

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200580045571.6

[51] Int. Cl.
A61B 8/14 (2006.01)
G06T 7/00 (2006.01)
B06B 1/06 (2006.01)

[43] 公开日 2007 年 12 月 26 日

[11] 公开号 CN 101094612A

[22] 申请日 2005.8.25

[21] 申请号 200580045571.6

[30] 优先权

[32] 2004.10.29 [33] US [31] 10/978,175

[86] 国际申请 PCT/US2005/030237 2005.8.25

[87] 国际公布 WO2007/086817 英 2007.8.2

[85] 进入国家阶段日期 2007.6.29

[71] 申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 C·R·哈扎德 R·G·沃德尼基

R·A·费希尔

K·E·托梅尼乌斯

L·S·史密斯 D·M·米尔斯

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 刘春元 王小衡

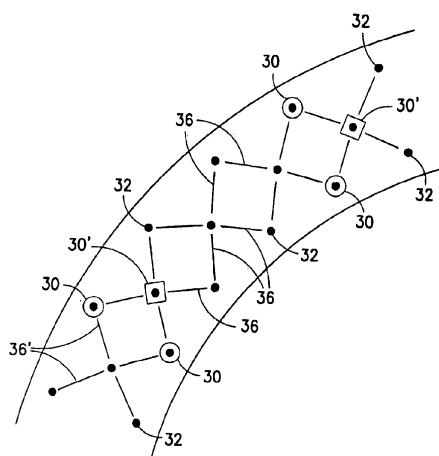
权利要求书 5 页 说明书 31 页 附图 16 页

[54] 发明名称

可重新配置的传感器元件阵列的最优开关配置

[57] 摘要

在此所公开的可重新配置的超声阵列是允许成组的子元件动态连接在一起以便最终的元件的形状能匹配波前的形状的超声阵列。这可以导致提高性能和/或减少通道计数。使用开关网络可以实现可重构性。公开了一种方法和算法，该方法和算法允许通过合适地选择开关网络的配置来提高该开关网络的性能。



1、一种用于实现开关配置的方法，该开关配置最小化控制可重新配置的传感器元件阵列期间由开关网络引入的误差，所述方法包括下列步骤：

(a) 产生初始开关配置；以及

(b) 执行迭代算法，该迭代算法包括下列步骤：

(i) 将开关配置输入到系统模型中，该系统模型计算系统的响应；考虑所有开关网络误差，开始时输入所述初始开关配置并且其后接连地输入相继导出的修改过的开关配置；

(ii) 使用具有已输入的开关配置的模型产生图像或辐射图案；

(iii) 至少部分基于表示所产生的图案的数据，计算价值函数值；

(iv) 确定所计算的值是否基本上表示所述价值函数的最小值；以及

(v) 如果所计算的值不是所述价值函数的最小值，则根据所述值计算的结果修改当前开关配置，以达到修改过的开关配置，针对每个开关配置重复步骤(i)到(v)；以及

(c) 如果所计算的值是所述价值函数的最小值，则利用导致价值函数值最小化的修改过的开关配置来配置所述开关网络。

2、根据权利要求1所述的方法，其中，所述配置步骤包括为控制开关状态而编程控制电路。

3、根据权利要求1所述的方法，其中，确定所计算的值是否基本上表示所述价值函数的最小值的步骤是使用模拟退火类型的算法来执行的。

4、根据权利要求1所述的方法，其中，所使用的价值函数是开关距离大于预定阈值的传感器元件的数目。

5、根据权利要求1所述的方法，其中，所使用的价值函数随着应用而改变。

6、根据权利要求5所述的方法，其中，第一价值函数被用于优化当传感器元件阵列运行在发射模式时所使用的第一开关配置，而第二价值函数被用于优化当传感器元件阵列运行在接收模式时所使用的第

二开关配置。

7、根据权利要求 5 所述的方法，其中，第一价值函数被用于优化当传感器元件阵列根据第一组系统参数运行时所使用的第一开关配置，而第二价值函数被用于优化当传感器元件阵列根据第二组系统参数运行时所使用的第二开关配置。

8、根据权利要求 1 所述的方法，其中，无论何时传感器元件阵列的配置改变，都执行所述方法。

9、根据权利要求 1 所述的方法，其中，无论何时检测到传感器元件阵列的操作环境中的预定温度变化，都执行所述方法。

10、根据权利要求 1 所述的方法，其中，传感器元件阵列被耦合到成像系统，并且无论何时成像系统被接通，都执行所述方法。

11、根据权利要求 1 所述的方法，其中，传感器元件阵列被并入探针中，该探针可被耦合到成像系统，并且表示导致价值函数值被最小化的所述修改过的开关配置的数据被存储在探针中的存储器中。

12、根据权利要求 1 所述的方法，其中，传感器元件阵列被并入探针中，该探针可被耦合到成像系统，并且表示导致价值函数值被最小化的所述修改过的开关配置的数据被存储在成像系统的存储器中，并且该数据稍后被下载到探针中的本地存储器。

13、根据权利要求 1 所述的方法，其中，表示导致价值函数值被最小化的所述修改过的开关配置的数据在扫描期间从探针中的本地存储器中被读出。

14、根据权利要求 1 所述的方法，其中，在假设开关的理想电阻值的设计阶段期间，执行所述方法。

15、根据权利要求 13 所述的方法，其中，每个传感器元件是相应的超声换能器元件，并且在假设超声换能器元件的理想电容值的设计阶段期间，执行所述方法。

16、一种用于实现开关配置的方法，该开关配置最小化在控制可重新配置的传感器元件阵列期间由开关网络引入的误差，所述方法包括下列步骤：

(a) 产生初始开关配置；以及

(b) 执行迭代算法，该迭代算法包括下列步骤：

(i) 将开关配置输入到系统中，开始时输入所述初始开关配

置并且其后接连地输入相继导出的修改过的开关配置；

(ii) 确定具有所输入的开关配置的系统的性能；

(iii) 至少部分基于表示所确定的系统性能的数据，计算价值函数值；

(iv) 确定所计算的值是否基本上表示所述价值函数的最小值；以及

(v) 如果所计算的值不是所述价值函数的最小值，则根据所述值计算的结果修改当前开关配置，以得出修改过的开关配置，针对每个开关配置重复步骤(i)到(v)；以及

(c) 如果所计算的值是所述价值函数的最小值，则利用导致价值函数值被最小化的修改过的开关配置来配置所述开关网络。

17、根据权利要求16所述的方法，其中，所述配置步骤包括为控制开关状态而编程控制电路。

18、根据权利要求16所述的方法，其中，确定所计算的值是否基本上表示所述价值函数的最小值的步骤是使用模拟退火类型的算法来执行的。

19、根据权利要求16所述的方法，其中，所使用的价值函数是开关距离大于预定阈值的传感器元件的数目。

20、根据权利要求16所述的方法，其中，步骤(b)(ii)包括计算所述系统的辐射图案的步骤。

21、根据权利要求16所述的方法，其中，步骤(b)(ii)包括评估由所述系统所产生的图像的步骤。

22、根据权利要求16所述的方法，其中，步骤(b)(ii)包括进行所述系统的电测量的步骤。

23、根据权利要求16所述的方法，其中，每个传感器元件是相应的超声换能器元件，并且步骤(b)(ii)包括测量开关的导通电阻和测量超声换能器元件的电容的步骤。

24、根据权利要求16所述的方法，其中，所使用的价值函数随着应用改变。

25、根据权利要求24所述的方法，其中，第一价值函数被用于优化当传感器元件阵列运行在发射模式时所使用的第一开关配置，而第二价值函数被用于优化当传感器元件阵列运行在接收模式时所使用的

第二开关配置。

26、根据权利要求 24 所述的方法，其中，第一价值函数被用于优化当传感器元件阵列根据第一组系统参数运行时所使用的第一开关配置，而第二价值函数被用于优化当传感器元件阵列根据第二组系统参数运行时所使用的第二开关配置。

27、根据权利要求 16 所述的方法，其中，无论何时传感器元件阵列的配置改变，都执行所述方法。

28、根据权利要求 16 所述的方法，其中，无论何时检测到传感器元件阵列的操作环境中的预定温度变化，都执行所述方法。

29、根据权利要求 16 所述的方法，其中，传感器元件阵列被耦合到成像系统，并且无论何时成像系统被接通，都执行所述方法。

30、根据权利要求 16 所述的方法，其中，传感器元件阵列被并入探针中，该探针可被耦合到成像系统，并且表示导致价值函数值被最小化的所述修改过的开关配置的数据被存储在探针中的存储器中。

31、根据权利要求 16 所述的方法，其中，传感器元件阵列被并入探针中，该探针可被耦合到成像系统，并且表示导致价值函数值被最小化的所述修改过的开关配置的数据被存储成像系统中的存储器中，并且该数据稍后被下载到探针中的本地存储器。

32、根据权利要求 16 所述的方法，其中，表示导致价值函数值被最小化的所述修改过的开关配置的数据在扫描期间从探针中的本地存储器中读出。

33、根据权利要求 16 所述的方法，其中，每个传感器元件是相应的超声换能器元件，并且在接收模式期间为在多个聚焦区处的重新配置而针对多个孔配置中的每一个执行所述方法。

34、一种用于操作具有超声换能器元件阵列的超声成像系统的方法，所述超声换能器元件通过控制开关网络的相应状态可被重新配置，所述方法包括下列步骤：

(a) 优化用于超声成像系统的第一运行状态下的第一开关配置；以及

(b) 优化用于超声成像系统的第二运行状态下的第二开关配置，其中，所述优化步骤包括使用迭代算法最小化价值函数。

35、根据权利要求 34 所述的方法，其中，所述超声换能器元件阵

列在所述第一运行状态下具有第一孔配置而在所述第二运行状态下具有不同于所述第一孔配置的第二孔配置。

36、根据权利要求 34 所述的方法，其中，所述超声换能器元件阵列在所述第一运行状态下以发射模式运行，并且在所述第二运行状态下以接收模式运行。

37、根据权利要求 34 所述的方法，其中，所使用的价值函数是开关距离大于预定阈值的传感器元件的数目。

38、一种用于操作具有超声换能器元件阵列的超声成像系统的方法，所述超声换能器元件通过控制开关网络的相应状态可被重新配置，所述方法包括下列步骤：

(a) 通过使用第一迭代算法最小化第一价值函数，优化用于超声成像系统的第一运行状态下的第一开关配置；以及

(b) 通过使用第二迭代算法最小化第二价值函数，优化用于超声成像系统的第二运行状态下的第二开关配置，所述第二价值函数不同于所述第一价值函数。

39、根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述模型假设子元件经由完整的多路复用器被连接到系统通道。

40、根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述模型假设子元件经由稀疏的多路复用器被连接到系统通道。

41、一种用于操作具有超声换能器元件阵列的超声成像系统的方法，所述超声换能器元件通过控制开关网络的相应状态可被重新配置，所述方法包括下列步骤：

(a) 优化第一开关配置，该第一开关配置建立了包括第一组选定超声换能器元件的第一孔；以及

(b) 优化第二开关配置，该第二开关配置建立了包括第二组选定超声换能器元件的第二孔，其中，所述第二孔穴的波束中心由小部分超声换能器元件相对于所述第一孔的波束中心形成梯状。

可重新配置的传感器元件阵列
的最优开关配置

关于美国联邦政府资助的研究和开发的声明

根据美国军方给予的美国政府合同号 DAMD17-02-1-0181，美国政府可能具有本发明的某些权利。

相关专利申请

本申请是序列号为 No. 10/383,990 的美国专利申请的部分继续申请并且要求享有该申请的优先权，该美国专利申请于 2003 年 3 月 6 日提交并且题目为 “Mosaic Arrays Using Micromachined Ultrasound Transducers (使用微机械加工的超声换能器的镶嵌阵列)”。

背景技术

本发明通常涉及可重新配置的（例如，光学、热、压力和超声）传感器阵列。特别地，本发明涉及可重新配置的微机械加工的超声换能器 (MUT) 阵列。MUT 的一种特定应用是在医学诊断超声成像系统中。另一个特定实例是用于诸如铸件、锻件或管道的材料的非毁坏性评估 (NDE)。

常规超声成像系统包括超声换能器阵列，所述超声换能器被用于发射超声波束并且然后接收来自正被研究的对象的反射波束。这种扫描包括一系列测量，其中发射被聚焦的超声波，在短时间间隔之后，该系统切换到接收模式，并且接收、波束形成和处理经反射的超声波用于显示。通常，在每次测量期间，在相同方向上聚焦发射和接收，以从沿着声束或扫描线的一系列点中捕获数据。随着接收到经反射的超声波，接收器沿着扫描线连续地重新聚焦。

对于超声成像，该阵列通常具有被布置成一行或多行并且在发射中用独立电压驱动的多个换能器。通过选择所施加的电压的时延（或相位）和幅度，可以控制各个换能器，以产生超声波，这些超声波组合来形成净超声波 (net ultrasonic wave)，该净超声波沿着优选的矢量方向传播并且沿着波束被聚焦在选定区域中。

当使用换能器探针来在接收模式下接收经反射的声音时，同样的原理适用。在接收换能器处产生的电压求和，以便净信号指示从对象中的单个聚焦区所反射的超声。如同使用发射模式那样，通过将各自的时延（和/或相移）和增益赋予来自每个接收换能器的信号，实现超声能量的该聚焦接收。随着返回信号的深度的增加调整时延，从而提供接收上的动态聚焦。

所形成的图像的质量或分辨率部分地是换能器数目的函数，所述换能器分别构成换能器阵列的发射孔和接收孔。因此，为了获得高图像质量，对于二维和三维成像应用所需的是大量的换能器。超声换能器通常位于手持换能器探针中，该手持换能器探针通过软电缆被连接到电子单元，所述电子单元处理换能器信号并且产生超声图像。该换能器探针既可以承载超声发射电路又可以承载超声接收电路。

可重新配置的超声阵列是允许将成组子元件动态连接在一起以便可以使得最终的元件的形状匹配波前的形状的超声阵列。这可以导致提高性能和/或减少通道计数。使用开关网络能实现可重构性。

即使有也没多少工作已经加入用于提高波束形成所需的开关网络的性能的算法。然而，切换或多路复用已经被用于更受限的可重构性的多种情况。这样的实例包括：具有合成孔以增加孔尺寸的多路复用、多行阵列和用于在线性阵列中扫描的多路复用。在所有这些情况下，可重构性极端受限，并且避免了用于优化开关网络的需求。

最近，半导体工艺已经被用于制造已知为微机械加工的超声换能器（MUT）的类型的超声换能器，该超声换能器可以是电容性（MUT）或压电（pMUT）种类的。MUT 是具有电极的微小的隔膜状装置，所述电极将接收到的超声信号的声音振动转换成调制过的电容。对于发射，电容性电荷被调制来振动该装置的隔膜，并且由此发射声波。MUT 的一个优点是，它们可以使用诸如被归类在标题为“微机械加工”之下的微制造工艺的半导体制造工艺制成。由这种微机械加工工艺得到的系统通常被称为“微机械加工的电机系统（MEMS）。

cMUT 通常是六边形结构，cMUT 具有跨越其伸展的膜。由所施加的偏压将该膜保持靠近基底表面。通过对已经偏置的 cMUT 施加振荡信号，可以使膜振动，由此允许该膜辐射声能。同样地，当声波入射在膜上时，最后得到的振动可被检测 cMUT 上的电压变化。cMUT 单元是

被用来描述这些六边形“鼓”结构中的单个的术语。cMUT 单元可以是非常小的结构。通常的单元尺寸从六边形的平边缘到平边缘为 25 - 50 微米。单元的尺寸以多种方式通过所设计的声学响应来指示。可能不能创建较大的单元，这些较大的单元在频率响应和所需的敏感度方面仍然良好执行。

不幸的是，难以生产允许单独控制这种小单元的电子装置。虽然总体上在阵列的声学性能方面，小单元尺寸是极好的并且导致大柔韧性，但是控制被限于较大的结构。将多个单元聚合在一起并且将它们电连接起来允许创建较大的子元件，该较大的子元件可以在维持所需声学响应的同时具有单独的控制。因此，子元件是不能重新配置的电连接的单元组。出于公开的目的，子元件是最小独立控制的声学单元。通过使用开关网络将子元件连接在一起可以形成环或者元件。通过改变开关网络的状态，可以重新配置这些元件。然而，子元件包括已连接的单元，这些单元不可变换地可被断开并且因而不能被重新配置。如果阵列由 PZT 或一些其它更普遍或未来的换能器技术制成时，所有下列分析同样有效。

使用基于硅的超声换能器子元件的可重构性被描述在序列号为 No. 10/383,990 的美国专利申请中。可重构性的一种形式是镶嵌环形阵列，这同样被描述在该专利申请中。该镶嵌环形阵列概念包括通过使用可重新配置的电子开关网络将子元件聚合在一起而建立环形元件。目标是，减少波束形成通道的数目，同时维持图像质量并且提高切片厚度。为了减少系统通道，镶嵌环形阵列利用以下事实，即对于未被操纵的波束，底层二维换能器阵列的表面上的延迟轮廓是圆形的。换句话说，该等延迟曲线 (iso-delay curves) 是围绕波束中心的环形。延迟的圆对称导致具有公共延迟的那些子元件的显式聚合 (obvious grouping) 并且导致环形阵列概念。该可重构性可被用于沿着较大的底层二维换能器阵列使波束成梯状，以便形成扫描或图像。该可重构性可能也被用于通过将更多的通道分配给近场中的较小有源孔 (active aperture) 来提高多个发射应用的性能。存在许多其它其中可以证明可重构性是有用的应用。

可重新配置的超声阵列要求复杂的开关网络，该开关网络可能难于或者不能利用目前可得到的电子装置实现。需要一种简化的开关网

络，该开关网络通过仔细选择开关配置来维持最优性能。

发明内容

本发明涉及可重新配置的传感器阵列和用于优化这种阵列的开关配置（即，最大化这种阵列的性能）的方法。这些传感器可以是光学的、热的或压力传感器或者超声换能器。在此公开的实施例使用电容性微机械加工的超声换能器（cMUT）的二维阵列作为底层栅格，由该底层栅格构建较大的元件。然而，本发明不限于 cMUT 结构，并且同样地可应用于其它常规或未来的换能器技术。

本发明的一个方面是一种用于实现最小化在控制可重新配置的传感器元件阵列期间由开关网络引入的误差的开关配置的方法，该方法包括下列步骤：(a)产生初始开关配置；和(b)执行迭代算法，该迭代算法包括下列步骤：(i)将开关配置输入到系统模型中，该系统模型计算系统的响应；考虑所有开关网络误差，开始时输入该初始开关配置并且其后接连地输入相继导出的修改过的开关配置；(ii)使用具有所输入的开关配置的模型产生图像或辐射图案；(iii)至少部分基于表示所产生的图案的数据，计算价值函数(cost function)值；(iv)确定所计算的值是否基本上表示价值函数的最小值；以及(v)如果所计算的值不是价值函数的最小值，则根据值计算结果修改当前开关配置，以得出修改过的开关配置，针对每个开关配置重复步骤(i)到(v)；以及(c)如果所计算的值是价值函数的最小值，则利用导致价值函数值被最小化的修改过的开关配置来配置开关网络。

本发明的另一方面是一种用于实现最小化在控制可重新配置的传感器元件阵列期间由开关网络引入的误差的开关配置的方法，该方法包括下列步骤：(a)产生初始开关配置；和(b)执行迭代算法，该迭代算法包括下列步骤：(i)将开关配置输入到系统中，开始时输入初始开关配置并且其后接连地输入相继导出的修改过的开关配置；(ii)确定具有所输入的开关配置的系统性能；(iii)至少部分基于表示该系统的所确定的性能的数据，计算价值函数值；(iv)确定所计算的值是否基本上表示价值函数的最小值；以及(v)如果所计算的值不是价值函数的最小值，则根据值计算的结果修改当前开关配置，以得出修改过的开关配置，针对每个开关配置重复步骤(i)到(v)；

以及 (c) 如果所计算的值是价值函数的最小值，则利用导致价值函数值被最小化的修改过的开关配置来配置开关网络。

本发明的又一方面是用于操作具有超声换能器元件阵列的超声成像系统的方法，所述超声换能器元件通过控制开关网络的相应状态可重新配置，该方法包括下列步骤：(a) 优化在超声成像系统的第一操作状态下使用的第一开关配置；以及 (b) 优化在超声成像系统的第二操作状态下使用的第二开关配置，其中优化步骤包括使用迭代算法最小化价值函数。

本发明的又一方面是用于操作具有超声换能器元件阵列的超声成像系统的方法，所述超声换能器元件通过控制开关网络的相应状态可重新配置，该方法包括下列步骤：(a) 通过使用第一迭代算法来最小化第一价值函数，优化在超声成像系统的第一操作状态下使用的第一开关配置；以及 (b) 通过使用第二迭代算法来最小化第二价值函数，优化在超声成像系统的第二操作状态下使用的第二开关配置，所述第二价值函数不同于所述第一价值函数。

本发明的再一方面是用于操作具有超声换能器元件阵列的超声成像系统的方法，所述超声换能器元件通过控制开关网络的相应状态可重新配置，该方法包括下列步骤：(a) 优化第一开关配置，该第一开关配置建立了包括第一组选定超声换能器元件的第一孔；以及 (b) 优化第二开关配置，该第二开关配置建立了包括第二组选定超声换能器元件的第二孔，其中第二孔的波束中心由小部分超声换能器元件相对于第一孔的孔束中心而成梯状。

如下公开和要求保护本发明的其它方面。

附图说明

图 1 是示出典型的 cMUT 单元的横截面视图的图。

图 2 是示出由七个六边形 MUT 单元形成的“雏菊”子元件的图，所述七个六边形 MUT 单元的顶部和底部电极分别被连接在一起，而没有插入开关。该图取自序列号为 No. 10/383, 990 的美国专利申请。

图 3 是示出如在序列号为 No. 10/383, 990 的美国专利申请中所公开的包括四个环形元件的镶嵌阵列的部分的图，每个元件包括被配置来每个元件具有近似相等面积的“雏菊”子元件的镶嵌布置。

图 4 是示出共合的 cMUT 和专用集成电路 (ASIC) 阵列的横截面视图的图。

图 5 是示出被连接到 ASIC 开关矩阵的 cMUT 晶片的横截面视图。

图 6 是示出在相关单位开关单元 (unit switch cell) 的六边形阵列的顶上的 cMUT 子元件的六边形阵列的顶视图的图。

图 7 是示出在相关单位开关单元的矩形阵列的顶上的 cMUT 子元件的六边形阵列的顶视图的图。

图 8 是示出环形换能器元件跨越阵列平移的图。

图 9 是示出其中所有系统通道分布遍布阵列从而每个换能器子元件有到每条系统通道的入口的结构的图。

图 10 是示出其中通过每行子元件具有一条总线线路来限制每个子元件中的开关数目的图，该总线线路经由多路复用器被连接到系统通道。

图 11 是示出每行子元件具有多条总线线路的结构的图，从而使得能聚合相同行内的不同系统通道上的子元件。

图 12 是示出根据本发明的一个实施例的结构的图，该结构允许将第一行中的子元件通过经由第一行中的子元件的矩阵开关连接到第二行中的相邻子元件的进入开关而连接到第二行子元件的总线线路。

图 13 是示出了根据本发明的另一实施例的结构的图，该结构允许 cMUT 阵列的特定行中的特定子元件被连接到多条系统通道总线线路中的任意一条。

图 14 是示出子元件的六边形阵列的图，其中总线线路经由进入开关（由实点指示）被连接到相应的子元件列。

图 15 是示出子元件的六边形阵列的图，其中一些子元件经由相应的进入开关（由实点指示）被连接到垂直的和水平的总线线路。

图 16 是示出子元件的六边形阵列的图，其中总线线路沿着六边形阵列的自然轴对角地布置。进入开关由实点指示。

图 17 是示出到与根据图 13 中所述的实施例的特定声学子元件相关联的电子装置中的公共连接点的连接的图。

图 18 是示出了进入开关和用于控制进入开关状态的电路的图，如先前在序列号为 No. 10/248,968 的美国专利申请中所公开的那样。

图 19 是示出了与环（其部分由虚线弧指示）一同使用的进入开关

和矩阵开关的布置的图，其中单个子元件宽度紧密地捆绑在一起。进入开关由实点指示；矩阵开关由虚线指示。

图 20 是表示分布式 RC 延迟线的电路图。

图 21 是 20 个分支的 (20-tap) RC 延迟线的所测量的延迟数据的曲线图。

图 22 是示出由矩阵开关串联连接的一行子元件的图，其中该行一端的子元件通过进入开关被连接到总线线路。

图 23 是示出一行子元件的图，其中该行两端的子元件通过相应的进入开关被连接到总线线路，并且剩下的子元件经由矩阵开关被连接到一个或另一个进入开关。

图 24 是示出一行子元件的图，其中该行两端的子元件和该行中间附近的一个子元件通过相应的进入开关被连接到总线线路，并且剩余的子元件经由矩阵开关被连接到相应的进入开关。

图 25 是示出围绕子元件的环形圈的延迟随着距单独的进入开关的距离的增加而增加的图。

图 26 是示出围绕子元件的环形圈的延迟随着距被置于每个四分之一圆中的相应进入开关的距离的增加而增加的图。

图 27 是示出子元件的环形圈中的延迟随着距进入开关的距离的增加而增加的图。环形圈具有大于一个子元件的宽度。

图 28 是示出其中跨越环形圈的宽度使用多个进入开关的情况的图。实点表示声学子元件；圆表示根据一种设计的进入开关的布局；而正方形示出了根据另一种设计的进入开关的布局。

现在将参考附图，其中不同附图中的相同元件具有相同的参考编号。

具体实施方式

本发明涉及可重新配置的开关矩阵和用于为这种矩阵及其相关的传感器元件阵列优化开关配置的方法。出于说明的目的，将参考电容性微机械加工的超声换能器 (cMUT) 描述可重新配置的阵列和该优化方法。然而，应当理解，在此所公开的本发明的各方面在其应用中不限于使用 cMUT 的探针，而是还可被用于使用 pMUT 或者甚至切割好的压电陶瓷 (piezoceramic) 阵列的探针，其中每个切割好的子元件通

过互连装置被连接到底层切换层。本发明的相同方面还具有在可重新配置的光学、热或压力传感器阵列中的应用。

参考图 1，以横截面示出了典型的 cMUT 换能器单元 2。这种 cMUT 换能器单元的阵列通常在基底 4 上制造，该基底 4 诸如是重掺杂的硅（因此是半导电的）晶片。对于每个 cMUT 换能器单元，可以由氮化硅制成的薄膜或隔膜 8 悬浮在基底 4 之上。膜 8 在其周边由绝缘支架 6 支撑，所述绝缘支架 6 可以由二氧化硅或氮化硅制成。膜 8 与基底 4 之间的空腔可以填充空气或气体或者全部或部分抽空。通常，如完全如工艺所允许的那样抽空 cMUT。诸如铝合金或其它合适的导电材料的导电材料薄膜或层在膜 8 上形成电极 12，而由导电材料制成的另一薄膜或层在基底 4 上形成电极 10。可替换地，可以通过适当对半导体的基底 4 进行掺杂而形成底部电极。

由空腔 14 隔离的两个电极 10 和 12 形成电容。当碰撞声学信号致使膜 8 振动时，电容的变化可以使用相关电子装置（图 1 中未示出）检测到，由此将声学信号转换成电信号。相反地，施加到电极之一的交流信号将调制电极上的电荷，这依次导致电极之间的电容式力的调制，后者导致隔膜移动并由此发射声学信号。

各个单元可以具有圆形、矩形、六边形或者其它外围形状。六边形提供了换能器子元件的 cMUT 单元的紧密包装。CMUT 单元可以具有不同的尺寸，使得换能器子元件将具有不同单元尺寸的复合特性，从而赋予换能器宽带特征。

不幸地，生产将允许单独控制这种小单元的电子装置是困难的。虽然总体上在阵列的声学性能方面，小单元尺寸是极好的并且导致大柔韧性，但是控制被限于较大的结构。将多个单元聚合在一起并且将它们电连接起来允许创建较大的子元件，该较大的子元件可以在维持所需声学响应的同时具有单独控制。通过使用开关网络将子元件连接在一起，可以形成环或元件。通过改变开关网络的状态能重新配置这些元件。然而，单独的子元件不能被重新配置来形成不同的子元件。

在微机械加工工艺中，MUT 单元可以被连接在一起（即，没有插入开关）来形成子元件。在下面将使用术语“声学子元件”来描述这样一族。这些声学子元件将通过微电子开关互相连接，以通过将这种开关放置在硅层或放置在直接邻接换能器阵列的不同基底上而形成较大

的元件。

如在此所用的那样，术语“声学子元件”是单个单元或者不可重新配置的一组电连接单元，即子元件是最小独立控制的声学单元。术语“子元件”指的是声学子元件及其相关联的集成电子装置。通过使用开关网络将子元件连接在一起而形成“元件”。通过改变开关网络的状态，可以重新配置该元件。被包括在开关网络中的至少一些开关是“相关联的集成电子装置”的部分，如在下面更详细解释的那样。

出于说明的目的，图 2 示出了由七个六边形 cMUT 单元 2 组成的“雏菊”换能器子元件 16：由六个单元的环围绕中央单元，环中的每个单元邻接中央单元的相应侧和环中的邻接单元。每个 cMUT 单元 2 的顶部电极 12 通过连接被电耦合在一起，所述连接不可变换地可被断开。在六边形阵列的情况下，六个导体从顶部电极 12 向外辐射并且分别被连接到相邻 cMUT 单元的顶部电极（除了在外围上的单元的情况下，这些单元连接到三个而不是六个其它单元）。相似地，每个单元 2 的底部电极 10 通过连接电耦合在一起，所述连接不可切换地可被断开，从而形成大七倍的电容性换能器子元件 16。

图 2 中所见类型的子元件可被布置来在半导电的（例如，硅）基底上形成二维阵列。这些子元件可以使用开关网络来重新配置，以形成元件，诸如形成环形圈。使用基于硅的超声换能器子元件的可重构性已被描述在序列号为 No. 10/383,990 的美国专利申请中。可重构性的一种形式是镶嵌环形阵列，其同样被描述在该专利申请中。该镶嵌环形阵列概念包括通过使用可重新配置的电子开关网络将子元件聚合成一起而建立环形元件。目标是，减少波束形成通道的数目，同时维持图像质量并且提高切片厚度。为了减少系统通道，镶嵌环形阵列利用以下事实，即对于未被操纵的波束，底层二维换能器阵列的表面上的延迟轮廓是圆形的。换句话说，该等延迟曲线是围绕波束中心的圆。延迟的圆对称导致具有公共延迟的那些子元件的显式聚合。该可重构性可被用于沿着较大的底层二维换能器阵列使波束成梯状，以便形成扫描或图像。

存在许多方式，其中使用 MUT 单元和声学子元件可以形成换能器阵列。图 3 示出了镶嵌声学子元件来形成镶嵌阵列的一个实例。在图 3 中所示的实施例中，四个近似环形的元件（分别由编号 18A-D 指示）

被配置来使得每个元件具有近似相等的面积，每个近似环形的元件包括“雏菊”声学子元件（每个子元件中将七个 MUT 单元连接在一起）的镶嵌布置。每种情况下的镶嵌可以由多个子元件类型组成。阵列图案不必是镶嵌，但是可具有无声学子元件的面积。例如，存在多条通路将声学子元件或单元的顶部电极连接带到阵列之下。

本发明的配置可被改变来优化诸如波束宽度、旁瓣电平或者聚焦深度的各种声学参数。可替换地，声学子元件可被聚合来形成用于发射操作的一个孔并且立即切换到用于接收部分的另一孔。虽然图 3 示出了近似环形元件的相应部分，但是也可以实现其它配置，例如，非连续环、八边环（octal ring）或弧形。图案的选择将取决于应用需求。

大多数孔将包括邻近的成组的子元件，这些子元件互相连接来形成单个较大元件，诸如形成图 3 中所示的环形元件。在这种情况下，不必将每个子元件直接连接到其相应的总线线路。在给定组内连接有限数目的子元件并且使剩余的子元件互相连接是足够的。这样，发射信号从系统沿着总线线路传播并且沿着有限数目的入口点传播到该元件中。从那里，信号在元件内通过本地连接传播。

给定特定的几何形状，可重新配置的阵列将声学子元件映射到系统通道。设计该映射来提供改进的性能。该映射通过开关网络来完成，该开关网络理想地直接被放置在基底中，在该基底上构建 cMUT 单元，但是也可以在不同基底中构建，这些基底邻近换能器基底集成。由于 cMUT 阵列直接被构建在硅基底的顶部，所以切换电子装置可被并入该基底中。针对 PZT 或更常规的实现方案，该开关网络将易于制造在独立的硅基底中并且附着到 PZT 阵列。

图 4 中示出了共合的 cMUT 和 ASIC 阵列的横截面视图，以图解说明如何形成从 ASIC 到 cMUT 的连接。如所示的那样，单条通路 56 被用来将每个 cMUT 子元件 32 连接到其对应 CMOS 子元件（或“单元”）50。将信号电极连接到在开关 ASIC 上所形成的相应导电垫 66 的通路 56 可被嵌入声学垫层 62 中。

还可能在独立晶片上构建 cMUT 并且将这些 cMUT 分开连接到 ASIC 开关矩阵，如图 5 中所示。此处例如，焊料块 64 和导电垫 66 被用于将各个 cMUT 子元件 32 连接到其开关电子装置对应物 50。也可以使用

诸如各向异性导电膜 (ACF) 或柔性互连的其它封装技术。

为了优化包装密度，将 cMUT 子元件 32 和相关电子装置平铺在六边形栅格上是有利的，如图 6 中所示，图 6 示出了 ASIC 开关矩阵的顶视图。在此，CMOS 单位开关单元 50 成列布置，其中每隔一列偏置半个单元高度。随着适当选择单元尺寸，将产生垫 66 的完美六边形阵列，如图所示的那样。然后，通路 56 (也被布置成六边形阵列) 连接到相应垫 (图 4 中未示出)，这些垫形成到上述换能器层的连接的基础，该换能器层包括子元件的六边形阵列。在图 7 中示出了一种更直接的 ASIC 实现方案。在此，CMOS 单位开关单元 50 被布置成水平行和垂直列，以形成矩形栅格，同时其上的六边形子元件 32 形成六边形栅格。如图 7 中所示，布置成行和列以形成矩形阵列的单位开关单元垫 66 仍然正确地排列，以产生连接，使得单位开关单元 50 电连接到相应六边形子元件 32。在任一情况下，子元件的六边形栅格图案使得能够实现如图 3 中所示的镶嵌环形阵列波束图案。

在典型操作中，以类似于图 3 中所示的初始孔图案来设计可重新配置的阵列。该图案允许波束形成器在阵列前面创建波束。在成像期间，跨越阵列 60 扫描孔，如图 8 中所示，其中环从 $t = 1$ 处的环 1 移动到 $t = 2$ 处的环 2，并且最终到 $t = N$ 处的环 N，其中 t 是时间，而 N 是大于 2 的正整数。这样，在阵列前面的空间中扫过波束，并且波束形成的回波被用来建立连续的图像线。可重新配置阵列的目的是能够针对任意复合阵列图案以电子方式实现图 8 中所示的成像操作。以前的超声扫描仪能够实现电子扫描，但是这些超声扫描仪由于缺乏垂直方向上的和固定的几何形状的传感器子元件的精细分布而被限于孔的复杂度。

如图 8 中所示的完全可重新配置的阵列表示实施方案中的多个显著挑战。传感器阵列被再分成数万个子元件。波束图案通过将它们的连接中的子元件聚合到有限数目的系统发射/接收和波束形成通道来建立。当被用来实现镶嵌环形阵列概念时，可重新配置的阵列将形成多个环，这些环以电子方式跨越阵列平移。在平移的每个新步骤中，整个环图案被重新设计成该阵列，以创建新配置。还能够提供更新发射与接收之间的环图案以及在接收期间以多个间隔更新环图案的能力，从而减少如所形成的那样的波束的失真，由此提高图像质量。

在典型系统中，使用 128 条或更多的波束形成通道。目前的超声系统使用多路复用结构，这些多路复用结构能将 128 条系统通道布线到固定数目的换能器元件。使用这些多路复用器网络的明智设计，能利用有限量电子装置创建标准扫描图案。然而在大多数情况下，扫描图案是固定的并且由于网络的限制不可重新配置。完全可重新配置的阵列并不遭受这些限制；然而，需要非常密集的开关矩阵来实现这种情况。

如图 8 中所示，可重新配置的阵列的基本特性要求任何子元件可以任意地被连接到任何系统通道。例如，正如孔从第一位置被扫描到下一位置那样，子元件 S2 首先必须是内环（未示出）的部分并且然后必须是环 2 的部分。这意味着，必须在短时期内从连接到第一系统通道切换到连接到不同的系统通道。这在扫描操作期间对于阵列中大量子元件通常是成立的。

实现该要求的最简单方式是将所有系统通道分布遍布阵列，以致每个子元件有到每条系统通道的入口。该结构在图 9 中示出。此处为了说明仅示出了五条系统通道。每条系统通道利用本地开关通过每个子元件传送，所述本地开关被用于选择，哪个子元件选择哪条系统通道。

在其中矩阵电子装置直接位于换能器阵列之后的系统中，每个子元件的开关电子装置的空间被减少到子元件的尺寸。在典型的超声系统中，该尺寸是数百微米的数量级，但是可以比这更小。由于开关的尺寸与其导通电阻相反地变化，所以所面对的是一种折衷：具有较高导通电阻的较多开关或者具有较低导通电阻的较少开关。然而即时采取极端情况，其中开关尽可能小，很快变得明显的是，采用本半导体工艺，多于 16 个开关不能容易地装配在所分配的空间中。由于对于实际阵列，图 9 的十分流行的结构 (*fully populated architecture*) 将仍然包括更多开关，这似乎利用目前的现有技术是难处理的。

虽然未来的工艺可能使得在相同空间中集成更多开关相当容易，但是由于涉及成像器的波长，该波长对于改进的图像质量必须缩短，所以超声的进步将倾向于减小所分配的单元尺寸。另外，诸如数字控制和发射/接收电路的更多部件将移入该相同的有限区域中。因此，十分流行的结构虽然其简易性具有吸引力却并非直接可维持或可实行。

对以上描述的互相连接问题的较好的解决方法是限制每个子元件中的开关数目，同时提供可重新配置的阵列中所需的柔性。这可以通过使用有限数目的总线线路并使得这些总线线路可重新配置来完成，如图 10 中所示。在此，多路复用器 70 被用于任意地选择系统通道 38 中的任何一条 (CH. 1 到 CH. N)，以被连接到总线线路 74 中的任何一条，其中每行子元件 32 仅由单条总线线路供给。每个子元件的 cMUT 单元 2 (针对每个子元件仅示出一个 cMUT 单元) 依靠相应的进入开关 30 被连接到总线线路。该结构的关键特征是多个开关位于阵列之外并且因此不受到换能器的几何形状的限制。使用该结构通过相继选择哪行子元件被连接到哪条系统通道，可以跨越该阵列扫描一维图案。图 11 中示出了该结构的进一步改进方案。在此，多条总线线路 74、76 沿着每行子元件 32 向下布线。每个子元件 32 的 cMUT 单元 2 可以或者经由进入开关 30' 连接到总线线路 74 或者经由进入开关 30 连接到总线线路 76。由于现在能在相同行内的不同的系统通道上聚合元件，所以该结构提供了水平方向上的柔性。

对上述结构的进一步的改进方案可以通过实现大多数孔将包括互相连接来形成单个较大元件的邻近的成组子元件而作出。在这种情况下，不必将每个子元件直接连接到其相应的总线线路。连接给定组内的有限数目的子元件并且然后将剩余子元件互相连接是足够的。这样，发射信号从系统沿着总线线路传播并且沿着有限数目的入口点传播到元件中。从那里，信号在元件内通过本地连接传播。该结构在图 12 中示出。在此，各个子元件 32 能够通过进入开关 30 连接到与这些子元件 32 的行相关联的总线线路，并且能够通过矩阵开关 36 连接到与相邻行相关联的总线线路，所述矩阵开关 36 将一个子元件连接到相邻子元件。

(图 13 中示出的) 本发明的一个实施例将所有上述改进合并在一起。在此，进入开关 30 被用来将给定子元件 32 连接到总线 34 的一行总线线路。该结构可直接用于镶嵌环形阵列。在这种装置中，使用本结构可以形成多个环，其中使用一个或多个进入开关将每个环连接到单条系统通道，每个进入开关被连接到总线线路，所述总线线路依次被连接到系统通道。

如图 13 所示，进入开关交错排列，以减少给定数目总线线路所需

的数目，如在下面进一步讨论的那样。也可以使用进入开关到总线线路的随机排序（未示出）来减少由于重复图案造成的伪像。每个子元件中的一个以上的进入开关可被用于提高阵列的柔性。在这种结构中，在柔性与每个子元件的进入开关的数目之间作出折衷，其中该数目仍然明显少于总线线路和系统通道的数目。每个元件中还能对每条总线线路使用一个以上的进入开关。由于使用冗余的进入开关将回避不运行的进入开关，所以这会提高该装置的成品率。

如图 13 所示，使用交叉点开关矩阵将该行总线线路连接到系统通道。也可以使用稀疏的交叉点开关，其中会需要较少的多路复用器开关。这种结构在空间的使用中会更有效，但是需要明智地选择开关配置，以确保正确地连接所有总线线路。如图 12 所示，每行可以使用多条总线线路。更多的总线线路以更多的多路复用器开关和阵列内的更多的布线区为代价来提高阵列的柔性。能跳行或者在不同行使用不同数目的总线线路。例如，为了保存区域，可能有利的是在每对相邻的子元件行之间共享一组总线线路。

虽然迄今已经仅讨论了水平总线线路，也能在阵列内既布置垂直走向的总线线路又布置水平走向的总线线路。如图 14 中所示，可以垂直地布置总线线路（参见总线线路 72、74、76）。参考图 15，一组总线线路 82 可以水平地布置而另一组总线线路 84 垂直地布置。在这种情况下，每个子元件或每组子元件将经由一个进入开关可连接到垂直总线线路，并且将进一步经由不同的进入开关被连接到水平总线线路。然而，在以下情况下，其中因为对于总线线路可得到的电子资源 (electronic real estate) 减少并且需要更多的总线线路，所以总线线路在两个方向上走向，但是子元件中仍然仅存在单个进入开关，那么每个子元件的进入开关可以或者被连接到水平总线线路或者被连接到垂直总线线路，而并非同时连接到这两者。最后，总线线路也可以对角布置，如图 16 中所示。这些线路 76、80 分别沿着六边形阵列的自然轴中的两个走向，并且因此简化了子元件的寻址。

进入开关和行总线线路的数目通过尺寸约束条件和应用来确定。出于公开一个示例性非限制实现方案的目的（图 13 中所示），针对每个子元件 32 假设单个进入开关 30，而针对该阵列的每行假设四条行总线线路 34a - 34d。第二类开关是矩阵开关 36，该矩阵开关被用来将一

个子元件的连接点 42 (参见图 17) 连接到相邻子元件的连接点。这允许声学子元件通过与相邻声学子元件相关联的集成电子装置连接到系统通道。这也意味着，声学子元件可被连接到系统通道，即使其并非经由进入开关直接连接。虽然图 13 示出了每个子元件三个矩阵开关，但是也能具有三个以下的矩阵开关以保存区域或者考虑具有较低导通电阻并且因此具有较大区域的开关。另外，矩阵开关可被用于围绕给定阵列的已知的坏子元件布线。最终，虽然示出了六边形子元件，矩形子元件也是可能的。

参考图 17，每个子元件被连接到与声学子元件 32 相关联的电子装置中的公共连接点 42。该公共连接点 42 电连接每个子元件中的八个部分。公共连接点 42 将声学子元件或换能器 32 连接到该子元件的进入开关 30，连接到与该子元件相关联的三个矩阵开关 36 以及经由连接 46 连接到与三个相邻子元件相关联的三个矩阵开关。穿过矩阵开关的信号已经连接到相邻子元件的公共连接点。

图 13 描绘了开关网络可能如何为特定子元件工作。这仅是示例性布置。包括四条行总线线路 34a 到 34d 的总线线路 34 沿着该行子元件 32 向下走向。图 13 仅仅在该行中示出三个子元件，但是应当理解，该行中的其它子元件未示出。总线 34 的该行总线线路借助多路复用开关 40 在一行末端多路传输到系统通道总线 38 的系统通道总线线路，这形成交叉点开关矩阵。如图 13 中可看到的那样，通过接通合适的多路复用开关 40 并且关断将特定行总线线路连接到其它系统通道总线线路的多路复用开关，可以将每行总线线路 34a - 34d 连接到总线 38 的系统通道总线线路中的任意一条。这些多路复用电子装置可以离开该侧并且因而不受到尺寸限制。图 13 示出了十分流行的交叉点开关。然而，在其中并不必需具有允许每条总线线路连接到每条系统通道的开关的情况下，可以使用稀疏交叉点开关，其中仅仅系统通道的小子集可被连接到给定总线线路，在该情况下，将仅存在图 13 中所描绘的一些开关 40。

如此命名进入开关，因为该进入开关为子元件给出了到总线线路的入口。在图 13 中所示的示例性实现方案中，针对每个子元件存在六个其它开关连接。这些连接采取了矩阵开关 36 的形式。矩阵开关允许子元件连接到相邻子元件。虽然针对该六边形图案中的每个子元件存

在到相邻子元件的六个连接，仅有三个开关位于每个子元件中，同时其它三个连接由相邻子元件中的开关控制。因而，在每个子元件中存在总共四个开关和相关数字逻辑。这仅是一个示例性实现方案。总线线路的数目、进入开关的数目以及矩阵开关的数目和拓扑都可以不同，但是一般概念会保留。

虽然进入开关和矩阵开关可以是独立封装的部件，但也能在相同的半导体基底内制造开关，在所述半导体基底上还将制造 MUT 阵列。这些开关可以包括在题为“Integrated High - Voltage Switching Circuit for Ultrasound Transducer Array（用于超声换能器阵列的集成高压开关电路”）的序列号为 No. 10/248,968 的美国专利申请中所公开类型的高压开关电路。每个开关包括两个 DMOS FET，这两个 DMOS FET 背对背地（源节点缩短在一起）连接，以考虑双极性操作。无论何时接通这两个 FET，电流都流过开关接线端。开关的状态受到相应开关控制电路的控制。开关控制电路的状态依次由来自编程电路的输出指示，该编程电路根据使用在此公开的算法导出的最优开关配置来编程开关控制电路。扫描控制器将最优开关配置装载到编程电路中。虽然使用 CMOS 高压开关是一个优选实施例，但是在此描述的本发明可直接用于其它开关技术，诸如用于低压开关、MEMS 开关和开发中的其它未来开关技术。

图 18 示出了经由公共连接点 42 连接到进入开关 30 的声学子元件 32。连接到连接点 42 的六条其它线路未示出。对于该实例，进入开关 30 包括前述成对的背对背 DMOS FET。控制电路 52 根据编程电路 54 所发送的控制信号接通或关断开关 30。当进入开关 30 被接通时，声学子元件 32（即，互连的 cMUT 单元的子阵列）被连接到行总线线路 34a。对于该配置，与每个声学子元件相关联的电子装置将包括一个进入开关、三个矩阵开关、针对这四个开关中的每个开关的相应控制电路、以及将公共连接点连接到三个相邻子元件的矩阵开关的相应导体（未示出）。

从子元件传播到行总线线路的信号是电接收信号。此处，接收信号是当声压波与换能器相互作用时由声学子元件产生的电响应。该发射信号从行总线线路传播到矩阵开关，在该发射信号中由超声系统产生电脉冲。对于给定通道，该电激励脉冲通过系统通道总线线路传播

到行总线线路。该信号通过进入开关从行总线线路传播到声学子元件，并且还通过矩阵开关传播到其它子元件。

安装在声学子元件之后的开关数目是有限的。开关的尺寸确定了开关的导通电阻，并且开关越小，导通电阻越大。切换导致的延迟和失真随着开关导通电阻的增加而增加。这意味着，在声学子元件之后的开关数目与那些开关所引入的延迟之间存在折衷。对该折衷的一种解决方法包括将开关数目减小到小数目，同时保持尽可能多的柔性。通过使用矩阵开关来允许声学子元件附着到穿过其它子元件的系统通道，并且通过将进入开关的数目限制到小数目，实现该减少。

将进入开关连接到系统通道的总线线路还发生在电子层中，因此最小化总线线路的数目也是有利的。可以直接连接到相同行中的声学子元件的独特通道的数目由总线线路数目确定。然而，由于矩阵开关允许一行中的子元件连接到其它行中的子元件，所以一行中的通道的数目由矩阵开关增加。这允许总线线路的数目保持很小，同时仍然维护大量通道。当然，具有更多总线线路增加了柔性但是要求更多空间。

使用矩阵开关意味着可以减少每个子元件之后的进入开关的数目。在极端情况下，针对每个子元件仅存在一个进入开关。然而，如果存在一条以上的总线线路，必须作出关于每个进入开关应被连接到哪条总线线路的决定。一种解决方法是交错排列这些连接，使得总线线路连接来重复一行中的每 N 个子元件，其中 N 是由如下所讨论的最小信号失真的需求所确定的数目。参考图 13，该行中的每个子元件 32 经由相应的进入开关 30 被连接到行总线 34 中的行总线线路之一。每四个子元件重复交错排列的连接的图案。该交错允许具有较少进入开关的较多总线线路，并且与矩阵开关相结合，仍然考虑关于哪条系统通道可被连接到每个子元件的大柔性。当然，每个单元具有一个以上的进入开关增加了连接的柔性，但是要求具有较高导通电阻的较小开关。

一般地，图案在其之后重复的行 N 的数目由矩阵开关的最大数目来确定，这些矩阵开关可以排列在一起，同时仍然维持适当的信号完整性。该数目来自以下理解，即矩阵开关电阻和 cMUT 电容一同形成具有延迟时间常数的 RC 延迟线，该延迟时间常数随着系列分支的数目 N 按指数规律变化。在下面进一步讨论该概念。给定延迟线的约束条件，

在多行总线线路上交错排列进入开关允许可被支撑的元件数目增加。如在图 19 中所示，该设计的最坏情况发生，其中具有单个子元件宽度的环（其部分由虚线弧指示）紧密包装在一起。环的垂直截面提供了最坏的情况，因为该设计中的总线线路 74、76 水平走向。在环的水平截面中，可以在每个子元件处仅使用单个进入开关，因为由于总线线路平行于环走向而这些水平截面全部相同。然而，在垂直截面中，每行子元件 32 与不同的总线线路相关联，该总线线路被连接到不同的系统通道。因此，在该区域中垂直间隔的子元件可以仅使用矩阵开关 36 支撑，由虚线表示。在图 19 中，每行有两条总线线路，并且每四行重复进入开关 30 的图案（由点表示）。在每行处，两个环由两个进入开关支撑，并且它们相关的子元件串与矩阵开关聚合。由于该图案在四行之后重复，所以该特定的结构将最多支撑 $2 \times 4 = 8$ 个环。一般对于每行具有 M 条总线线路并且每串子元件具有 N 个分支的阵列，可以支撑最多为 K 条系统通道，其中 $K = M \times N$ 。当然，环的大部分截面将并不是完美得水平的也不是完美得垂直的。因此，系统设计者的任务是在结构的约束条件下优化孔中所有点处的阵列配置。

给定子元件与系统通道之间的特定所需映射，目标是确定提供或近乎提供该映射的最优开关网络配置。可能不存在精确匹配所需映射的配置。这取决于给定设计的柔性，该柔性受到总线线路数目和进入开关数目的控制。在其中所需映射不能被创建的情况下，必须选择相当准确的近似值。对于可重构性的镶嵌环形版本，更可能的情况是将存在多种配置，这些配置提供所需子元件到通道的映射。对于其中不能精确创建所需映射的情况，也可能存在多种近似配置。在这些情况下，其中多种配置提供了相同的子元件到系统通道的映射，在延迟和幅度性能方面，一种配置可以比另一种配置更理想。此处提出的本发明的一个方面包括使用优化程序，以通过选择具有较好性能的配置来提高成像系统的性能。

系统通道与给定子元件之间的连接可能是复杂的。开关网络配置定义了子元件和系统通道中的复杂的连接网。结果是，不存在从子元件到系统通道的简单连接，而是存在通过形成复杂延迟线结构的一系列开关（进入开关和矩阵开关）的连接。在发射时，连接到相同系统通道的信号应当同步看到相同的发射脉冲。然而，事实上，开关网络

延迟了信号并且改变每个子元件处的脉冲的幅度和形状，这看到系统发射器的不同路径。

延迟线的简单模拟可被用来得到将存在多少延迟和脉冲将如何失真的概念。该换能器阵列及其相关联的开关矩阵能被建模为电阻和电容的分布式网络。信号以延迟时间通过该网络传播，该延迟时间涉及网络的单位电阻和电容。这种网络的简单实例是一维 RC 延迟线，如图 20 中所示。在该网络中，从输入传播的信号引起延迟，该延迟是电阻 R 和电容 C 的函数，如图所示。在网络中的每个节点或分支处，波形不同地成形，因为其已经引起相对于输入信号的不同量的延迟。有限 RC 延迟线中的最坏情况延迟可被示为随着 $RCN^2/2$ 变化，其中 N 是延迟线中的分支的数目。图 21 示出了类似于图 20 中所示的网络的 20 个分支的 RC 延迟线的所测量数据。该曲线图示出了随着分支数目从左向右增加而在延迟线的每个分支处所测量的曲线族。该曲线图清楚地示出了电压波形通过网络传播时的失真。可见最坏情况延迟（被定义为从阶跃输入到输出中点的时间）近似为 $RCN^2/2$ ，该 $RCN^2/2$ 在本实验中为约 25 微秒。因此，设计可重新配置的超声阵列的优秀经验法则是设计换能器电容和开关导通阻抗，以致 $RCN^2/2$ 总是小于最坏情况延迟，该最坏情况延迟在系统中能够被容许。在这种情况下，在任何给定路径中所容许的分支（或开关）的数目 N 受到系统成像需求和网络的 RC 时间常数的限制。

上面讨论的结果论证了，特定子元件处的延迟取决于信号必须通过多少个开关、信号必须行进多少条路径以及多个连接如何分布。根据所使用的特定孔，能期望看到不同的延迟图案。另外，通过模拟和连续近似，可以针对减少的延迟实现进入开关的改进布局。图 22 示出延迟如何随着元件拓扑变化。该实例中的项 86 表示驱动器，同时该图的剩余部分示出了通过相应矩阵开关 36 串联连接（以形成线性元件）的一行子元件 32。该行中的第一子元件被连接到驱动器 86。对于第一级，延迟线中的信号的传播可被认为是来自点热源的热量的扩散。记住该模拟，图 22 示出了随着距加压节点（forcing node）或进入开关 30 的距离增加，延迟和衰减在二维增加。

显然的是，为了减少孔中的每个子元件的信号失真，最好的是尽可能均匀和尽可能密集地分布进入开关。特别地，开关可被配置来确

保在矩阵开关连接的最后的两端处连接有相应不同的进入开关 30，如图 23 所示。利用如图所示的线性元件，尤其是如果所有子元件通过沿着线性元件的矩阵开关被连接在一起从而存在从线性元件的一端到另一端的连续路径，则通过将进入开关 30 放置在该线性元件的两端可以进行显著的改进。通过连接连续连接的线性元件的两端而进行的改进优于通过将相同元件划分为两个较短的元件而进行的改进，这两个较短的元件中的每个具有它们自己的进入开关连接。当进入开关 30 分布在元件内时，发生更多的改进，如图 24 中所示。

在环形阵列的情况下，最简单的结构将如图 25 中所示。在此，单个进入开关 30 被连接到子元件的整个环（各个子元件未示出），每个子元件依次通过矩阵开关（未示出）被连接在一起。虽然由于仅需要一个进入开关而易于实施，但是该结构招致取决于矩阵开关的尺寸的显著延迟。因此，可以将多个进入开关连接到整个环，如图 26 中所示，其中子元件之间的矩阵开关（未示出）具有进入开关 30，以形成环的相应部分。这些进入开关将等距离间隔地分布在环的周围，以减少开关之间的那些子元件的信号延迟。这样，可以使用多个冗余的矩阵开关连接来形成单个环，以便减少串联电阻并且由此减少延迟。如图 27 中所示，如果仅使用单个进入开关，则选择进入开关位于距环的每个边缘等距，以最小化环内的延迟。环的边缘指的是环的内部和外部外围边界附近的子元件。这样，环内的延迟图案被改进。如果跨越环的宽度使用多个进入开关，则应当将这些进入开关置于环的内部和外部外围边界，以通过最小化二维开关距离来改进延迟图案。图 28 示出了这种情况。所围绕的点 30 表示在子元件的每个环的内部和外部外围附近成对布置的进入开关（各个子元件未示出）。利用位于环的边缘处的进入开关 30，从两个方向驱动信号并且减少了总误差。图 28 还示出了方形内部和位于环的中心（即，环的内部和外部外围边界之间的中途）的进入开关 30'。因为进入开关并不从两个边缘驱动环，所以这导致环边缘处的大误差。

虽然本结构的目标是镶嵌环形阵列概念，但是对于本领域技术人员应当清楚的是，可以形成除了环以外的图案，同时仍然选择进入开关布局，以最小化延迟。因此，如在此所描述的本发明可直接用于其它类型的成像，这些类型包括定相控阵、线性和二维阵列。

可以使用本发明的方法来选择开关配置，该开关配置最小化由复杂开关网络引入的误差。目标是以这种方式减小误差，以致最少损害波束形成。存在其中可以实现其的多种方式。下文给出了试图实现该目的的一些更专用的算法的实现方案。这些实现方案不应视为限制本发明，而是作为用于说明这种算法的潜能的实例。

例如，如果可得到系统的完整模型，那么可以使用该模型来确定开关网络的最佳配置。这可以通过经由一些随机或半随机过程产生开关配置而实现。然后将该开关配置输入到该模型。该模型在考虑到所有开关网络误差的情况下计算系统的响应。使用该模型可以产生某些形式的图像或辐射图案，并且然后基于该数据计算某些标准或价值函数。价值函数的结果被用于修改该配置。然后创建了迭代算法，并且模拟退火法或某些其它计算方法被用于解决和最小化价值函数。

所计算的参数取决于根据已经被选定的模型和被选来最小化的专用价值函数。给定特定开关配置和输入激励，全面的模型将能够计算换能器表面的声学输出（根据空间和时间的压力）。这种模型将需要包括开关网络的效果和单独的换能器单元的响应。给定声学输出，存在可被评估的多个价值函数。例如，最终的辐射图案的波束宽度可被最小化，同时最小化图案的旁瓣电平。在这种情况下，模型将需要计算波束宽度和旁瓣电平。

可替换地，如果可得到硬件，则该优化过程可以使用实际硬件来完成。在这种情况下该配置可被产生并且被用于系统控制器。将产生图像或者采取简化数据。再次，价值函数将基于该数据并且被用于修改该配置。然而，在这种情况下，未包括建模。还可以通过使用被设计来匹配开关阵列的探针阵列而测量直接位于底层CMOS电子装置上的电压而评估性能。此处，开关网络能以其来编程的速度和数据将以其被收集和处理的速度限制了可被研究的配置的数目。然而，该数目可能相当大并且这可能是不用形成图像而确定实际响应的好方法。

在某些情况下，包括所有开关拓扑误差的系统声学响应的完整建模是困难和耗费计算的。同样，可能不可得到工作硬件原型（prototype），用于收集关于这些配置的数据。即使可得到硬件，为多种配置收集和处理数据所需的时间将是巨大的。所以，为了确定使用该种类型算法的有效性，可以使用基于对网络如何能够影响声学响

应的直觉和理解的更简单模型，该模型允许非常快速地评估多种配置。例如，已知的是，信号必须通过的开关数目越大，将引起的延迟和失真越大。

结果是，对于第一级，解决和布置开关网络的好方法是连接与子元件之间的距离尽可能小。在此，连接被定义为进入开关，该进入开关被接通并且因而利用该开关将子元件直接连接到特定通道的行总线线路。并且距离指的是开关的数目，信号必须通过其传播，以从声学子元件到行总线线路。另外，所连接的进入开关应当尽可能展开，以便以针对某些子元件需要非常长的行程为代价来避免局部短距离。从而，简化的模型使用矩阵开关的数目作为该配置性能的度量，信号必须穿过这些矩阵开关。虽然这不完全准确，但是该简单的模型已经被表明提高了模拟的开关网络性能。这不管以下事实，即二维现象是用一维度量来建模的。

对于在此所公开的可重构性的特定实现方案，存在由电子装置所施加的限制。存在一组规则，这些规则为系统管理开关配置。除了硬性规则之外，还具有指导原则，诸如减少声学子元件与连接点之间的距离。必须服从这些规则，并且指导原则可被用于提高性能。这些规则如下：

[1] 每行具有“n”条行总线线路。对于在此所公开的实例， $n = 4$ 。这意味着，对于整行，仅存在进入开关能连接到的四条系统通道总线线路。

[2] 该行中的每个子元件连接到 n 条行总线线路中的仅仅一条。这是从以下事实得出的，即子元件中仅有单个进入开关。这也意味着，给定子元件可以仅直接被连接到单条系统通道，其中该通道由系统通道总线线路与行总线线路之间的多路复用器来确定。

[3] 每行总线线路被连接到单条系统通道总线线路。虽然将系统通道总线线路多路连接到行总线线路，但是该连接不能针对给定配置改变。

[4] 行总线线路被连接到给定进入开关的图案在行上重复。对于在此描述的情况，每四个子元件重复该图案。

[5] 对于给定的电路实现方案，被连接到相同行总线线路的进入开关的总数目是小的有限数。在本公开内容中稍后讨论的特定情况下，

该限制是四。这由当前的绘图限制而产生，所述限制由行总线线路的有限尺寸施加。这个限制基于模拟并且能通过增加行总线线路的尺寸来增加，从而使得目前的图更大，但这可能要求更大的子元件。

上面已经讨论了指导原则，但是下文中将更具体地描述它们。根据本发明的一个实施例，目标是最小化开关网络所引入的延迟误差。这可以通过保持从连接点到子元件的距离尽可能小来完成。在本上下文中，连接点是子元件，其中进入开关接通。另外，更好的是平均分布连接点。

确定开关网络配置必需确定哪个进入开关接通并且如何设置行总线线路与系统通道总线线路之间的多路复用器（指的是图 13 中部分示出的多路复用器开关库（bank）40。一旦已知所需图案，则易于确定矩阵开关状态。通过简单确定开关连接到其的相邻子元件是否应当在相同的系统通道上，设置矩阵开关。因此，工作是确定如何将系统通道连接到多路连接的行总线线路。一旦这是已知的，也易于分配进入开关。

确定最优开关配置更加困难。为了开始，开发了分配开关的简单算法途径。该算法被设计有记住某些规则和指导原则，但是决不是最优解决方法，而仅仅是相对基准的解决方法。所找到的解决方法基于特定所需的配置。在一个实例中，所需配置为 20 个环、等宽环形阵列。该算法如下：

在阵列的一个边缘处开始，从行到行跨越阵列工作。对于每行和对于该行上的每条总线线路：

[1] 确定哪个环（即，哪个系统通道）可能用于给定的行总线线路。例如，在阵列顶部附近，可能仅存在外部元件。在该情况下，仅有单个环是可能的。随着向中心移动，存在所有的环，但是对于给定行总线线路，仅有某些环将是可能的。

[2] 对于每个环，如果多路复用器将给定的行总线线路设置到对应于该环的系统通道，则确定，对于给定的行总线线路可以接通多少个进入开关。

[3] 将行总线线路分配到该环，该环会允许接通大多数进入开关。然而，这应当受到下列限制来完成：

[a] 相同的环不能被分配给一行中的一条以上的总线线路；以及

[b]如果已经在过去的四行中被分配，则相同的环不能被分配给该行总线线路。

在某些情况下，不可能的是，符合条件 [b] 并且仍然将环分配给特定行总线线路。例如，如果仅有三个环备选用于被分配到特定行总线线路，但是那三个环已经被分配给在先的三条行总线线路，则将没有环可被分配给该特定行总线线路。在这种情况下并且在其中条件 [b] 阻止了行总线线路被连接到任意环的所有情况下，该限制条件必须去除。对于该算法，该限制能以这种方式被去除，即最少中断算法的意图。因此，如果不能符合条件 [b]，那么从最远行开始逐个去除行限制。因此，如果不能符合条件 [b]，则允许行总线线路分配为相同的行被分配给第四条在前行总线线路。如果这仍然不允许分配，则允许行总线线路分配为与第三条在前行总线线路等等相同，直到能分配该行总线线路。

前述算法可以针对特定所需环几何形状被用于分配多路复用器和进入开关设置。因为试图最大化有源进入开关的数目，所以这帮助减少了连接点与子元件之间的距离。该算法是有用的基准。

给定开关网络配置，确定该配置将在成像情况下多么有效并非微不足道。应当用于确定一种配置是否优于另一种配置的最终黄金标准 (*ultimate gold standard*) 是这种配置产生的图像质量。然而，缺乏工作原型时，这几乎不可能进行。同样，确定图像质量是困难的度量，并且即使具有工作原型，由于这可能需要的时间和工作量，不能被用于筛选出每种可能的配置。给定特定配置，能使用电子装置的完整计算机模型来模拟波束轮廓。然而，该模拟将是非常耗时的，并且应当仅为一些配置保留而并非为大型筛查过程保留。还能使用简化的电气模型仅模拟延迟和幅度变化，并且使用这些作为到更简单的波束形成器模型的输入，但是这又花费多于筛查要求的大量输入所需的时间。一种稍微更快的方法将使用简化的等式，以评估延迟，并且然后使用较简单的波束形成器模型，但是这仍然不是非常快速的模拟，该模拟会允许多种可能配置的重要筛查。

允许非常快速评估多种配置的方法是假设延迟上的主要效果由从子元件到连接点的距离产生。使用查找表可以使得计算从每个子元件到最近连接点的距离非常快速。这允许设计迭代算法，该迭代算法可

以查找大量配置。虽然本发明不限于该实现方案，该评估的速度是允许实际使用优化的重要优点。

开发了迭代算法，该迭代算法导致在用于确定已经描述的开关配置的简单方法之上的延迟误差的大改进。该算法如下工作：

[1]给出初始配置。在一种情况下，使用简单算法的输出。这也可是随机配置。

[2]对于特定几何形状，产生查找表（LUT）。该 LUT 给出了从环中的任意子元件到环中的任意其它子元件的开关中的距离。为了提高 LUT 计算的速度，使用某个最大距离，以致大于最大值的任何距离简单地被标注为大于阈值而不计算。

[3]对于当前配置，该算法执行下列步骤：

[a] 使用 LUT 计算从每个子元件到最近连接点的距离（开关的数目）。

[b] 分类距离并且保持具有 M 个最差（即，最大）距离的子元件。在一种情况下，M = 10，所以保持了十个最差距离。

[c] 随机选择子元件之一，该子元件具有 M 个最差距离中的一个。在该情况下，产生 1 到 10 之间的随机整数来选择子元件。

[d] 针对随机选定的子元件接通进入开关。这将很可能包括断开其它进入开关，并且改变系统通道总线线路与该行子元件上的行总线线路之间的多路复用器。

[e] 针对该新近创建的配置评估全局价值函数。被使用的该特定价值函数是具有大于阈值的开关距离的子元件的数目。基于具有单条开关线路的一些模拟，被使用的阈值为四。

[f] 如果价值函数小于未改变的配置的价值函数，则采取该新配置作为当前最好的配置。

[g] 如果价值函数随着开关的变化更大，那么可以仍然保留其。这是模拟退火类型算法。定义了温度函数并且在多次迭代上缓慢地降低温度。最初地，温度函数高，并且因而尽管有其较大的价值函数而保持配置的可能性更大。随着迭代次数的增加，温度被降低并且保持下等配置的可能性降低。这种类型的算法允许系统跳出局部最小值，并且因而给出机会找到较好（可能并非全局）最小值。

[h] 该过程针对某些预定数目的迭代重复或者直到所有距离都低

于阈值。

模拟退火法是用于当可能设置的彻底搜索不可行时优化参数选择的熟知的计算方法。退火指的是其中金属冷却时结晶的物理过程。该冷却过程的结束状态取决于物件冷却的速度。如果冷却发生得非常缓慢，则该系统能够到达最小能量状态。如果物件冷却得非常快，则仅能达到能量的局部最小值。模拟退火法是一种数学算法，该算法模仿冷却过程。针对正要试图研究的过程定义价值函数并且模拟退火算法尝试最小化该价值函数。在此，价值函数类似于退火的物理过程中的能量。模拟退火算法以特定配置开始。进行对该配置的随机改变（即，对正被优化的参数进行随机改变）。这些改变可能需要遵循一些规律或规则。在配置上进行改变之后，再次评估价值函数。如果价值函数已经下降，则将该配置改变成新配置。如果价值函数更高，那么该配置可以或可以不改变，这取决于一些随机变量的值。随着算法进展，将保持较高价值配置的可能性被减小。但是通过允许发生较高价值配置，该算法可以避免局部最小值并且更接近更绝对的最小值。将保持较高价值配置的可能性最初是高的，并且随着算法进展而减小。该可能性类似于物理退火中的温度。可能性下降的速率确定算法的速度。如果速率高，那么答案快速出现，但是可能不接近真正的最小值。如果速率低，则答案耗时较长但是更可能是最小值。

使用简单算法为镶嵌环形阵列确定开关配置。对于该简单算法，7015个子元件中的172个具有大于四个开关的距离。这意味着，超过97.5%的子元件低于阈值。使用该配置作为迭代算法的输入，确定了新开关配置。在这种情况下，7015个子元件中的仅仅12个具有四个以上的开关以传播到连接点，即大于99.8%的元件低于阈值。并不符合阈值标准的该12个子元件都具有五个开关的距离。这表明通过将并不符合阈值标准的那些子元件从172减少到12而在简单算法上的改进。然而，迭代算法并没有考虑到将该系统限制为每条行总线线路四个有源进入开关的规则。使用附加处理步骤来去除额外开关。这个过程以这样的方式去除它们，即试图最小化平均距离的增加。去除这些额外开关的结果是简单算法上的大改进。在顶部和底部附近去除大多数额外开关，其中连接的密度大并且因此几乎没有损失。

该距离与得自电子装置模拟的实际延迟进行比较。使用迭代算法

已经产生了开关配置，能使用简化的模型和电子模拟元件（诸如HSPICE）模拟延迟。这更正确地反映了延迟问题的二维特性，该二维特性针对计算速度被减少到单个标量。对于相同开关配置使用商业电子模拟包对延迟进行模拟的结果是，实际延迟中的峰值总是发生在距离度量的峰值（这被用于进行优化）。这证明了以下事实，即距离度量是用于优化的良好度量。然而，距离度量中存在某些峰值，这些峰值在延迟中并不具有相应峰值。与距离度量的一维特性相比，这必须与延迟的二维特性有关。

上述开关矩阵的实现是迭代算法的输出。然而，对于不同的运行，结果可以不同，并且这还取决于所使用的温度参数和阈值以及价值函数。还能利用更多优化时间来改进当前设计。还应当注意到，这仅是用于最小化误差的一种示例性算法。还可以使用其它算法来提高性能。

为了形成线性扫描，镶嵌环形阵列的有源孔必须跨越底层二维阵列而成阶梯状。该成梯状要求重新配置开关网络。存在其中实现该成梯状的若干方法。如果如由阵列的分辨率和所探讨（at hand）的应用的需求所确定的所需波束间隔是这样，以致使整个子元件成梯状是可接受的，那么可以对每个波束使用相同的通过算法导出的开关配置。在这种情况下，开关配置针对每个波束在一个或数个子元件上简单地成梯状。为了最小化重新编程和系统用来重新配置的能力，能将开关状态直接从一个子元件转换到相邻子元件并且由此避免在外部重新编程整个阵列。然而，除了平移进入开关和矩阵开关图案以外，将行总线线路连接到系统通道总线线路的多路复用器也必须被改变。当通过在行总线线路方向上的整个子元件使得波束成梯状时，该改变简单的是旋转通道。例如，如果分别由A、B、C和D表示的四条系统通道被连接到特定配置的特定行的四条行总线线路，当扫描开关图案到下一波束位置时，系统通道/行多路复用器的状态必须被调整，使得系统通道在四条行总线线路中旋转，例如将系统通道B、C、D和A分别以该顺序连接到相同的四条行总线线路。可替换地，除了改变系统通道与行总线线路之间的多路连接以外，系统波束形成器可以直接考虑几何形状的改变，并且因此调整四条通道上的延迟，以考虑新延迟。

如上提及的那样，如果环形圈成阶梯状，以致运动是整数倍多个

子元件，那么不需要对每个波束进行重新优化（假设底层开关矩阵具有跨越整个底层二维阵列的均匀电属性）。然而，存在以下情况，其中所需波束密度要求线路比单个子元件更靠近。在这种情况下，波束中心成阶梯状，子元件的一小部分（例如孔）变形，以有效地操纵波束在该孔的整个间距（step）之间的半个间距，由此增加成像器的分辨率。对于这些情况，优化并不简单地平移，并且对于每个部分间距必须运行新的优化。然而，随着环形阵列跨越底层二维阵列成梯状而形成线性扫描，这些部分梯状配置可以重新出现。在这些情况下，无论何处需要相同的部分间距，优化将是相同的并且可被再使用。因此，即使在部分梯状的情况下，将需要少量的优化。在这些情况下，为了节省编程时间和能耗，能为特定配置发射所有波束并且使得该配置以粗略的波束间隔跨越该阵列成梯状。在这种情况下，能将配置从子元件直接传递到相邻子元件。在已经完成粗略扫描之后，可以编程表示来自老配置的部分间距的新配置并且其可以跨越阵列成梯状。这可以针对每个部分间距进行重复。来自每种配置的最终的粗略间隔的波束可以由扫描转换器交织（interleave）来给出所需精细波束间隔。还应当注意到，当混合来自不同配置的波束时，可能必需逐个波束地调整增益，以补偿波束形成增益差别，并且以混合来自那些不同配置的线路。

在上文所公开的数字优化算法改进了可重新配置阵列的波束形成性能。要解决的问题是，在可重新配置的阵列的简化开关网络的情况下，延迟、幅度改变和波形失真都由于简化开关网络而发生。使用数字优化可以帮助最小化误差并且维持适当的波束形成性能。探查这种优化的特定实例，其中定义了简单度量并且被用来表征各种配置的性能。该实例中所使用的简单度量是给定子元件与（即以紧密状态）连接到行总线线路的最近的进入开关之间的开关数目。获得的结果表明，该简单的度量可以提高开关网络的性能，而不顾进行了粗略的近似。该简单的度量还允许探查多种配置，这增加了成功的机会。

在此公开的优化技术为可重新配置阵列提供了具有简化的开关网络的改进的成像性能。延迟误差和失真的减少直接导致改进的波束形成，这包括改进的分辨率和对比度。

可以和完整的或稀疏的多路复用器一起使用优化算法。该算法可

以在存储和稍后使用之前产生其数据，或者由于阵列电阻的变化为了递增改进其而在成像期间局部产生。可以在假设理想阻抗值的设计阶段期间、在使用如所测量的实际阻抗值制造时，或者周期性地在本领域中（例如，每次超声成像机器接通时，或者在使用期间，只要确定需要完成校准或者只要改变阵列配置）作为要被用作系统老化或者要被用来补偿由于温度造成的变化的校准步骤，完成该算法。例如，响应于检测温度中的预定变化，可以自动校准该系统。另外，所制成的 cMUT 电容的变化也将影响阵列性能。通过在已经测量了所制造的阵列中的每个子元件的精确的 cMUT 电容之后重复优化过程，可以考虑这些变化。

对于每个探针，校准数据是唯一的，并且可利用每个探针被存储在 ROM 或 EEPROM 中，或者可被存储在成像系统上作为文件，该文件通过电缆中的数据链路被下载到探针，以被局部存储在探针自身中的 RAM、EEPROM、FRAM 等中。然后，该数据可以在扫描期间从局部（探针）存储器中读出，其中每次新扫描读取新的所需配置数据。可替换地，在系统使用期间可以计算校准数据并且然后将该校准数据下载到探针。

用于将传感器元件连接到总线线路的进入开关和矩阵开关的合并提供了大柔性。根据本发明的各种实施例，可以采用一个或多个下列特征：

- (1) 进入开关可以交错排列来减少给定数目的总线线路所需的进入开关的数目。
- (2) 单个进入开关可被用于交错排列的图案中的子元件。
- (3) 可以使用进入开关到总线线路映射的随机排序来减少由于重复图案造成的伪像。
- (4) 可以在每个子元件中使用一个以上的进入开关，但是仍然少于总线线路和系统通道的数目。
- (5) 使用交叉点开关矩阵可以将总线线路连接到系统通道。
- (6) 可以使用稀疏交叉点开关来将总线线路连接到系统通道。
- (7) 可以配置开关来确保存在连接在矩阵开关连接的最后的两端的相应不同的进入开关，这些进入开关被连接到相同的总线线路，以减少延迟。

(8) 可以采用其中存在一组矩阵开关和有限数目进入开关的开关配置。该矩阵开关动态连接相邻的子元件。进入开关连接到总线线路，所述总线线路多路连接到系统通道。

根据本发明的各种实施例，在系统中可以存在一个或多个下列附加特征：

- (1) 在每个子元件中使用每条总线线路一个进入开关。
- (2) 每行可以使用多条总线线路。

(3) 总线线路可以垂直地和水平地布置在阵列内。根据一个实施例，如果一组总线线路水平布置而另一组垂直布置，则每个子元件或每组子元件将经由一个进入开关可被连接到垂直总线线路，并且将进一步经由不同的进入开关可连接到水平总线线路。然而，在其中总线线路在两个方向上走向的情况下，因为对于总线线路可得到的电子资源正在减少并且需要更多的总线线路，但是在子元件中仍仅存在单个进入开关，那么每个子元件的进入开关可被连接到水平总线线路或垂直总线线路，而非均连接到这两者。当对于给定总线线路可以接通的开关数目受到当前绘图和线路尺寸限制时，这也具有限制。

(4) 可以选择进入开关位于距环（或其它形状）的边缘等距，以最小化环内的延迟。“环的边缘”指的是其中可重构性被用来近似环形阵列的情况。在这种情况下，存在一些所需环形阵列或通过连接子元件想要模仿的环结构。环的边缘指的是试图近似的环边界附近的子元件，即该环的边缘是通过连接子元件形成的较大元件的边缘。应当选择进入开关在元件的两侧上，而不是都位于一侧。该形状不需要是环；而是可以使用其它形状，并且最好在通过连接子元件近似的形状的两个边缘上都具有进入开关。

(5) 在每个子元件中可以使用每条总线线路一个以上的进入开关。这个冗余的连接提高了装置成品率。

(6) 可以提供更新发射与接收之间以及在接收期间以多个间隔更新环图案的能力。

(7) 单个进入开关可被连接到子元件的整个环，每个子元件依次通过矩阵开关连接在一起。

(8) 多个进入开关可被连接到整个环，其中在具有进入开关的子元件之间具有矩阵开关以形成环的相应部分。

(9) 多个进入开关可被连接到整个环，其中开关等间隔地分布在环周围，以针对开关之间的那些子元件减少信号延迟。

(10) 可以形成多个环，其中使用一个或多个进入开关将每个环连接到单条系统通道，每个进入开关被连接到总线线路，该总线线路依次被连接到系统通道。

(11) 可以采用多个冗余矩阵开关连接来形成单个环，以便减少串联电阻并且由此减少延迟。

(12) 可以使用矩阵开关来布线在给定阵列的已知坏子元件周围。

(13) 可以形成除了环以外的图案，同时仍然选择进入开关布局来最小化延迟。

(14) 通过在平移中每个新步骤处重复使用最小值延迟算法，整个环图案可被平移来创建移动波束。

(15) 通过改变元件的形状，元件的中心可以成梯状，其增量少于完整的子元件。

使用 CMOS 或者 BiCMOS 或者 SOI 或者 MEMS 或者至今未经确认的其它开关技术来创建开关电子装置。

虽然已经参考优选实施例描述了本发明，但是本领域技术人员将理解，在不偏离本发明的范围的情况下，可以进行各种改变并且等效物可以取代其元件。此外，可以进行多种修改，以使得特定情况适配本发明的教导，而不偏离其实质范围。因此，意图是，本发明不限于作为被设想用于实现本发明的最佳模式所公开的特定实施例，而是本发明将包括落入随附权利要求范围内的所有实施例。

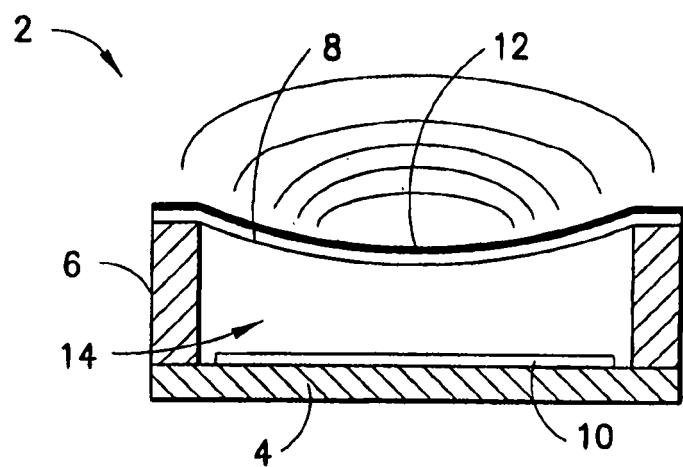


图 1

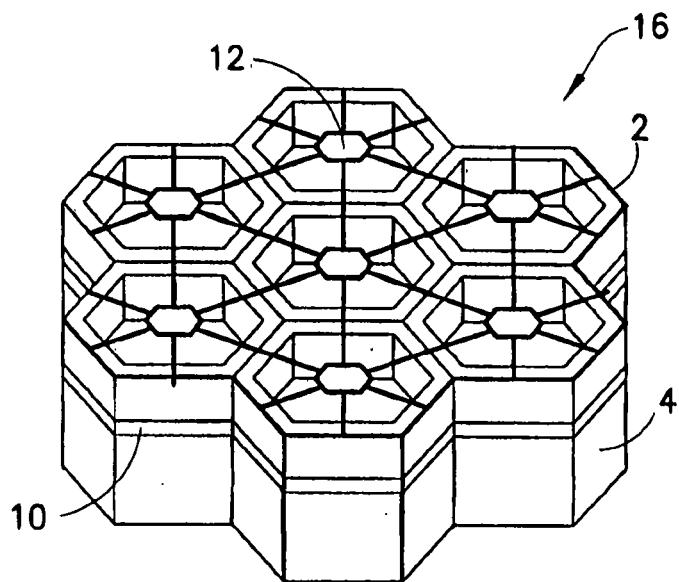


图 2

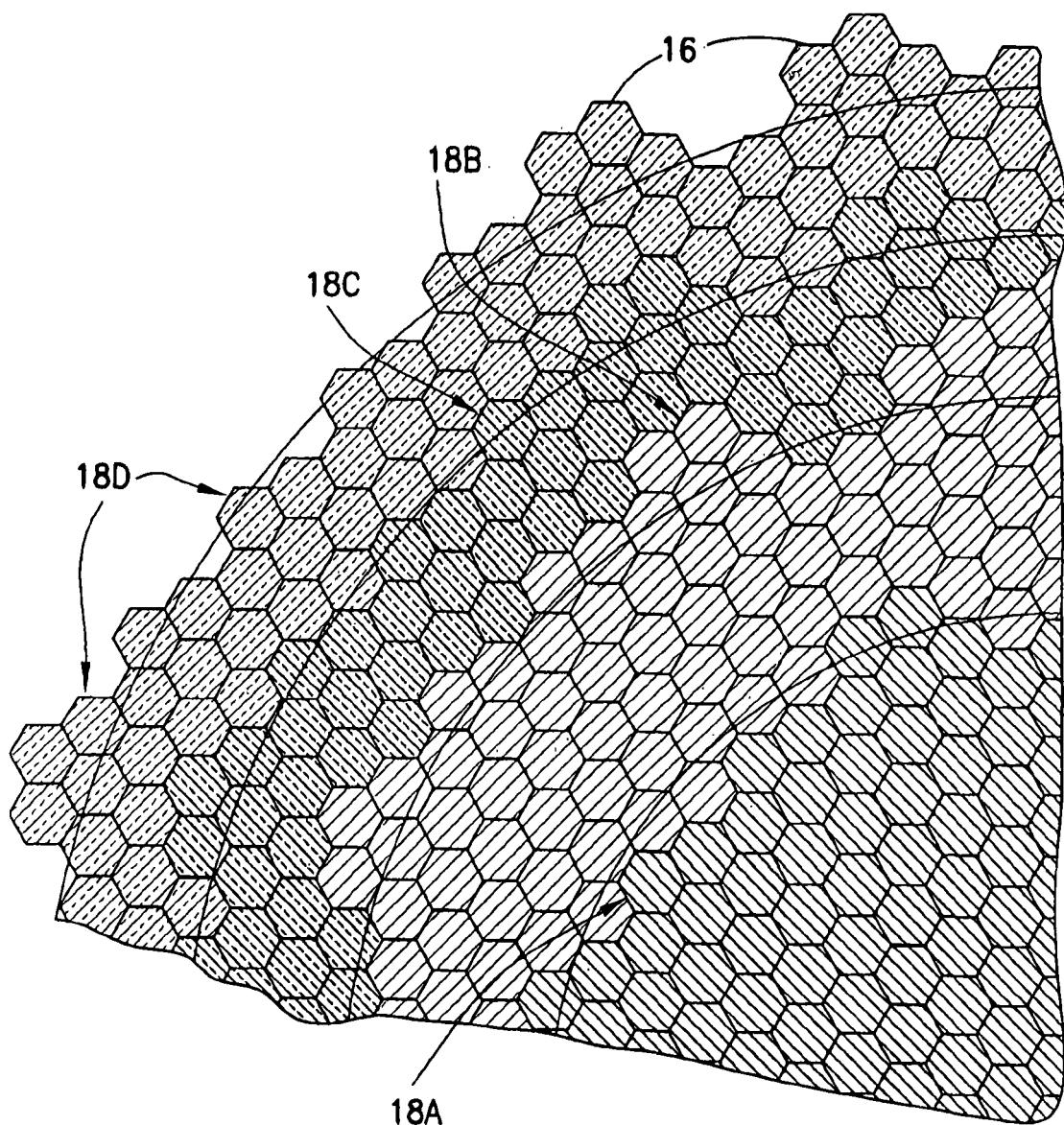


图 3

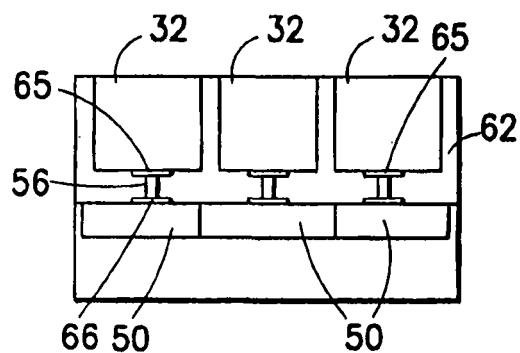


图 4

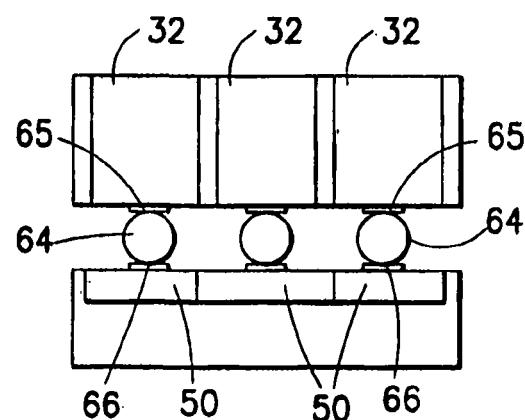


图 5

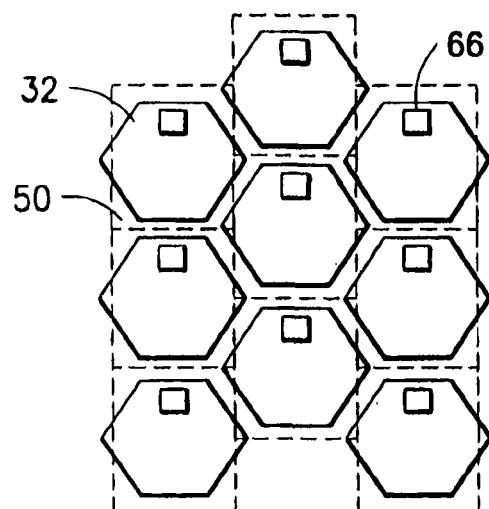


图 6

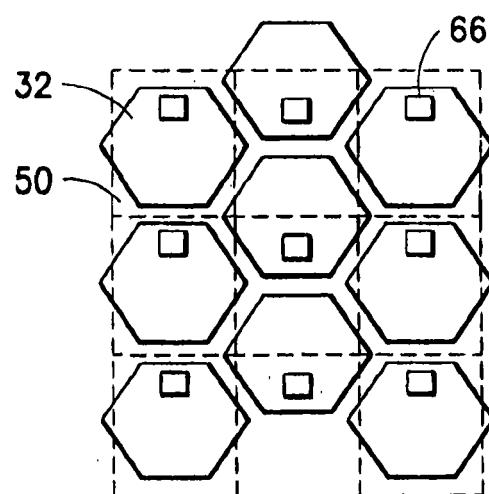


图 7

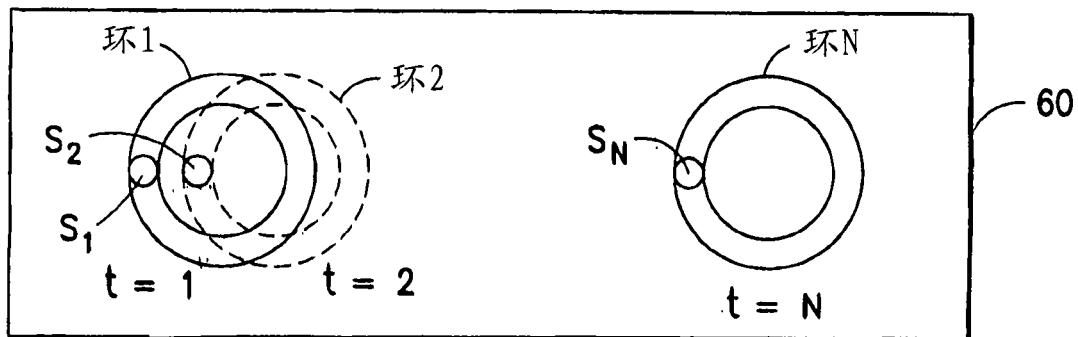


图 8

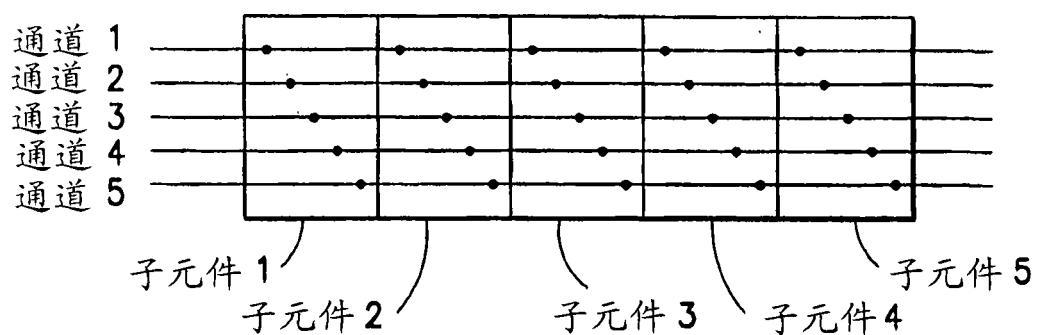


图 9

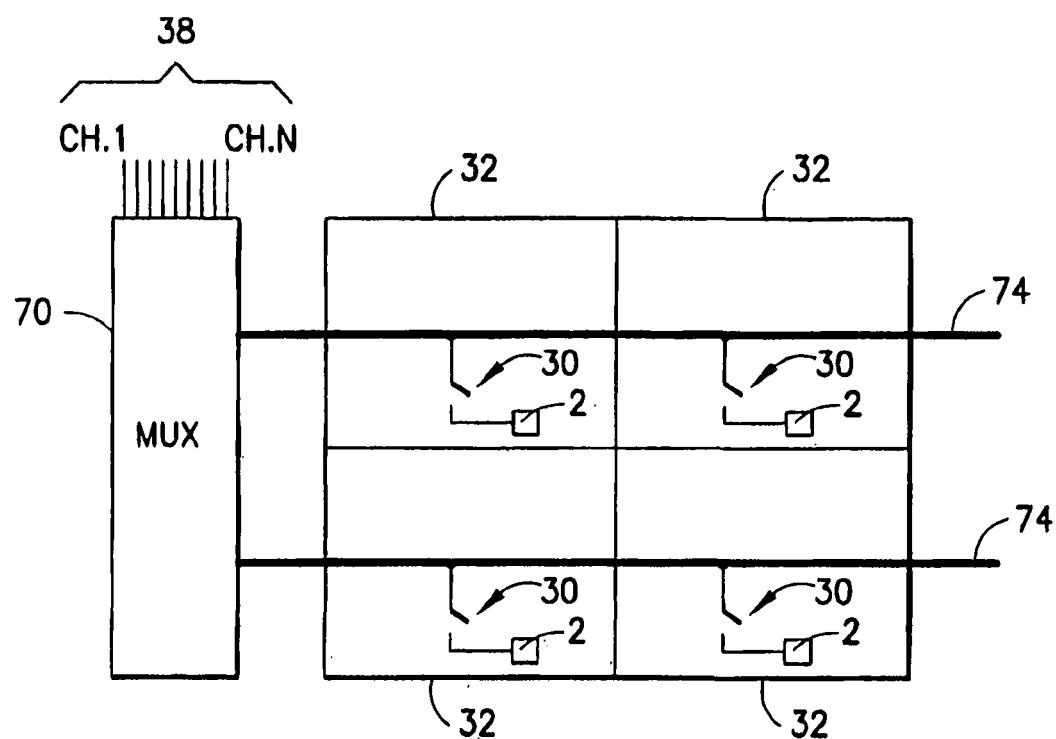


图 10

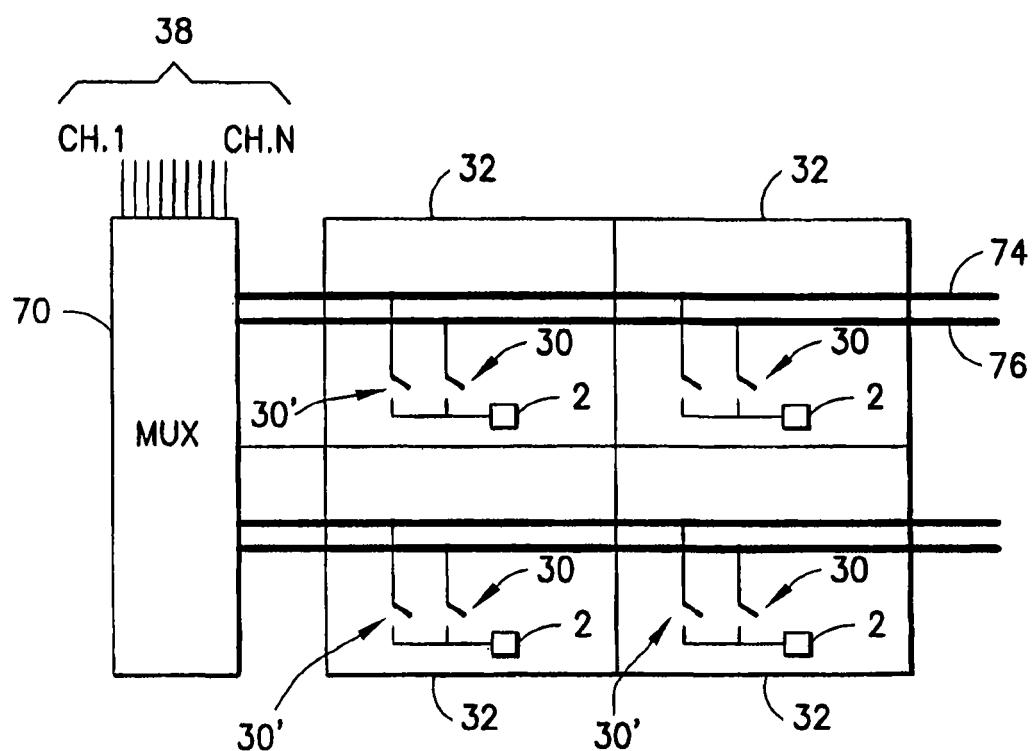


图 11

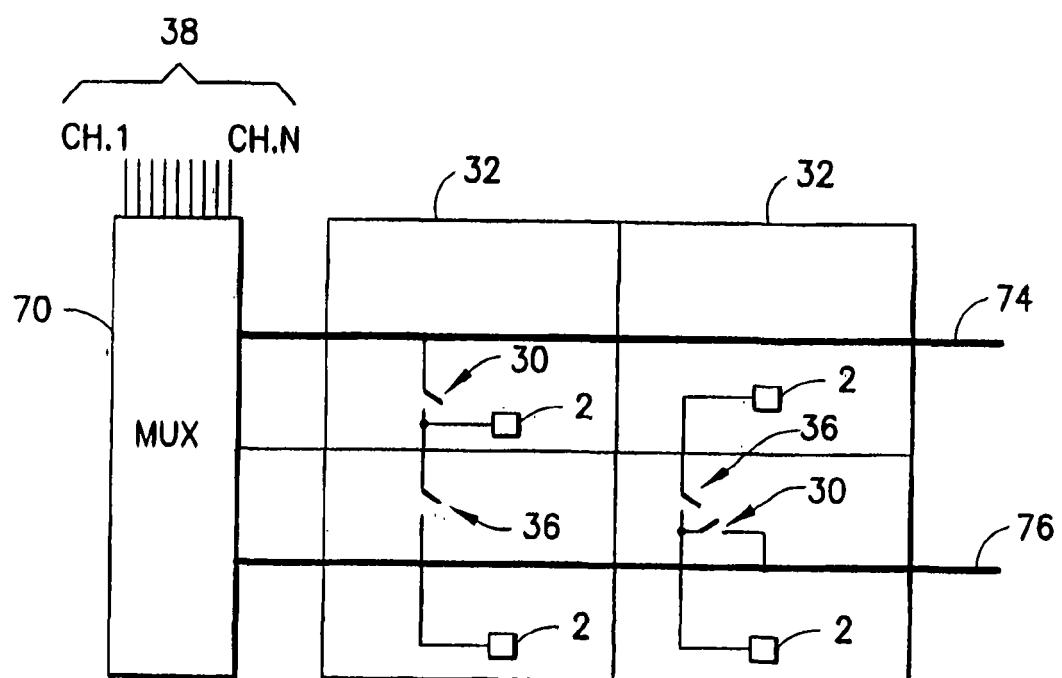
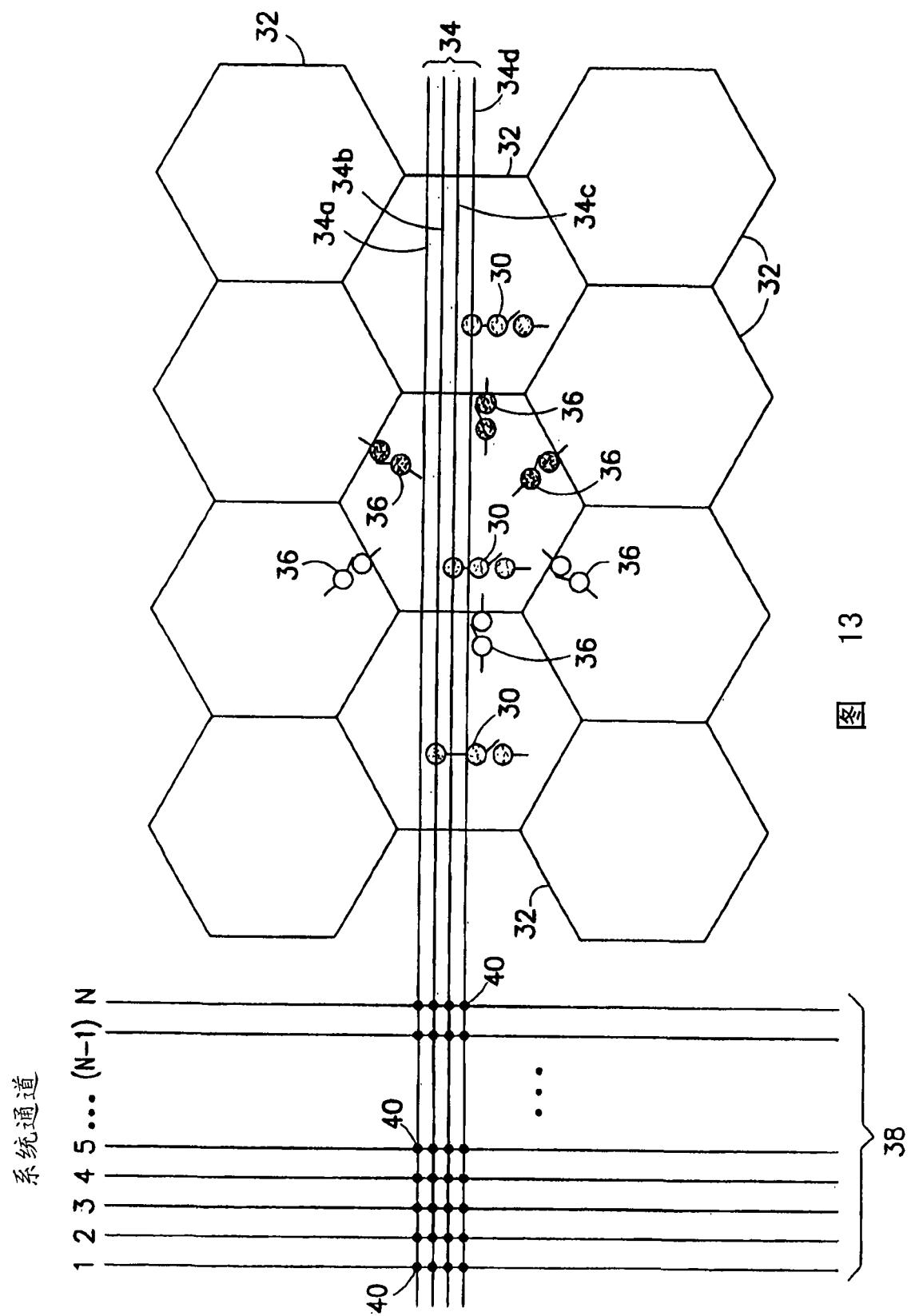


图 12



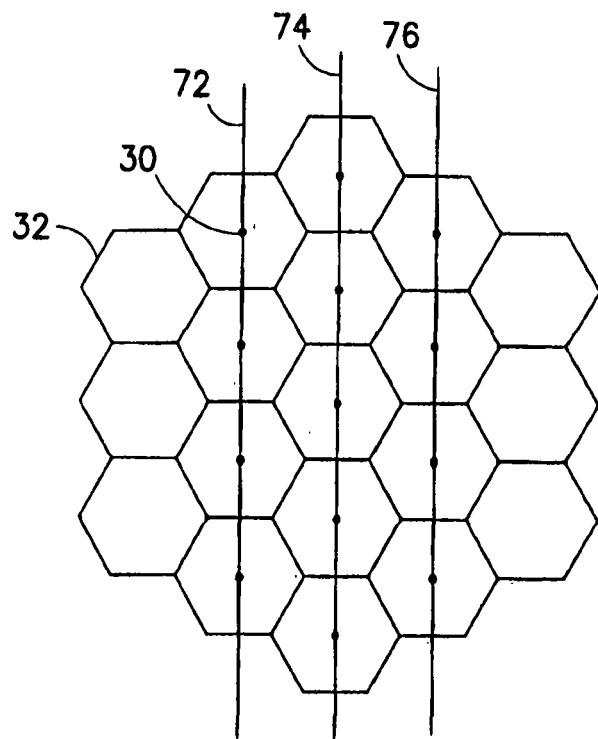


图 14

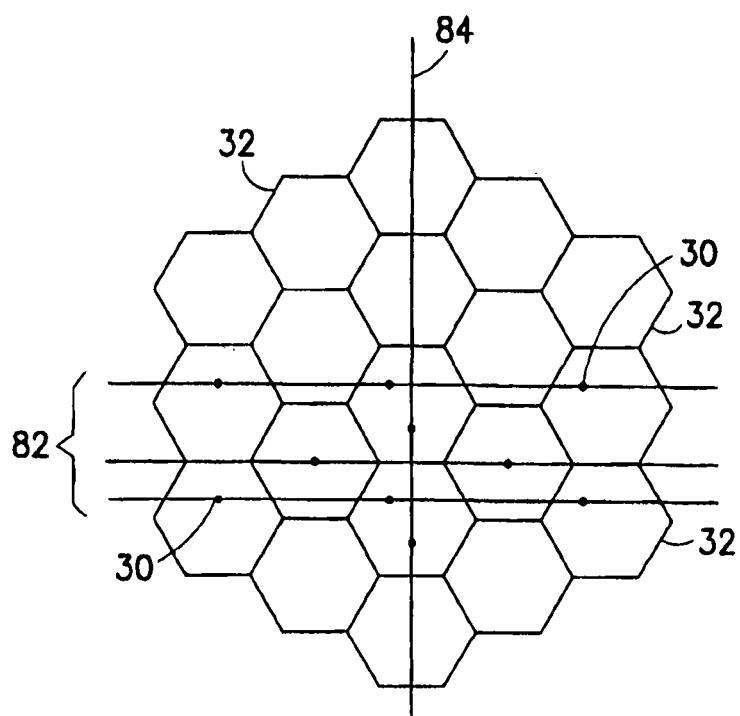


图 15

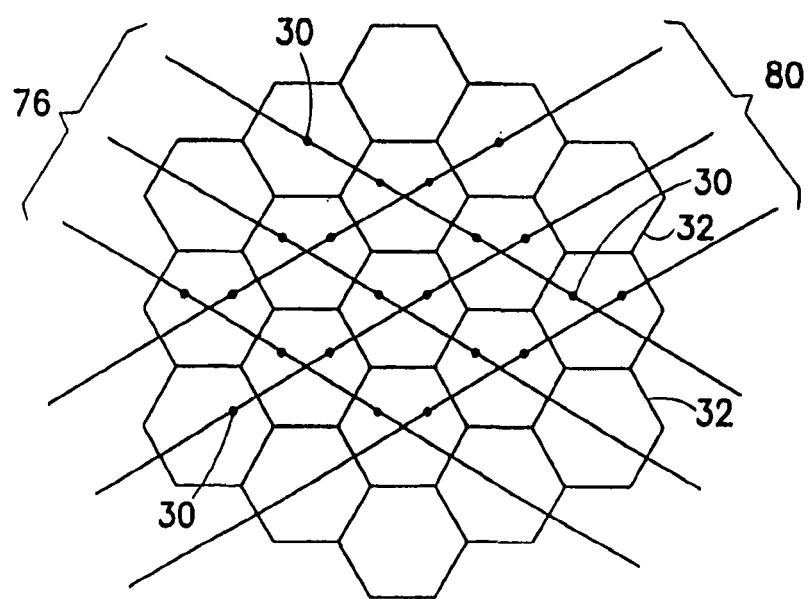


图 16

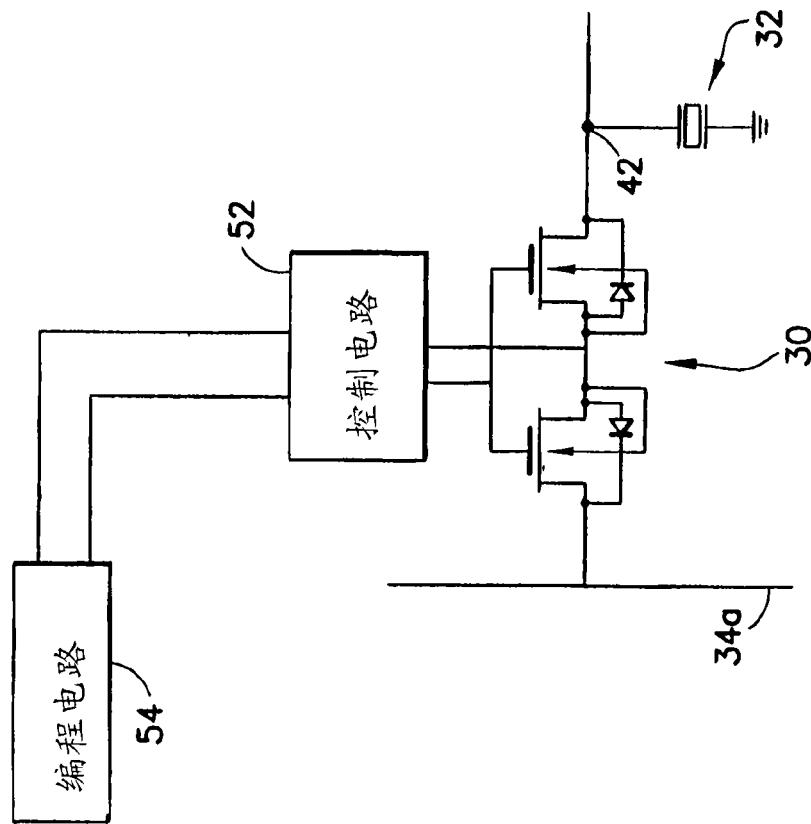


图 18

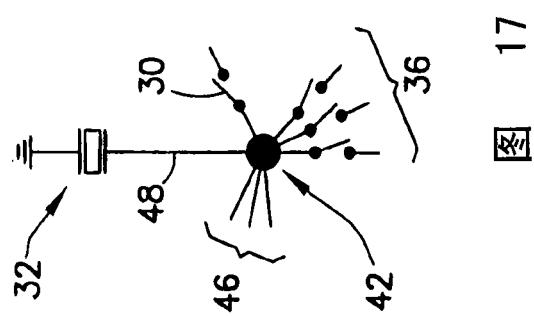


图 17

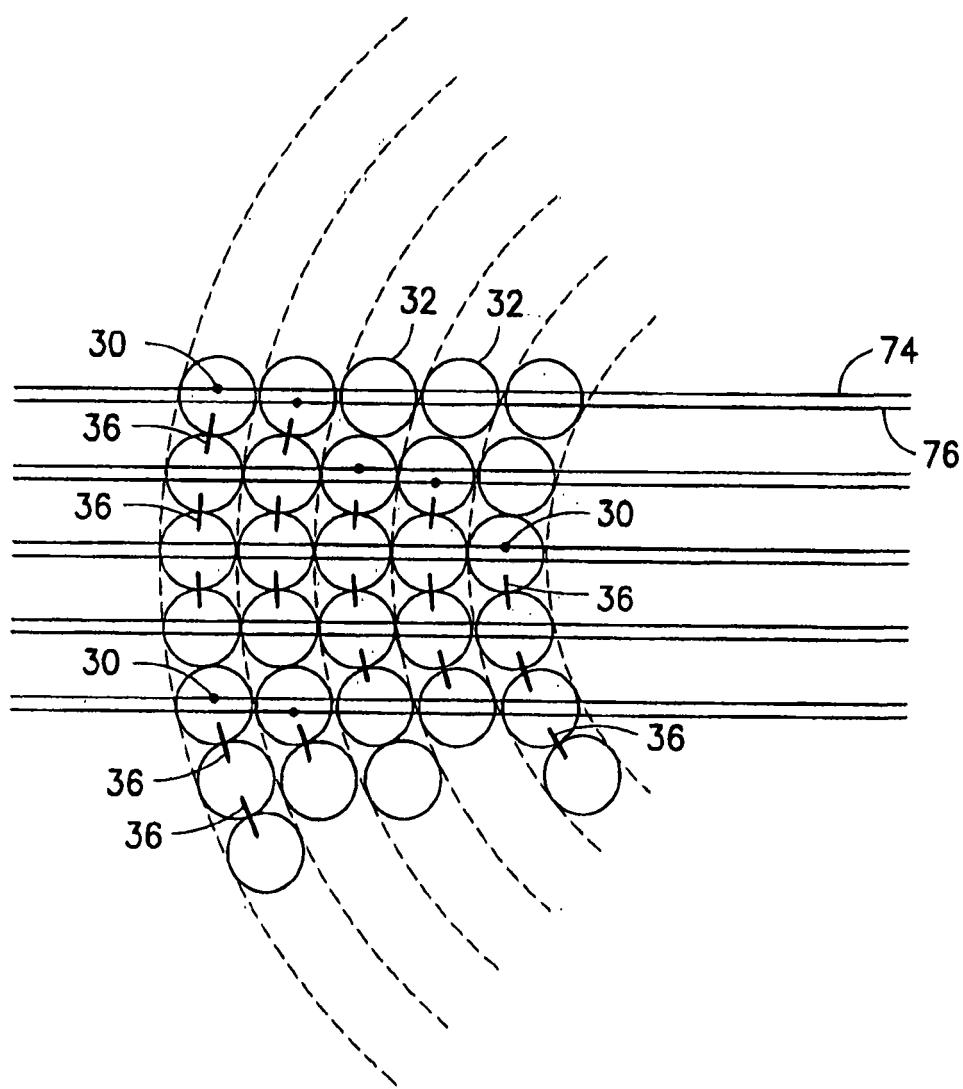


图 19

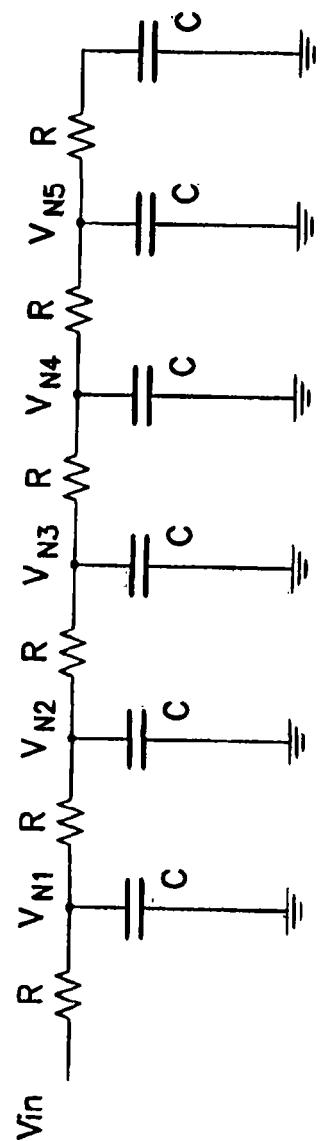


图 20

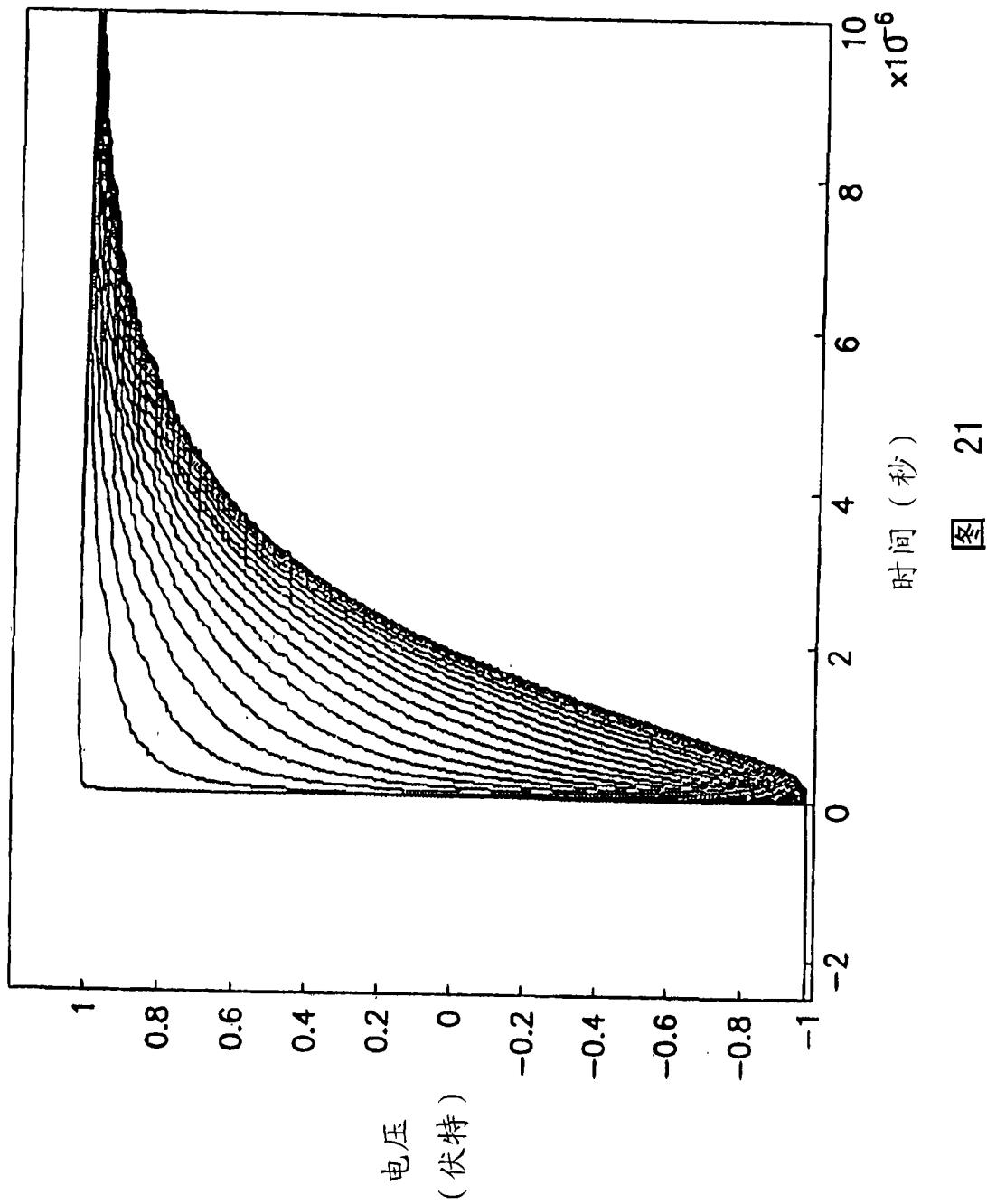


图 21

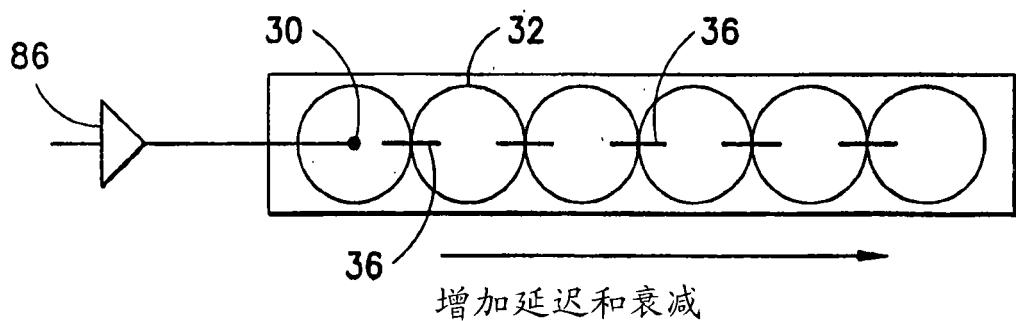


图 22

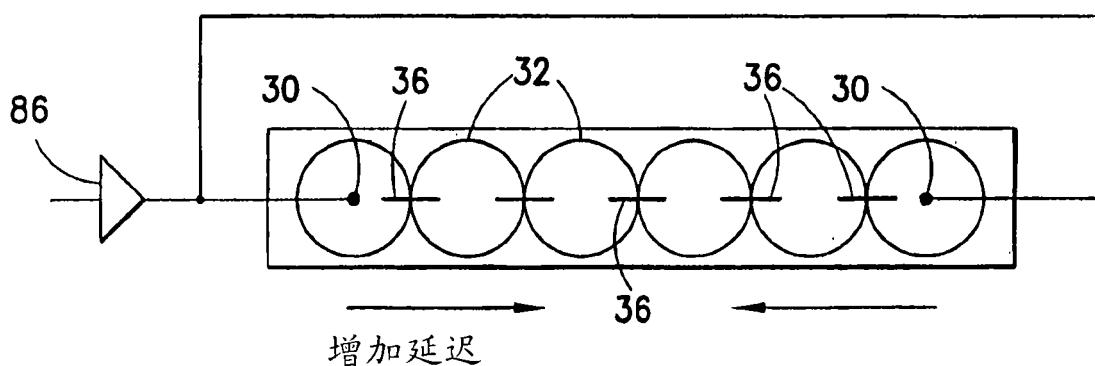


图 23

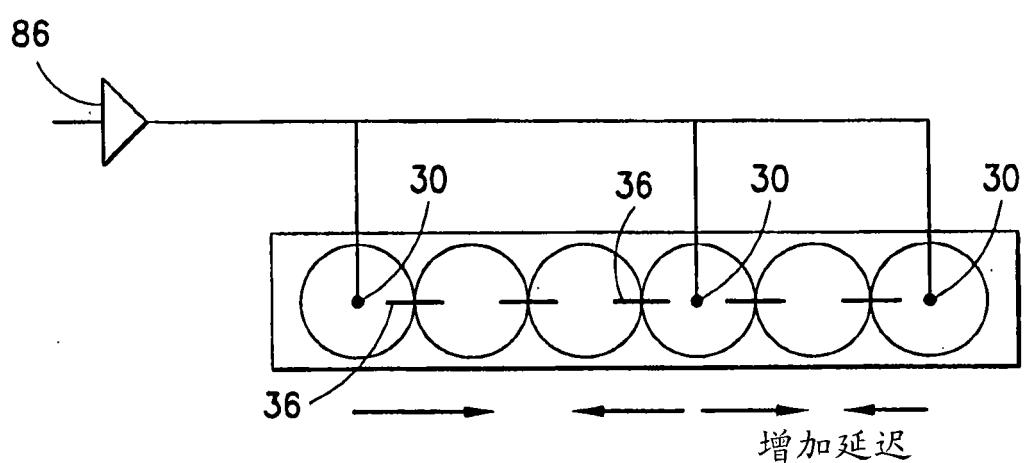
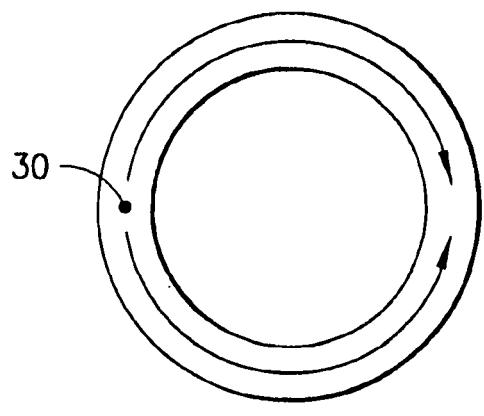


图 24



增加延迟

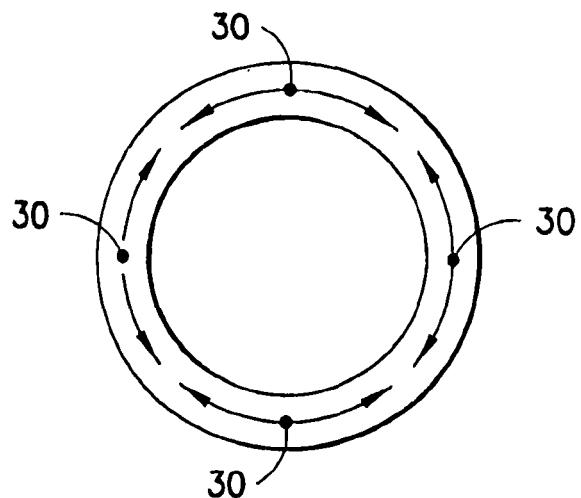


图 25

图 26

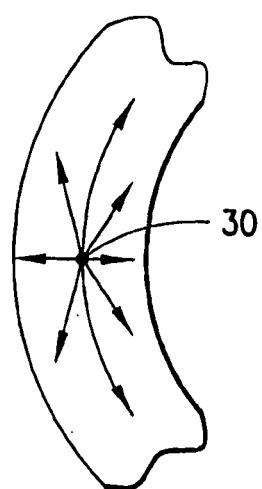


图 27

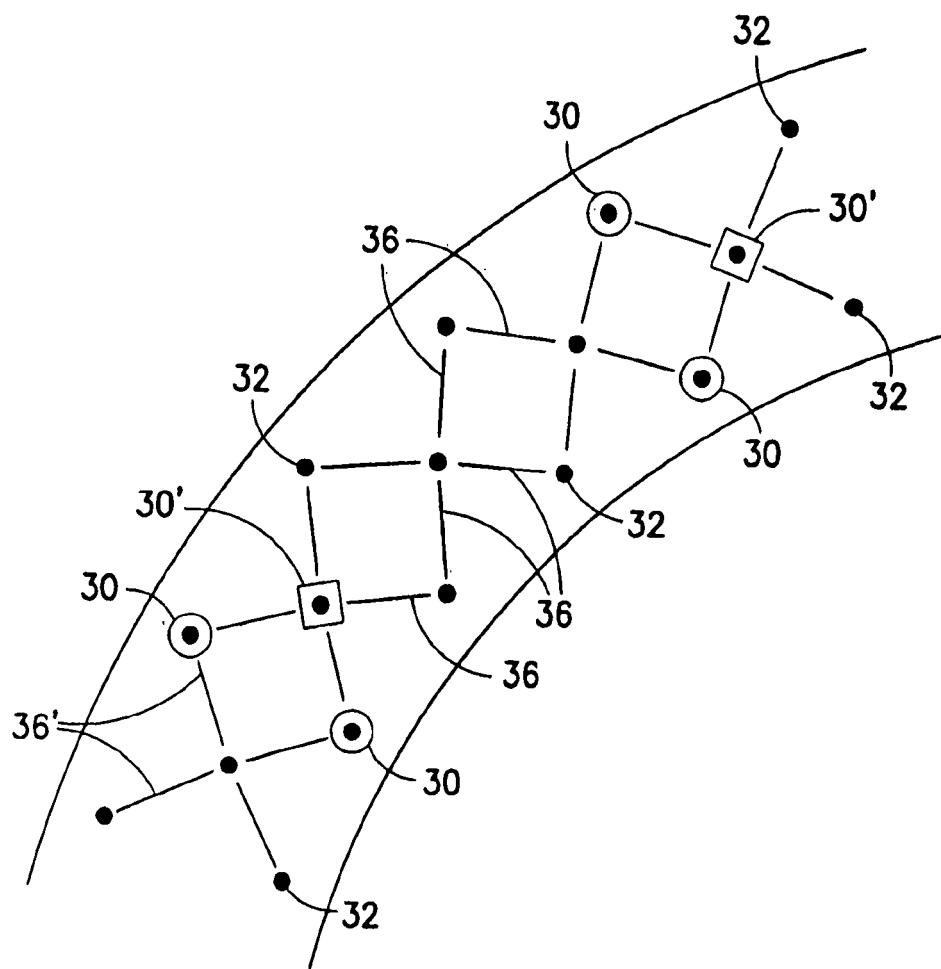


图 28

专利名称(译)	可重新配置的传感器元件阵列的最优开关配置		
公开(公告)号	CN101094612A	公开(公告)日	2007-12-26
申请号	CN200580045571.6	申请日	2005-08-25
[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	CR哈扎德 RG沃德尼基 RA费希尔 KE托梅尼乌斯 LS史密斯 DM米尔斯		
发明人	C· R· 哈扎德 R· G· 沃德尼基 R· A· 费希尔 K· E· 托梅尼乌斯 L· S· 史密斯 D· M· 米尔斯		
IPC分类号	A61B8/14 G06T7/00 B06B1/06 A61B8/00 B06B1/02 H04R17/00		
CPC分类号	G01S15/8925 G10K11/34 B06B1/0292 G01S7/52046 A61B2562/028		
代理人(译)	刘春元		
优先权	10/978175 2004-10-29 US		
其他公开文献	CN100536790C		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

在此所公开的可重新配置的超声阵列是允许成组的子元件动态连接在一起以便最终的元件的形状能匹配波前的形状的超声阵列。这可以导致提高性能和/或减少通道计数。使用开关网络可以实现可重构性。公开了一种方法和算法，该方法和算法允许通过合适地选择开关网络的配置来提高该开关网络的性能。

