所述换能器阵列, 对其编程以激励所选择的换能器元件以形成发射聚焦的波能的发射孔径, 该聚焦的波能具有基本频率 f_0 并在第一和第二发射激发的过程中分别以第一和第二编码基本序列进行编码, 所述第一和第二编码基本序列每个都包括由具有周期的基本序列与第一和第二编码序列的相应编码符号分别进行卷积而形成的第一和第二片段, 从包括第一和第二编码符号的一个组中采集所述编码符号, 通过所述第二编码符号编码的每个所述片段相对于通过所述第一编码符号编码的片段移动了周期的 $1/2N$, 在此 N 为大于 1 的正整数;

接收器，对该接收器进行编程以从所选择的在所述第一和第二发射激发之后形成接收孔径的换能器元件所产生的电信号中分别形成第一和第二接收矢量；

5 对所述第一和第二接收矢量进行解码以形成谐波信号分量的装置，所述谐波信号分量的中心频率等于 Nf_0 ；以及

子系统，用于显示图像，所显示的图像具有一个为所述谐波信号分量的函数的部分。

22. 如权利要求 21 所述的系统，其中所述第一和第二编码序列形成格莱码对。

10 23. 一种成像系统，包括

换能器阵列，其包括多个换能器元件，用于响应电激励发射波能并将所返回的波能转换成电信号；

显示子系统，用于显示图像，所显示的图像具有一个为图像信号的函数的图像部分。

15 计算机，对该计算机进行编程以执行如下步骤：

(a) 激励所选择的形成发射孔径的换能器元件，以发射聚焦的波能，该波能具有基本频率 f_0 并在第一和第二发射激发的过程中分别以第一和第二编码基本序列进行编码，所述第一和第二编码基本序列每个都包括由具有周期的基本序列与第一和第二编码序列的相应编码符号分别进行
20 卷积而形成的第一和第二片段，从包括第一和第二编码符号的一个组中采集所述编码符号，通过所述第二编码符号编码的每个所述片段相对于通过所述第一编码符号编码的片段移动了周期的 $1/2N$ ，在此 N 为大于 1 的正整数；

(b) 从所选择的并在所述第一和第二发射激发之后形成接收孔径的换能器元件所产生的电信号中分别形成第一和第二接收矢量；
25

(c) 对所述第一和第二接收矢量进行解码以形成谐波信号分量，所述谐波信号分量的中心频率等于 Nf_0 ；

(d) 从所述谐波信号分量中形成图像信号；以及

(e) 将所述图像信号发送给所述显示子系统。

24. 如权利要求 23 所述的系统, 其中所述第一和第二编码序列形成格莱码对。

5 25. 一种运行成像系统的方法, 所述成像系统包括多个换能器元件, 用于响应电激励发射波能并将所返回的波能转换成电信号; 以及显示子系统, 用于显示图像, 所显示的图像具有一个作为图像信号的函数的部分, 所述方法包括如下步骤:

10 (a) 激励所选择的形成发射孔径的换能器元件以发射聚焦的波能, 该聚焦的波能具有基本频率 f_0 并在第一和第二发射激发的过程中分别以第一和第二编码基本序列进行编码, 所述第一和第二编码基本序列每个都包括由具有周期的基本序列与第一和第二编码序列的相应编码符号分别进行卷积而形成的第一和第二片段, 从包括第一和第二编码符号的一个组中采集所述编码符号, 通过所述第二编码符号编码的每个所述片段相对于通过所述第一编码符号编码的片段移动了周期的 $1/2N$, 在此 N 为大于 1
15 的正整数;

(b) 从所选择的在所述第一和第二发射激发之后形成接收孔径的换能器元件所产生的电信号中分别形成第一和第二接收矢量;

(c) 对所述第一和第二接收矢量进行解码以形成谐波信号分量, 所述谐波信号分量的中心频率等于 Nf_0 ;

20 (d) 从所述谐波信号分量中形成图像信号; 以及

(e) 将所述图像信号发送给所述显示子系统。

26. 如权利要求 25 所述的方法, 其中所述第一和第二编码序列形成格莱码对。

应用编码激励增强组织产生的谐波成像

5 本发明涉及超声成像系统，更具体地说涉及提高在医疗超声成像中组织产生的和对比试剂产生的谐波信号的谐波与基波之比和谐波与噪声之比。

10 常规的超声成像系统包括发射超声束并从所研究的目标接收反射束的超声换能器元件阵列。这种扫描包括一系列的测量，在这些测量中发射聚焦的超声波，在较短的时间间隔之后该系统切换到接收模式，接收反射的超声波并形成声束和处理以便进行显示。通常，在每次测量中发射和接收都聚焦在相同的方向上，以便从沿着声束或扫描线的一系列的点上采集数据。当接收反射的超声波时接收器动态地聚焦在沿着扫描线的连续的范围上。

15 对于超声成像，该阵列通常具有许多设置在一行或多行中并由不同的电压驱动的换能器元件。通过选择所施加的电压的幅值和时间延迟（或相位），控制在给定的行中的每个换能器元件以便产生超声波，综合这些超声波以形成沿着优选的矢量方向行进并聚焦在沿着声束上所选择的点上的净超声波。每次激发的声束形成参数都可以改变以改变每次激发的焦点或方向，例如通过沿着相同的扫描线发射连续的声束并且每个声束的焦点相对于前面的声束的焦点移动了。对于所控制的阵列，通过改变所施加电压的幅值和时间延迟，在平面中移动具有焦点的声束以扫描目标。对于线性阵列，通过在每次激发中移动遍布在阵列上的发射孔径使垂直于阵列导向的聚焦声束扫描整个目标。

25 当在接收模式中应用换能器探头来接收所反射的声波时应用相同的原理。对在接收换能器元件上所产生的电压进行相加，所得的净信号表示从在目标上的单个焦点上反射的超声能量。当应用这种发射模式时，通过对来自每个接收器元件的信号施加不同的时间延迟（和/或相移）和增益来实现超声能量的这种聚焦接收。

30 超声图像由许多图像扫描线构成。通过将聚焦的超声能量发射到在所研究的区域中一点上然后接收随着时间的反射能量来采集单个扫描线（或较小的局部扫描线组）。聚焦的发射能量称为发射束。在

发射之后，一个或多个接收束形成器对每个通道所接收的能量相加，并动态地改变相位旋转或时间延迟，以便在与所经过的时间成比例的范围上沿着理想的扫描线产生峰值灵敏度。所得的聚焦灵敏度模式称为接收束。扫描线的分辨率是相对应的发射束和接收束对的方向性的结果。

检测束形成器的输出以在目标区或研究区中形成每个采样空间的相应的像素强度值。对这些像素强度值进行较大的压缩、扫描转换然后作为所扫描的组织图像。

常规的超声换能器发射中心在基频 f_0 的宽束信号，将这种基频信号通过相应的脉冲发生器分别施加到发射孔径的每个换能器元件中，以能够在特定的发射焦点位置上产生所需的发射束聚焦的时间延迟激励该脉冲发生器。

由于发射束传播通过组织，当超声波从在不同的密度的区域之间的边界上反射或散射时产生回波。换能器阵列将这些超声回波变换为电信号，处理该电信号以产生组织的图象。这些超声图象是从基波（线性）和谐波（非线性）信号分量的结合中形成的，该非线性分量是在非线性介质比如包含有对比试剂的组织或血液流中产生的。由于散射的线性信号，所接收的信号是所发射的信号经过时间移动且与幅值成比例的信号。然而，这对于散射非线性的超声波的声介质来说并不是这样。

来自较大的幅值信号发射的回波包含有线性和非线性的信号分量。在某些实例中，可以通过抑制基波并增强谐波（非线性）信号分量来改善超声图象的质量。如果所发射的中心频率为 f_0 ，则组织/对比试剂非线性特性将产生 Nf_0 的谐波和 f_0/N 的分谐波，在此 N 为大于或等于 2 的整数。[术语“（分）谐波”是指谐波和/或分谐波信号分量。]通过发射频率为 f_0 的窄带信号并接收中心频率为 $2f_0$ （二次谐波）的频带并在其后进行接收信号的处理来实现对谐波信号进行成像。

组织产生的谐波成像能够极大地改善在难于成像的患者的 B-模式的图象质量。由于谐波信号在幅值方面比基波信号至少低一个数量级，所以组织产生谐波成像所面临的一个问题是较低的谐波与噪声之比（HNR）。第二个问题是当以较低的谐波与基波之比（HFR）进行测

量时不能充分地将谐波信号从基波信号中分离出来。

编码激励是在医疗成像领域中一项十分普通的技术。例如，在8/17/99公布共同转让的美国专利US5,938,611公开了使用巴克码（Barker code）和在11/16/99公布共同转让的美国专利
5 US5,984,869公开了使用戈莱码（Golay code）。

组织谐波成像技术和应用对比试剂的谐波成像技术同样地公知。在Averkiou等人的“一种基于组织的非线性特性的新颖的成像技术”（1997 IEEE Ultrasonics Symp., pp. 1561-1566）中提出了组织谐波成像的技术，而应用对比试剂的谐波成像技术描述在
10 de Jong等人的“在超声对比试剂中的原理新近发展”（Ultrasonics vol. 29, 1991, pp. 324-330）和Uhlendorf的“超声对比试剂成像的物理现象：在线性范围中的散射”（IEEE Trans. Ultrason. Ferroelec. & Freq. Cotrol, Vol. 41, No. 1, pp. 70-90, January (1994)）中。组织谐波能够极大地改善在难于成像的患者的B-模式图象质量，
15 而对比谐波能够极大地促进血管研究。

Krishnan等人在“对非线性对比试剂成像的发射孔径的处理”（Ultrasonic vol. 18, pp. 77-105, 1996）中描述了一种相移技术，其发射信号穿过发射孔径以抵消所发射的二次谐波频率的信号。

Takeuchi在“编码激励谐波成像”（1997 IEEE Ultrasonics
20 Symp., pp. 1433-1436）中进一步将相位移动概念延伸到对比试剂产生的二次谐波信号的编码激励中。

在上文所述类型的医疗超声成像系统中，理想的是使HFR和HNR最优化。具体地说需要极大地提高在谐波成像中的HFR和HNR的系统和方法。

25 在本发明的优选实施例中，通过发射较长的经编码的脉冲序列并接对所接收的声束相加的数据进行解码来执行应用编码激励的组织超声谐波成像，从而改善组织产生谐波信号的HFR和HNR。

所发射的脉冲序列的幅值设定得足够高以从组织的非线性特性中产生谐波信号。接收谐波信号（连同基波信号）、声束形成、分离
30 和解码以及应用该信号形成图象。

在本发明的优选实施例中，用于采集第N次谐波信号的发射波形是应用编码序列的两个编码符号编码的双相波（1，-1）波，以第二

编码符号编码的发射波形的每个编码部分（即，片段（chip））相对于以第一编码符号编码的片段相位移动了 $180^\circ/N$ 。这通过在中心频率相对于以第一编码符号编码的片段时移了以第二编码符号编码的发射序列的片段周期的 $1/2N$ 。对于第二谐波信号（ $N=2$ ），经编码的发射序列的两片段的相位间隔为 90° ，这是通过在发射序列存储器中循环地移动第二片段四分之一周期来实现的。[在此所使用的术语“循环移动”是指在移动了的片段的前端的时间采样被加到移动的片段的后端。]在重复的过程中，通过中心频率为两倍基频的带通滤波器来分离出二次谐波信号并解码增强。带通滤波和解码功能优选结合在一个滤波器中。

由于只有二次谐波信号正确地与解码滤波器相匹配才能实现增加 HFR，但基波（以及其它的谐波）都不能正确地编码，因而不能实现任何解码增益。应用这种技术，二次谐波信号的 HFR 和 HNR 都增加了 $10\log(n)$ dB，这里 n 是在单发射（例如巴克码）码中的片段数量，或者对于双发射（例如戈莱码）码增加了 $10\log(2n)$ 。附加的 HFR 增益使得可以应用更宽的频带信号来改善分辨率。

附图 1 所示为常规的超声成像系统的方块图。

附图 2 所示为依据本发明的优选实施例的超声成像系统的方块图。

附图 3-6 所示分别为一个周期的波形：基本序列（附图 3）、过采样编码序列（附图 4）、用于基波成像的编码基本序列（附图 5）以及依据本发明的优选实施例的谐波成像的编码基本序列（附图 6）。

附图 7 所示为依据本发明的一种变型的优选实施例从 5-位双相编码序列与相匹配的解码滤波器的滤波器系数的卷积中得出的压缩脉冲的示意图。

附图 8 所示为依据本发明的优选实施例应用双发射码（例如戈莱码）的滤波器的方块图。

在附图 1 中描述了一种本发明可以应用在其中的超声成像系统。该系统包括具有许多独立地驱动的换能器元件 12 的换能器阵列 10，当通过发射器 14 产生的脉冲波形激励该换能器元件 12 时，每个换能器元件 12 都产生超声能量串。通过每个接收换能器元件 12 将从所研

究的目标反射回到换能器阵列 10 的超声能量转换为电信号并通过一组发射/接收 (T/R) 转换开关 18 分别施加到接收器 16。T/R 转换开关 18 通常为能够保护接收电子设备不受由发射电子设备产生的高压影响的二极管。发射信号使二极管关闭或限制到接收器的信号。发射器 14 和接收器 16 都在主控制器 (或主计算机) 20 根据来自操作员经过操作接口 (未示) 输送的指令的控制下运行。发射器 14 瞬时接通以激发每个换能器元件 12, 随后每个换能器元件 12 产生的回波信号施加到接收器 16, 通过采集一序列的回波来完成完整的扫描。也许一个通道开始接收的同时另一个通道仍然在发射。接收器 16 将来自每个换能器元件的分离的回波信号结合起来以产生单个的回波信号, 应用该单个的回波信号以在显示子系统的视频监视器上产生图像的扫描线。

在主控制器 20 的控制下, 发射器驱动换能器阵列 10 以将所发射的超声能量控制为聚焦的声束。为实现这一点, 通过发射束形成器 26 给许多脉冲发生器 24 都产生相应的时间延迟。主控制器 20 确定发射声脉冲的条件。应用这些信息, 发射束形成器 26 确定由脉冲发生器 24 所产生的每个发射脉冲的幅值和时序。每个脉冲的幅值由变迹法发生器 (未示) 产生。接着脉冲发生器 24 又通过 T/R 转换开关 18 给换能器阵列 10 的每个元件 12 发送发射脉冲, 该转换开关 18 保护时间增益控制 (TGC) 放大器 28 不受在换能器阵列中存在的高压的影响。通过适当地调整在常规方式中的发射焦点的时间延迟和变迹法权重, 控制并聚焦超声束以形成发射束。

每串超声能量产生的回波信号沿着每个发射束从位于连续的范围中的目标中反射。通过每个换能器元件 12 分别感测回波信号, 在特定点上的回波信号的幅值采样在时间上地表示在特定的范围中产生的反射量。由于在反射点和每个换能器元件 12 之间的传播路径不同, 并不能同时检测回波信号, 而且它们的幅值也不相等。接收器 16 经过在每个接收通道中的相应的 TGC 放大器 28 放大相应的回波信号。通过增加或降低作为深度函数的增益来实现时间增益控制。通过 TGC 驱动器电路 (未示) 来控制 TGC 放大器所产生的放大量, 该 TGC 驱动器电路由主计算机和手动操作的电位器 (未示) 设定。然后将模拟回波信号输送到接收束形成器 30。

在主控制器 20 的控制下, 接收束形成器 30 跟踪发射束的方向, 沿着每声束在连续的范围上采样回波信号。接收束形成器 30 使每个经放大的回波信号具有适当的时间延迟和接收变迹法权重, 并且将该信号相加以产生精确地表示从沿着某一起声束的特定范围上的点反
5 射的总的超声能量。应用专用的软件实时地计算或从查询表中读取接收焦点时间延迟。接收通道还具有对所接收的脉冲进行滤波的电路。然后对经滤波的时间延迟接收信号进行相加。

在附图 1 所示的系统中, 通过解调器 31 将束形成器的输出信号的频率移动到基带。实现这一点的一种方法是通过复数正弦 $e^{j2\pi f_0 t}$ 乘以
10 输入信号, 在此 f_0 是将信号频带移到基带所要求的频移。解调的信号输送给信号处理器 32, 信号处理器 32 将解调的信号转换为显示数据。在 B-模式 (灰度级) 中, 显示数据包括进行某些附加处理比如边缘增强和对数压缩的信号包迹。

通常, 通过扫描转换器 34 将显示数据转换为 X-Y 格式的视频显示数据。经扫描转换的帧传递到并入在显示子系统 22 中的视频处理器 (未示)。视频处理器映射显示的视频数据并将经映射的图象帧输
15 送到显示子系统中。

通过显示子系统 22 的视频监视器 (未示) 显示的图象从数据的图象帧中产生, 该数据的每条数据都表示在显示器中的相应的像素的强度或亮度。图象帧例如可以包括 256×256 个数据阵列, 在这些数据阵列中每个强度数据都为表示像素强度的 8 位二进制数。在视频监视器上的每个像素的亮度都通过公知的方式读取在数据阵列中的它
20 对应的元件值来连续地刷新。每个像素所具有的强度值都是响应超声查询脉冲在相应的采样体积的截面的散射体的函数。

附图 2 所示为应用单发射编码激励显示谐波图象的本发明优选实施例。在本系统中, 在发射孔径中的每个换能器元件都应用编码基本序列进行脉冲加载, 在该序列中的每个脉冲通常称为一个片段 (chip)。通过应用基本序列 (包括 -1 和 +1 码元的序列) 与过采样
25 编码序列 (包括 n 位数字编码, 每个数字都为两个编码符号 +1 和 -1 中的一个) 进行卷积来形成编码基本序列。具体地说, 应用 n 位数字编码序列对基本序列进行相位编码以产生存储在发射序列存储器 36 中的 n-片段编码基本序列。当应用单发射码 (例如巴克码) 时, 发射
30

序列存储器 36 存储用于每个发射聚焦区的一个编码基本序列。当应用双发射码（例如，格莱码）时，发射序列存储器 36 存储用于每个发射聚焦区的两个编码基本序列。

在附图 3、4 和 6 中示出了应用在依据本发明的优选实施例的谐波成像中使用的实例性的编码基本序列。为进行比较，附图 5 所示为应用在常规的成像系统中的基频信号分量的相应的编码基本序列，其中不直接地发射编码序列而是通过过采样（一般在 40MHz 或 $dt=0.0025$ 微秒的时间采样）然后将该过采样编码序列（在附图 4 中示出）与基本序列（在附图 3 中所示）进行卷积以形成编码基本序列。在附图 5 和 6 中的字母“A”表示以编码序列的第二编码符号编码的基本序列的开始。由于编码基本序列的频谱能够更好地与具有适当选择的基本序列的换能器的通频带相匹配，所以它能够更高效地发射。

常规的双相编码比如巴克码和格莱码都具有两个反相符号比如 +1 和 -1。然而，为使用在附图 4 中所示的编码序列的编码符号对发射波形进行编码以采集第 N 次谐波信号，以第二编码符号（即，-1）编码的发射波形的片段需要相对于以第一编码符号（即，+1）编码的片段相移 $180^\circ/N$ 。这是因为如果发射信号具有相位项 $\exp[j\theta]$ ，则所接收的第 N 次谐波信号具有相位项 $\exp[jN\theta]$ 。具体地说，为对采集第二次（ $N=2$ ）谐波信号的发射波形进行编码，与两个编码符号 +1 和 -1 相对应的片段必需间隔 90° ，以便使相应的第二次谐波信号间隔 180° 。一旦接收，以两倍于基本中心频率的通带滤波器分离出第二次谐波信号，随后对该第二次谐波信号进行解码。

通过在时间上循环移动相应的片段 $T=1/(2Nf_0)$ 微秒来实现在与第二码元相对应的编码基本序列中的相移，这里 N 是谐波阶次， f_0 是以兆赫兹为单位的基频信号（即，发射信号）中心频率。例如，对于 $N=2$ （二次谐波）和 $f_0=3.33$ 兆赫兹，时移为 $T=0.075$ 微秒，其对应于 $T/dt=3$ 个时间采样。然后在对应于 90° 相移的编码基本序列中的片段在时间上循环移动 3 个时间采样，第一个经移动了的 3 个时间采样在附图 6 中以阴影图示。这是通过在发射序列存储器中循环移动第二编码基本序列（即，片段）四分之一周期来实现的。

在附图 2 的系统中，从发射序列的存储器 36 中读出的每个编码基本序列在相应的发射激发的过程中控制激励许多脉冲发生器

24. 在给定焦点位置上的编码基本序列以足够的幅值发射, 以便从在组织中的非线性传播中产生谐波信号。脉冲发生器 24 驱动换能器阵列 10 的元件 12 以使在每次发射激发中所产生的超声能量聚焦成束。为实现这些, 使由脉冲发生器所产生的相应的脉冲波形具有来自查询表 38 的发射焦点时间延迟。通过以常规的方式适当地调整发射焦点时间延迟, 超声束聚焦在许多发射焦点位置以实现在图象平面中的扫描。

对于每次发射, 将来自换能器元件 12 的回波信号输送到接收束形成器的相应的接收通道 40。每个接收通道具有 TGC 放大器和模拟到数字转换器 (在附图 2 中没有示出), 接收束形成器跟踪所发射的声束的方向。接收束形成器的存储器 42 使所接收的回波信号具有适当的接收焦点时间延迟, 此后将所接收的回波信号相加以产生精确地表示从特定的发射焦点位置所反射的总的超声能量的回波信号。在接收束加法器 44 中将每次发射激发的时间延迟接收信号相加。

对于单发射编码激励, 将在发射激发之后所采集的束总计接收信号输送到复合滤波器 46 中。该复合滤波器 46 对束总计接收信号和接收编码进行相关。复合滤波器 46 内含中心频率为 Nf_0 的带通滤波器以分离出第 N 次谐波信号。可取的是, 复合滤波器 46 包括执行带通滤波和解码滤波的有限冲激响应 (FIR) 滤波器。合适的滤波器系数存储在滤波器系数存储器 48 中, 并在适当的时候输送到复合滤波器 46。可以理解的是分开的滤波器即带通 FIR 滤波器和解码 FIR 滤波器可以替换复合 FIR 滤波器。将带通 FIR 滤波器的滤波器系数 $b(m)$ 设计成通过谐波信号分量, 这里 $m=0, 1, 2, \dots, (M-1)$, 而解码 FIR 滤波器的滤波器系数 $a(k)$ 为发射编码的函数, 这里 $k=0, 1, 2, \dots, (K-1)$ 。依据下式对滤波器系数 $a(k)$ 与滤波器系数 $b(m)$ 进行卷积来计算具有滤波器系数 $c(i)$ 的在功能上等效的复合滤波器, 这里 $i=0, 1, 2, \dots, (MK-1)$:

$$c(i) = \sum_{k=0}^{K-1} a(k)b(i-k) \quad (1)$$

通过解调器对经带通滤波和解码的接收信号进行解调，并输送给信号处理器 32（参见附图 1）。在 B 模式中，信号处理包括包络线检测、边沿增强和对数压缩。在信号处理和扫描转换之后，在显示子系统的视频监测器上显示扫描线。重复这个程序以显示每次发射焦点位置（对于每个声束角度在一个发射焦点位置情况下）或每个矢量（对于每个声束角度在多个发射焦点位置情况下）的相应的扫描线，由此形成所需的阶次的谐波图象。

对于双相的单发射编码（例如，巴克码），特殊设计的编码序列对长度为 p 的发射串（基本序列）进行调制。 n 个片段的编码的基本序列具有的总长度为 $n \times p$ 。通过穿过复合的带通/解码滤波器 46（参见附图 2）对束形成器输出信号进行实时压缩。某些编码波形最好通过匹配的滤波进行压缩，即应用一族解码 FIR 滤波器系数 $a(k)$ ，它与 n -片段发射编码相同。然而，有时通过应用具有比 n 滤波器系数更大或具有与原始的 n -片段发射编码不同的系数的 FIR 滤波器进行不匹配的滤波来实现更为理想的压缩效果。复合滤波器 46 的输出信号是一种压缩脉冲的谐波信号，其长度等于或接近于原始发射串长度 p ，但它的幅值为其 n 倍或更大。

例如，附图 7 所示为巴克码系列的 5 个片段编码序列。巴克码为各种长度的双相（或二进制）编码序列，其长度可达 $n=13$ 。如附图 7 所示，如果通过匹配的 FIR 滤波器（即，具有和发射码的数字相一致的滤波器系数）对 5 位的巴克码 $[1, 1, 1, -1, 1]$ 进行解码，则所实现压缩率为 $n=5$ ，它对应于 SNR 放大 7 分贝。然而，如在附图 7 中所示，在解码器滤波器输出信号中的主脉冲被更小的幅值的脉冲所包围，这些更小的幅值脉冲对应于在幅值上低于主波瓣 $1/n$ 的轴向或平行的旁波瓣。

当应用分开的带通滤波器和解码滤波器时，通过解码滤波器对接收数据进行解码或自相关。基于发射编码、解调频率（如果解码在解调之后）以及对所接收的数据执行的向下采样量设计适当的解码滤波器。

在所有的双相编码中，大家都知道当应用匹配的滤波器进行解码时巴克码可能具有最小的旁波瓣的特性。然而，对于任何单发射编码，通常在降低信号增益和/或主波瓣的宽度（降低距离分辨率）的

情况下通过失配滤波来抑制旁波瓣。通常应用更长的失配 FIR 滤波器来实现更大的旁波瓣抑制。

对于双发射编码（例如，格莱码），每个发射的焦点区存在两个编码基本序列。对于给定焦点位置上的编码基本序列以足够的幅值发射以便从在组织中的非线性传播中产生谐波信号，并对所接收的波形进行束形成、解码以及用其形成谐波图像。对于双发射编码，解码滤波器包括 FIR 滤波器和矢量加法器。对在给定的焦点位置上的两次发射的 FIR 滤波器的输出信号进行累加以完成解码步骤。附图 8 所示为对所需的谐波信号分量进行带通滤波然后将每个接收的编码与相应的发射编码进行相关的 FIR 滤波器 50。为实现这些应用，术语“解码器”是指对接收矢量进行滤波以通过谐波信号分量并对接收矢量进行解码的硬件和/或软件。在附图 8 所部分地描述的实施例中，FIR 滤波器 50 和矢量加法器 52 形了解码器。（与其相反，在附图 2 所示的实施例中，复合滤波器 46 形了解码器。）

在第一编码发射后的接收的过程中，复合 FIR 滤波器 50 依据第一组滤波器系数对第一束总计接收矢量进行滤波，通过将谐波带通滤波器的滤波器系数同与第一发射编码相匹配的解码滤波器的滤波器系数相卷积来确定该第一组滤波器系数。将复合滤波器 50 所输送的第一滤波的接收矢量存储在矢量加法器 52 中的缓冲器中。在第二编码发射后的接收的过程中，复合 FIR 滤波器 50 依据第二组滤波器系数对第二束总计接收矢量进行滤波，通过将谐波带通滤波器的滤波器系数同与第二发射编码相匹配的解码滤波器的滤波器系数相卷积来确定该第二组滤波器系数。将第二滤波的接收矢量输送到矢量加法器 52 中，在这里与存储在缓冲存储器中的第一滤波的接收矢量相加。然后对相加的经滤波的（例如，经带通滤波和解码）接收矢量进行进一步处理以进行图像显示。

对于双发射编码激励，在聚焦在所需的发射焦点位置的第一发射激发的过程中依据第一编码序列对换能器元件发射脉冲，而在聚焦在相同的发射焦点位置的第二次发射激发的过程中依据第二编码序列对换能器元件发射脉冲。通过将第一和第二编码序列（例如格莱码对）与基本序列分别进行卷积即通过应用编码序列对基本序列进行相位编码来产生第一和第二编码序列。依据优选的实施例，第一和第二发

射编码为互补的格莱码，例如格莱码对[1, 1]和[1, -1]，而脉冲发生器 24（参见附图 2）为双极性的。依据优选实施例，以编码符号-1 编码的格莱编码的基本序列的每个片段为相对于以编码符号+1 编码的片段循环地在时间上移动了周期的 $1/2N$ 。

- 5 在每次激发的过程中，通过从来自发射序列存储器 36 或来自专用的硬件的格莱编码基本序列激励脉冲发生器 24。响应来自发射序列存储器 36 的格莱编码基本序列和查询表 38 所提供的发射焦点延迟，脉冲发生器产生输送到组成发射孔径的相应的换能器元件 12 的格莱编码脉冲序列。通过脉冲发生器 24 将每个格莱编码基本序列的+1 和
10 -1 符号都转换为 0 度和 90 度相位的脉冲。

- 对于每次激发，以二次谐波频率执行带通滤波并应用与在发射过程中所应用的格莱编码的基本序列相对应的过采样格莱码序列执行解码滤波。时间反向的过采样格莱码序列 $y(-k)$ 存储在滤波器系数存储器 48 中并在适当的时间输送到 FIR 滤波器（参见附图 8）。
15 滤波器 50 对所接收的信号 $x(k)$ 与过采样格莱序列 $y(k)$ 进行相关：

$$x(k)*\overline{y(-k)} = \sum_m x(m+k)\overline{y(m)} \quad (2)$$

- 这里*表示卷积，上划线表示共扼（如果 X 和 Y 为复数）。在矢量加法器中将相关的结果相加（参见附图 8）以形成解码信号，然后将该
20 解码信号输送到解调器 31。

- 并入了在附图 8 中所示的结构成像系统还在束相加之前或之后还可以将 RF 回波信号解调到基带并向下采样。在本实例中，还将用于相关处理而存储的过采样的格莱码序列解调到基频带并进行向下
25 采样。

- 复合 FIR 滤波器可以在束形成器输出中以软件方式或硬件方式实现（如附图 2 所示）或在解调器输出中实现。在后一种情况下，复合 FIR 滤波器的滤波器系数必需与解调信号相匹配或失配。对于解调器移动离散的频率 $f_d=k/2t_b$ 的情况，这里 k 是任何正整数， t_b 是编码的基本序列的持续时间，由于正弦为实数，所以将相同组的滤波器系数
30

都应用到用于 I 和 Q 分量的复合滤波器中，由此形成了实数滤波器。在 $f_d \neq k/2t_b$ 的情况下，由于 I 和 Q 复合滤波器接收不同组的滤波器系数，所以形成了复数滤波器。在后一种情况中，滤波器系数与相应的解调信号分量匹配或失配。

- 5 虽然已经说明并描述了本发明的某些优选的特征，对于在本领域的熟练技术人员来说可以作出许多变型和改变。因此，可以理解的是希望所附加的权利要求覆盖落在本发明的真实的精神范围之内的所有的这些变型和改变。

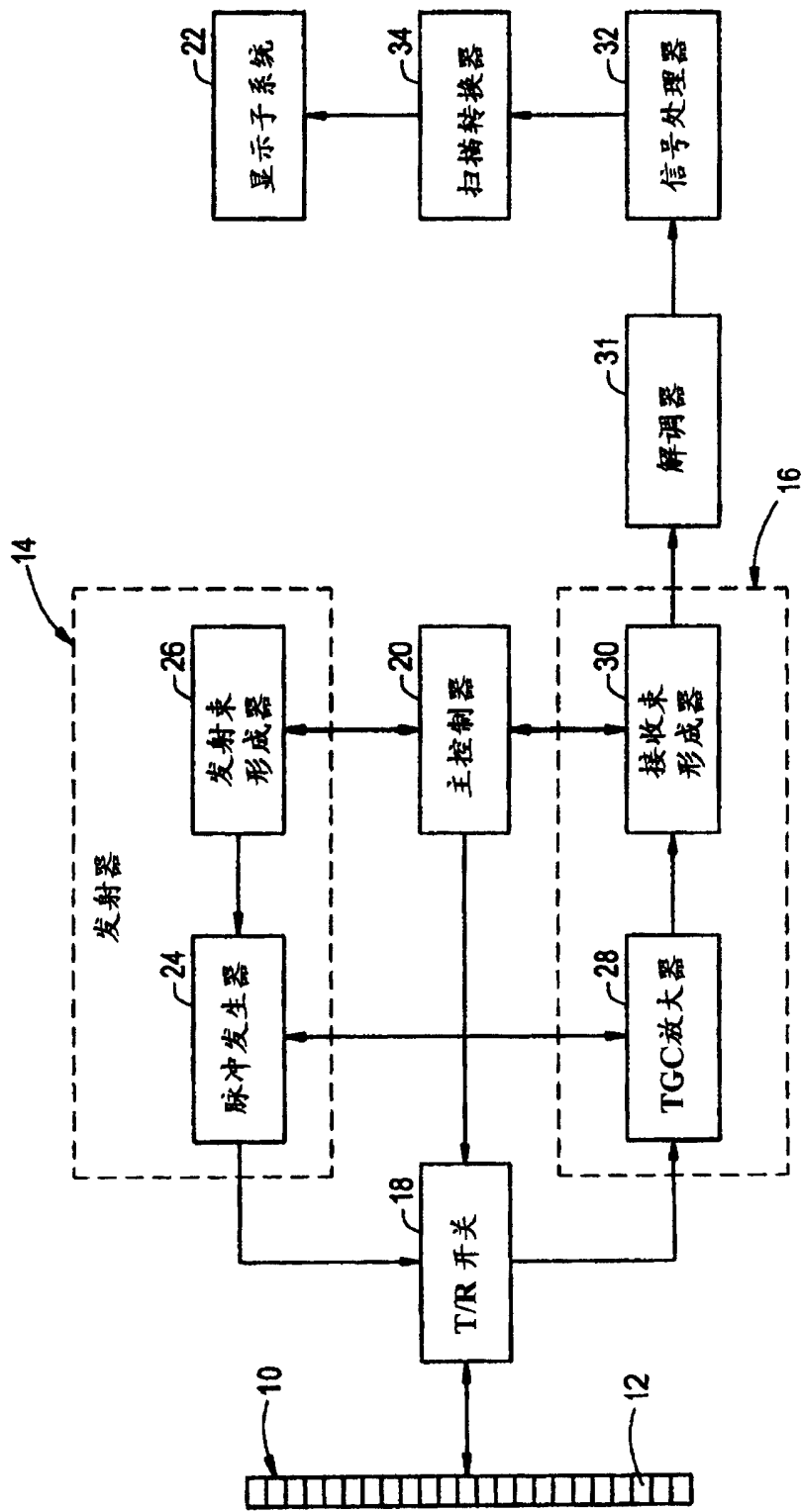


图 1
现有技术

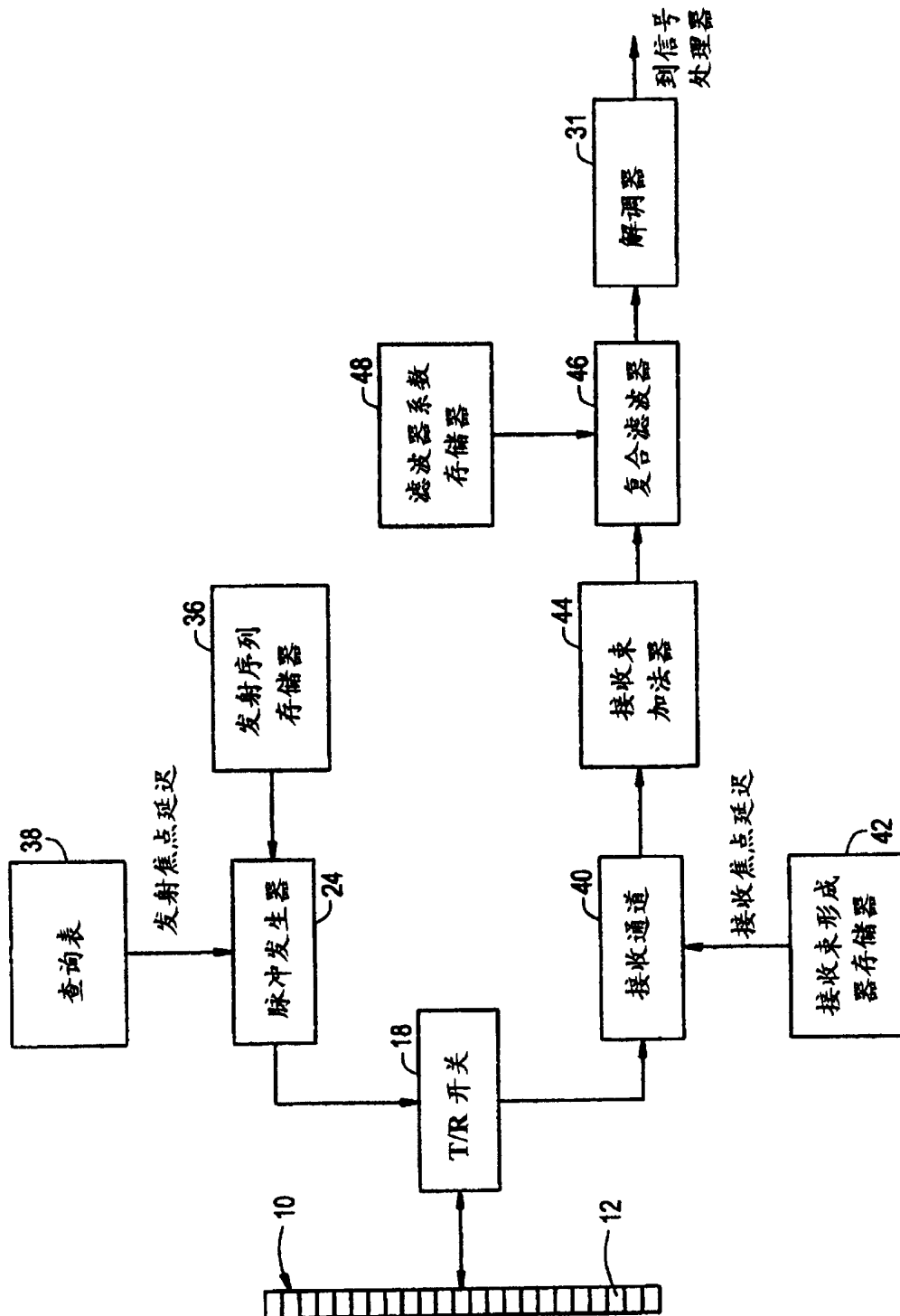


图 2

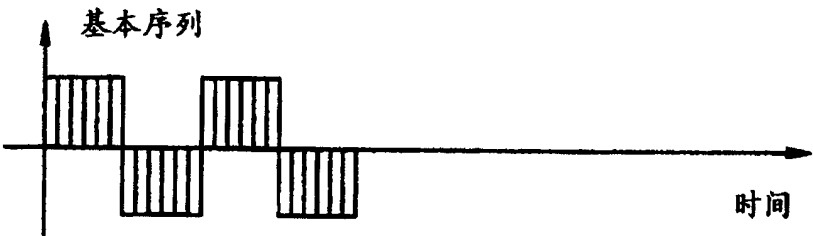


图 3

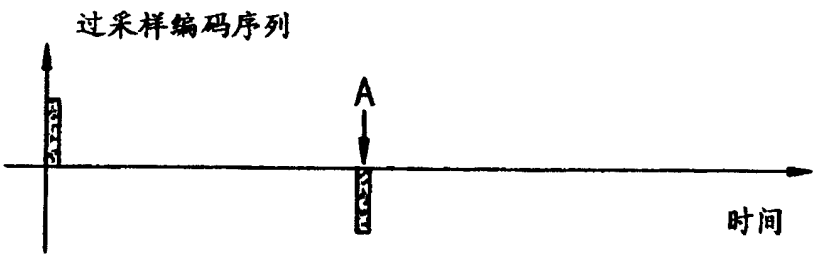


图 4

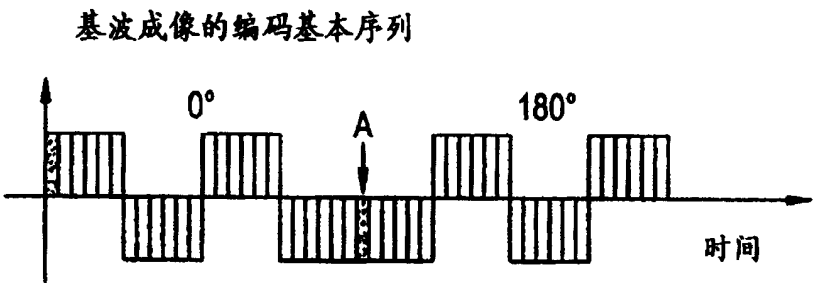


图 5

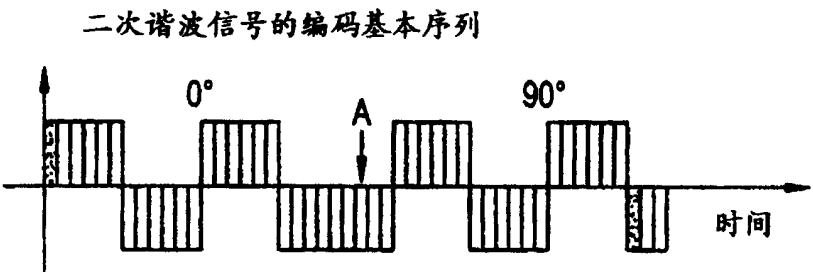


图 6

