



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101904751 B

(45) 授权公告日 2013. 06. 05

(21) 申请号 201010185435. X

(22) 申请日 2010. 05. 20

(30) 优先权数据

12/477, 062 2009. 06. 02 US

(73) 专利权人 白鹰声波技术公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 阿尔伯特·W·魏格纳

迈克·V·南诺伟奇

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

11256

代理人 王茂华 黄耀钧

(51) Int. Cl.

A61B 8/00 (2006. 01)

审查员 杨星

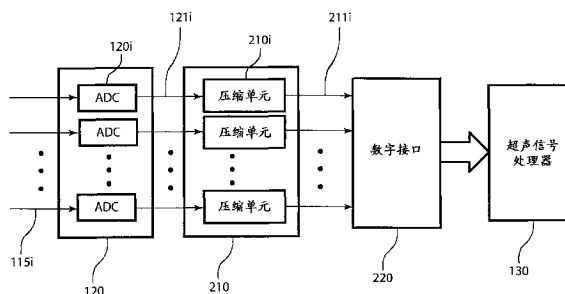
权利要求书5页 说明书18页 附图25页

(54) 发明名称

超声信号压缩

(57) 摘要

用于超声系统在模拟到数字转换之后和波束形成之前提供超声信号样本的压缩的方法和装置。接收自超声换能器元件阵列的模拟超声信号由多个模拟到数字转换器 (ADC) 数字地采样以产生多个信号样本序列。每个信号样本序列被压缩以形成相应的压缩的样本序列。产生的压缩的样本序列经由数字接口传输到超声信号处理器。在超声信号处理器,接收的压缩的样本序列被解压缩。典型的处理操作,比如波束形成、下变频转换以及检测等被应用到解压缩的样本。此摘要不限定如权利要求中所描述的本发明的范围。



1. 在包括在采样窗口期间输出多个模拟超声信号的超声换能器元件阵列的超声成像系统中的方法,包括:

使用模拟到数字转换器 ADC 数字地采样多个模拟超声信号以产生多个信号样本序列,每个信号样本序列代表由相应的换能器元件在采样窗口期间输出的模拟超声信号;

压缩多个信号样本序列以形成多个相应的压缩的样本序列,包括独立于代表在上述采样窗口期间输出自其他换能器元件的模拟超声信号的信号样本而压缩多个信号样本序列中的特定的信号样本序列,以形成相应的特定的压缩的样本序列;以及

跨越数据传输接口将多个相应的压缩的样本序列传输至信号处理器。

2. 依照权利要求 1 的方法,另外包括:

解压缩接收自数据传输接口的多个相应的压缩的样本序列的至少一部分以形成解压缩的样本,其中信号处理器对解压缩的样本应用波束形成操作。

3. 依照权利要求 1 的方法,另外包括:

解压缩接收自数据传输接口的多个相应的压缩的样本序列的至少一部分以形成解压缩的样本,其中信号处理器下变频转换解压缩的样本。

4. 依照权利要求 1 的方法,在传输步骤之后另外包括:

在存储器中存储多个相应的压缩的样本序列;以及

解压缩取回自存储器的多个相应的压缩的样本序列的至少一部分以形成用于由信号处理器处理的解压缩的样本。

5. 依照权利要求 1 的方法,其中信号处理器在信号样本的子集上应用波束形成操作,方法另外包括:

在存储器中存储多个相应的压缩的样本序列;

响应于来自信号处理器的对期望的信号样本子集的请求,从存储器取回多个相应的压缩的样本序列的子集;

解压缩多个相应的压缩的样本序列的子集以形成对应于期望的信号样本子集的解压缩的样本子集;以及

为波束形成操作提供解压缩的样本子集。

6. 依照权利要求 1 的方法,其中 ADC 的数量为 N ,以产生 N 个信号样本序列,其中压缩步骤产生 N 个压缩的样本序列,方法另外包括:

复用 N 个压缩的样本序列以形成 M 个复用的压缩的样本序列,其中 M 小于 N ,其中传输步骤通过 M 个数据端口传输 M 个复用的压缩的样本序列至数据传输接口。

7. 依照权利要求 6 的方法,另外包括:

在信号处理器接收 M 个复用的压缩的样本序列;以及

解复用 M 个复用的压缩的样本序列以重建 N 个压缩的样本序列。

8. 依照权利要求 1 的方法,其中压缩步骤另外包括对特定的信号样本序列应用块浮点编码以形成相应的特定的压缩的样本序列。

9. 依照权利要求 1 的方法,其中压缩步骤另外包括:

计算特定的信号样本序列中的连续的信号样本之间的差分以形成相应的差分样本序列,其中差分为一阶或更高阶差分;以及

编码相应的差分样本序列以形成相应的特定的压缩的样本序列。

10. 依照权利要求 1 的方法,其中压缩步骤另外包括:

计算在特定的信号样本序列中由预设数量的采样间隔所分隔的信号样本对中的信号样本之间的差分,以形成相应的差分样本序列;以及

编码相应的差分样本序列以形成相应的特定的压缩的样本序列。

11. 依照权利要求 10 的方法,其中压缩步骤另外包括:

依据逆转控制参数在计算差分步骤之前选择性地逆转在由预设数量的采样间隔所分隔的每个信号样本对中的信号样本中的一个信号样本。

12. 依照权利要求 8 的方法,另外包括:

通过对相应的特定的压缩的样本序列的至少一部分应用块浮点解码而解压缩接收自数据传输接口的相应的特定的压缩的样本序列的至少一部分,以形成用于由信号处理器处理的解压缩的样本。

13. 依照权利要求 9 的方法,另外包括解压缩接收自数据传输接口的相应的特定的压缩的样本序列的至少一部分,解压缩另外包括:

解码相应的特定的压缩的样本序列的至少一部分以重建差分样本;以及

积分重建的差分样本以形成解压缩的样本,其中积分计算一阶或更高阶积分以逆转计算差分步骤的差分操作。

14. 依照权利要求 1 的方法,其中压缩步骤另外包括:

定义连续信号样本组,每个组具有预设数量的信号样本;

为组中具有最大幅度的信号样本确定指数值;

编码组的指数值以形成指数令牌;

形成具有减少的比特数量的尾数以代表组中的每个信号样本,其中减少的比特数量基于指数值;以及

使用指数令牌和预设的尾数数量代表组的压缩的样本以形成压缩的样本组。

15. 依照权利要求 14 的方法,其中形成尾数的步骤包括:

通过截短或舍入组中的每个信号样本而从组中的每个信号样本去除一定数量的最不重要比特 LSB 以形成减少的尾数,其中去除的 LSB 的数量基于指数值,其中代表组的压缩的样本的步骤使用指数令牌和预设数量的减少的尾数以形成所述压缩的样本组。

16. 依照权利要求 14 的方法,另外包括解压缩接收自数据传输接口的相应的压缩的样本序列的至少一部分,解压缩另外包括:

解码压缩的样本组的指数令牌以重建指数值;

基于压缩的样本组的指数值确定每样本的比特数量;以及

映射压缩的样本组的每个尾数至具有上述每样本比特数量的相应的解压缩的样本,以形成解压缩的样本组。

17. 依照权利要求 15 的方法,另外包括解压缩接收自数据传输接口的相应的压缩的样本序列的至少一部分,解压缩另外包括:

解码所述压缩的样本组的指数令牌以重建指数值;

基于所述压缩的样本组的指数值确定每样本的比特数量和每样本的 LSB 数量;

将每样本的 LSB 数量附加到每个具有选择自零或抖动值的比特值的减少的尾数,以形成相应的扩大的尾数;以及

映射压缩的样本组的每一个扩大的尾数至相应的具有上述每样本比特数量和上述每样本 LSB 数量的解压缩的样本,以形成解压缩的样本组。

18. 依照权利要求 1 的方法,另外包括在压缩步骤之前将信号样本序列下变频转换到中间频率或者到基带。

19. 依照权利要求 1 的方法,其中压缩步骤实时产生所述多个相应的压缩的样本序列。

20. 在包括在采样窗口期间输出多个模拟超声信号的超声换能器元件阵列的超声成像系统中的装置,包括:

具有多个用以接收多个模拟超声信号的模拟输入端以及在数字接口的多个数据端口的集成电路设备,集成电路设备包括:

多个模拟到数字转换器 ADC,用于在采样窗口期间数字地采样在模拟输入端接收的多个模拟超声信号以产生多个信号样本序列,每个 ADC 采样由相应的换能器元件输出的相应的模拟超声信号以形成相应的信号样本序列;以及

压缩器,具有多个用于接收多个信号样本序列的输入端以及产生多个压缩的样本序列,压缩器包括多个压缩单元,其中相应的压缩单元独立于代表在上述采样窗口期间输出自其他换能器元件的模拟超声信号的信号样本而压缩相应的特定的信号样本序列,以形成相应的特定的压缩的样本序列,其中多个压缩的样本序列被提供给多个数据端口用于通过数字接口传输至信号处理器。

21. 依照权利要求 20 的装置,另外包括:

解压缩器,用于接收来自数字接口的多个压缩的样本序列并向信号处理器提供解压缩的样本。

22. 依照权利要求 21 的装置,其中信号处理器对解压缩的样本应用波束形成操作。

23. 依照权利要求 22 的装置,其中在应用波束形成操作之前信号处理器下变频转换解压缩的样本到基带或者到中间频率。

24. 依照权利要求 20 的装置,另外包括:

存储器,用于存储接收自数字接口的多个压缩的样本序列;以及

解压缩器,用于从存储器取回存储的多个压缩的样本序列并向信号处理器提供解压缩的样本。

25. 依照权利要求 20 的装置,其中信号处理器在多个信号样本序列的子集上执行波束形成操作,装置另外包括:

存储器,用于存储接收自数字接口的多个压缩的样本序列;以及

解压缩器,用于响应于来自信号处理器的对期望的信号样本子集的请求而从存储器中取回多个压缩的样本序列的子集,其中解压缩器解压缩多个压缩的样本序列的子集以将对应于期望的信号样本子集的解压缩的样本提供给信号处理器用于波束形成操作。

26. 依照权利要求 20 的装置,其中多个 ADC 包括 N 个 ADC 以将 N 个信号样本序列提供给压缩器,其中压缩器产生 N 个压缩的样本序列,集成电路设备另外包括:

复用器,用于安排 N 个压缩的样本序列以形成 M 个复用的压缩的样本序列,其中 M 小于 N ,其中 M 个复用的压缩的样本序列被提供给多个数据端口中的 M 个数据端口用于通过数字接口进行传输。

27. 依照权利要求 26 的装置,另外包括:

解复用器,用于接收来自数字接口的 M 个复用的压缩的样本序列,解复用器重建提供给解压缩器的 N 个压缩的样本序列。

28. 依照权利要求 20 的装置,其中压缩单元包括:

块浮点编码器,其应用到相应的特定的信号样本序列以产生相应的特定的压缩的样本序列。

29. 依照权利要求 20 的装置,其中压缩单元包括:

差分运算器,用以计算在相应的特定的信号样本序列中的连续信号样本之间的一阶或更高阶差分以产生差分样本序列;以及

编码器,用以编码差分样本序列以产生相应的特定的压缩的样本序列。

30. 依照权利要求 20 的装置,其中压缩单元包括:

差分运算器,用以计算在相应的特定的信号样本序列中的信号样本对中的信号样本之间的差分,其中每一对的信号样本由预设数量的采样间隔所分隔,以形成差分样本序列;以及

编码器,用以编码差分样本序列以形成相应的特定的压缩的样本序列。

31. 依照权利要求 30 的装置,其中压缩单元另外包括:

逆转器,依据逆转控制参数,选择性地逆转在由预设数量的采样间隔所分隔的每个信号样本对中的一个信号样本以为差分运算器产生信号样本对。

32. 依照权利要求 21 的装置,其中解压缩器包括:

块浮点解码器,其应用到多个压缩的样本序列的至少一部分以产生所述解压缩的样本。

33. 依照权利要求 21 的装置,其中解压缩器包括:

解码器,其应用到多个压缩的样本序列的至少一部分以产生解码的样本序列;以及积分器,用于计算解码的样本序列的一阶或更高阶积分以产生所述解压缩的样本。

34. 依照权利要求 20 的装置,另外包括:

多个下变频转换器,其耦合于多个 ADC 和压缩器之间,每个下变频转换器接收来自相应的 ADC 的信号样本序列并且将信号样本序列转换到中间频率或者到基带以形成提供给相应的压缩单元的下变频转换的信号样本序列。

35. 依照权利要求 20 的装置,其中压缩器实时产生所述多个压缩的样本序列。

36. 依照权利要求 21 的装置,其中解压缩器实施于现场可编程门阵列 FPGA 中。

37. 依照权利要求 21 的装置,其中信号处理器实施于 FPGA 中,FPGA 另外包括:

实施解压缩器的解压缩核;

用于接收来自数字接口的多个压缩的样本序列以将多个压缩的样本序列提供给解压缩核的数据通道;以及

用于将解压缩的样本提供给信号处理器的数据通道。

38. 依照权利要求 21 的装置,其中解压缩器至少部分地实施于图形处理单元 GPU 中。

39. 依照权利要求 38 的装置,其中信号处理器至少部分地实施于 GPU 中。

40. 在包括在采样窗口期间输出 N 个模拟超声信号的 N 个超声换能器元件的阵列的超声成像系统中的方法,包括:

在采样窗口期间使用 N 个模拟到数字转换器 ADC 并行地数字地采样 N 个模拟超声信号

以产生 N 个信号样本序列,每个 ADC 采样由相应的换能器元件所输出的相应的模拟超声信号以形成相应的信号样本序列,每个信号样本由每样本的多个比特代表;

通过将每个采样周期的 N 个信号样本序列的比特映射到 M 个比特子集而复用 N 个信号样本序列至 M 个复用的信号样本通道,其中 M 小于 N ,其中每个比特子集被提供给 M 个复用的信号样本通道中的相应一个;以及

跨越数据传输接口通过 M 个数据端口传输 M 个复用的信号样本通道至信号处理器。

41. 依照权利要求 40 的方法,另外包括:

由信号处理器接收 M 个复用的信号样本通道;以及

通过解映射 M 个比特子集以再现每个采样周期的 N 个信号样本序列而解复用 M 个复用的信号样本通道以形成 N 个再现的信号样本序列,其中 N 个再现的信号样本序列由信号处理器所处理。

42. 在包括在采样窗口期间输出 N 个模拟超声信号的 N 个超声换能器元件的阵列的超声成像系统中的装置,包括:

集成电路设备,具有用于接收 N 个模拟超声信号的 N 个模拟输入端以及在数字接口的 N 个数据端口,集成电路设备包括:

N 个模拟到数字转换器 ADC,用于在采样窗口期间数字地采样在 N 个模拟输入端接收的 N 个模拟超声信号以产生 N 个信号样本序列,每个 ADC 采样相应的模拟超声信号以形成相应的信号样本序列,每个信号样本由每样本的多个比特所代表;以及

复用器,具有 N 个输入端,用于接收 N 个信号样本序列并产生 M 个复用的信号样本通道,其中 M 小于 N ,复用器映射每个采样周期的 N 个信号样本序列的比特至 M 个比特子集,其中每个比特子集被提供给 M 个复用的信号样本通道中的相应一个用于通过在数字接口上的 N 个数据端口中的 M 个传输至信号处理器。

43. 依照权利要求 42 的装置,另外包括:

解复用器,用于接收来自数字接口的 M 个复用的信号样本通道,其中解复用器解映射 M 个比特子集以再现每个采样周期的 N 个信号样本序列并将 N 个再现的信号样本序列提供给信号处理器。

超声信号压缩

技术领域

[0001] 本发明涉及由超声换能器接收的超声信号数据的压缩,尤其是涉及在模拟到数字转换之后以及波束形成、检测以及图像形成之前对超声信号样本的压缩。

背景技术

[0002] 医疗超声系统通过从由临床医生放置在受试对象上的换能器发送超声波束,扫描受试对象的内部解剖结构。超声波在具有不同声阻抗的内部组织的界面上反射,产生回声。换能器接收回声并将它们转换为电超声信号。超声系统将一序列的处理步骤应用到超声信号以产生在控制台上显示的图像或一系列图像,用以由临床医生分析。基于接收的回声的强度形成的图像称为 B- 模式图像。此外,系统可以测量超声信号的多普勒频移 (Doppler shifts) 以产生指示比如血液之类的流体的流动的彩色图像,以及执行对诊断有用的额外的分析。

[0003] 常规的医疗超声换能器包括在由电信号驱动时发送超声波,接收返回的回声并且将接收的回声转换为多个模拟信号的压电元件阵列。多个模拟到数字转换器 (analog to digital converter, 简称 ADC) 对模拟信号采样,每个都产生数字信号样本流。信号样本的典型数字信号处理包括波束形成、下变频转换、B- 模式 (亮度) 处理和 / 或多普勒处理、扫描转换以及用于显示的图像处理。波束形成延迟并组合信号样本流以形成对应于视场中的特定方向的波束形成样本阵列。波束形成器能够产生对应于视场中的数个方向的数个波束形成样本阵列。取决于期望的诊断信息类型,随后在波束形成样本上执行 B- 模式处理和 / 或多普勒处理以形成 B- 模式检测样本和 / 或多普勒检测样本。检测样本的空间坐标仍然对应于波束形成样本的波束几何形状。扫描转换器执行检测样本的坐标转换以产生具有适合用于显示的光栅格式的数据帧。将额外的图像处理应用到样本帧以允许它们作为二维 (2-D) 或三维 (3-D) 图像显示。

[0004] 用以改进医疗超声系统的当前努力针对于提高控制台 / 车系统的诊断能力以及开发具有提高的图像质量的较小的便携式设备。对于高端控制台或车系统,增加换能器元件的数量以产生更高分辨率和 / 或 3-D 图像以扩展诊断能力是期望的。增加换能器元件的数量会增加从换能器头传达到控制台处理器的数据量,其可能需要更高带宽的通信信道以及更大的电缆连接。换能器头的数据采集能力由操纵需要和外形要素所限制。手提或手持式超声设备对于在小诊所、移动治疗单元以及家庭中的使用是经济的和期望的。对于这些设备,电池寿命也是一种限制。在超声系统中更加高效的处理、传输和存储超声信号数据可以节省功率、数据传输带宽和存储器容量。

[0005] 超声信号数据的压缩能够对控制台 / 车系统和便携式系统两者提供益处。益处包括降低系统的数据传输带宽、存储器容量和功率要求。对于便携式或者手提式超声系统,这些益处会降低重量并且增加电池寿命。对于控制台系统,压缩会减轻增加由换能器头获取的数据量并传送数据到超声信号处理器的影响。在计算上高效的压缩在对系统复杂度具有较低影响或者没有影响的情况下引入压缩的益处。

[0006] 本描述使用术语“压缩 (compression)”来指代超声信号样本的数据压缩,其中代表信号样本的比特数目被减少并且信号样本随后在用于显示的处理之前解压缩。超声成像系统的某些描述使用术语“压缩”来表示“脉冲压缩”而不是数据压缩。脉冲压缩是指过滤和 / 或调制发送的超声脉冲,以及逆向过滤和 / 或解调接收的超声脉冲。(例如,见作者为 V. Behar 与 D. Adam,于 2004 年在 Ultrasonics 的卷号 42,页码 1101-1109 中发表的“Parameter optimization of pulsecompression in ultrasound imaging system with coded excitation”)。超声成像系统的某些描述使用术语“压缩”来表示“对数压缩”而不是数据压缩。在该上下文中,对数压缩是指在显示之前计算处理的超声数据,典型地为检测的数据的幅度的对数。(例如,见作者为 A. Murtaza 等,于 2008 年 11 月在 Texas Instruments SPRAB 12 的页码 1-26 中发表的“Signal Processing Overview of Ultrasound”)。脉冲压缩和对数压缩两者都有意地改变发送的或接收的超声信号在时域和频域中的特征。在随后跟随有解压缩的接收的超声信号样本的数据压缩是在时域和频域中保存信号特征的处理。本描述指的是超声信号样本的无损及有损压缩。在无损压缩中,解压缩的样本具有与原始样本相一致的值。在有损压缩中,解压缩的样本类似,但不同于原始样本。本描述使用术语“帧”以指代最终将被处理以形成用于显示的超声图像的原始的或处理的超声数据阵列。在本领域中超声成像系统的某些描述还使用术语“屏”以指代超声数据帧。在本描述中,“实时”表示至少与数字信号的采样速率一样快的速率。可以使用术语“实时”来描述数字信号的处理、传输以及存储的速率。采样速率是 ADC 在模拟信号的转换期间形成数字信号样本的速率。在本领域中超声成像系统的某些描述使用“实时”以指代显示超声图像的帧速率。本描述将实时与采样速率,而不是帧速率解释相关联。

[0007] 在超声系统中的数据压缩的从前的申请包括了在用于图像形成的扫描转换之前和之后的数据压缩的替代方式。在公告于 2001 年 11 月 13 日,名称为“Ultrasonic Diagnostic Device”的美国专利 6,315,722 中,Yaegashi 描述了用于存储输出自 ADC 单元的超声信号样本的时间轴扩展单元。时间轴扩展单元以输出自 ADC 单元的速率写数据并以较低的速率读数据。时间轴扩展单元存储用于一屏或一帧的信号样本,并且可以使用先入先出 (first-in first-out,简称 FIFO) 存储器实施。数据压缩单元压缩从时间轴扩展单元读取的信号样本。Yaegashi 描述图像压缩技术的应用,这样的方法基于用于利用一个数据帧之内的空间相关性的离散余弦变换 (discrete cosine transform,简称 DCT) 或者用于多数数据帧的 MPEG 压缩方法。(MPEG 是指由 Moving Picture Experts Group 开发的视频数据压缩标准)。压缩的样本存储于大容量存储设备,比如硬盘中。数据压缩减少在大容量存储设备中所需的存储容量。为了产生图像,数据扩展单元解压缩取回自大容量存储设备的压缩的样本。将包括过滤、对数转换、检测以及数字扫描转换在内的常规操作应用到解压缩的样本,用于图像形成和显示。Yaegashi 没有公开在处理序列中的波束形成。

[0008] 在公开号为 2008/0114246,名称为“Transducer Array ImagingSystem”的美国专利公开中,Randall 等人描述了在波束形成之前和 / 或之后使用映射、重采样和 / 或数据开窗而压缩超声数字数据。映射可以包括再量化或者裁剪信号样本。例如,所需比特的数量随深度单调地减少从而基于深度更少的比特可以分配给每个样本。在某些实施方式中,来自延伸出发送与接收孔径的接收通道的信号样本可以被截去。为了对感兴趣区域 (region of interest,简称 ROI) 成像,信号采集时间可以与深度范围成正比,从而使在最小采样时

间之前和 / 或最大采样时间之后获取的数据能够被截去 -- 如果它们不贡献于图像像素的形成。在某些实施方式中,如果显示分辨率低于全分辨率成像的需要,那么数据可以被重采样至更少的样本,从而减少传输的样本的数量。

[0009] 在公告于 2000 年 3 月 28 日,名称为“Medical Diagnostic Ultrasound System and Method for Transform Ultrasound Processing”的美国专利 6,042,545 中,Hossack 等人描述用于在波束形成之后的超声数据的变换压缩技术。波束形成的替代方式包括 ADC 之前的模拟波束形成或者 ADC 之后的数字波束形成。波束形成器产生同相位和正交的 (in-phase 和 quadrature, 简称 I 和 Q) 样本,或者替代地,射频 (RF) 样本。对应于二维 (2-D) 帧的波束形成样本被过滤并变换以产生变换域表示。变换域样本被量化和 / 或编码用以压缩。压缩可以是无损的或有损的。可以应用任何变换,比如 DCT 或离散小波变换 (Discrete Wavelet Transform, 简称 DWT)、量化功能,以及编码功能,用以压缩数据帧。例如, JPEG 压缩包括将数据帧分割成 2-D 数据块、在每个块上使用 2-D DCT 进行变换、量化变换域样本、差分编码在块之间 DC (零频率) 变换样本,以及熵编码量化的变换域样本的 2-D 块 (例如, Huffman 编码)。JPEG 压缩算法可以配置为无损的或无损的。(JPEG 压缩是指由 Joint Photographic Experts Group 开发的标准图像压缩方法)。在变换域中对于比如过滤之类的各种图像处理功能的额外的操作在变换域中比在空间域中在计算上更加高效。例如,空间域中的 2-D 过滤使用 2-D 卷积运算。在变换域中 2-D 过滤通过变换域过滤系数使用更加高效的乘法。压缩的变换域数据可被存储用于之后的图像形成。为了解压缩,在显示处理之前应用逆向编码与变换功能。

[0010] 在公告于 2005 年 2 月 15 日,名称为“Diagnostic Information Generation Apparatus and Ultrasonic Diagnostic System”的美国专利 6,855,113 中,Amemiya 等人描述了在从超声波单元到信息单元的无线传输之前的超声数据帧的压缩。超声波单元包括换能器和处理器 (用于随后的波束形成、B- 模式成像以及多普勒成像)。将通用数据压缩标准应用到 B- 模式成像数据或多普勒成像数据,例如用于单帧的 JPEG 压缩或者用于多帧的 MPEG 压缩。压缩的数据使用标准无线通信方式发送到信息单元。信息单元包括根据压缩标准解压缩接收的数据的中央处理单元 (central processing unit, 简称 CPU)。CPU 此外处理解压缩的 B- 模式成像数据和解压缩的多普勒成像数据用于显示。

[0011] 在公开于 1997 年 3 月 20 日,名称为“Ultrasonic Diagnostic Apparatus for Compressing and Storing Data in CINE Memory”的 PCT 公开申请,国际公开号为 W0 97/09930 中, Lee 描述了在 CINE 存储器中存储之前对超声数据进行压缩,并且对从 CINE 存储器中取回的数据进行解压缩。CINE 存储器包括几个由时间组织的库。在此系统中,超声探测器在 ADC 之前执行波束形成,因此 ADC 输出数据代表波束形成样本。对数据帧应用压缩并且可以在扫描转换之前或者之后应用。应用 Lempel-Ziv-Welch (LZW) 算法用以压缩和解压缩。LZW 算法基于检测数据中比特的重复模式并且为重复模式分配代码。取回自 CINE 存储器的帧的压缩的数据被解压缩并且进一步处理用于显示。

[0012] 在公开于 2005 年 3 月 31 日,名称为“Ultrasonograph and Ultrasonic Data Compression Method”,公开号为 2005-081082 的日本专利申请中, Akihiro 描述了三种用于在模拟波束形成之后压缩超声数据的实施方式。在第一实施方式中, ADC 生成模拟波束形成器输出信号的 I 和 Q 样本。压缩器计算相邻波束的 I、Q 样本的差异并在随后通过对差异

进行游程长度编码而形成压缩的数据。压缩的数据存储于存储器中。取回自存储器的压缩的数据被解压缩和处理用于图像显示。在第二实施方式中,ADC 生成模拟波束形成器输出样本的 RF 样本。压缩器计算相邻波束的 RF 样本之间的差异并在随后进行游程长度编码。压缩的样本被存储于存储器中、取回、解压缩并处理用于图像显示。在第三实施方式中,波束形成器输出被进一步处理以在压缩之前生成 B- 模式图像帧和多普勒图像帧。压缩器计算帧到帧的差异以产生压缩的数据帧。压缩的数据帧被存储于存储器中、取回、解压缩并进行进一步处理用于显示。

[0013] 在公告于 1988 年 6 月 21 日,名称为“Ultrasonic Bloodstream Diagnostic Apparatus with Dual Displays of Velocity Profiles and Average Flow Velocity”的美国专利 4,751,929 中, Hayakawa 等人描述了对多普勒频率检测数据的压缩。压缩器在计算频谱样本的实部和虚部的幅度平方的平方和加法电路的输出上操作。压缩器重新编码输出自加法器的每个样本的比特,以减少在表示中的比特数量。压缩器在加法器的输出样本上操作,以编码尾数中的最重要比特的位置,保留固定数量的最重要比特并且清除剩余的最不重要的比特。由此产生的每个样本的压缩的字都包括固定数量的最重要比特以及表示从原始样本中清除的最不重要比特的数量的编码。将可变数量的最不重要比特从每个样本中去除,所以压缩是有损的。

[0014] 在标题为“A Novel B-Mode Ultrasound Image Compression Method Based on Beam Forming Data”, 1998 Proc. Intl. Conf. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Vol. 20 No. 3, pp. 1274-76 中, Li 等人描述了对用于在远程超声系统中发送的波束形成样本的压缩。DWT 应用在 128x512 的波束形成样本帧之中。在竖直方向中的子图像系数使用算术编码而被量化和编码。在解压缩之后,将扫描转换应用于 128x512 的解压缩的样本帧以形成 512x512 的样本帧用于显示。

[0015] 数篇论文描述了用于在用以图像形成的扫描转换之后压缩超声图像的不同方法。一些示例包括以下。在标题为“Comparative Survey of Ultrasound Images compression Methods Dedicated to a Tele-Echography Robotic System”, 2001 Proc. 23rd Annual IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Intl. Conf., pp. 2461-64 的论文中, Delgorte 等人描述了对超声图像应用不同的压缩方法。方法包括傅立叶变换 (Fourier transform)、DCT、二叉树分解、DWT、分形、直方图阈值以及游程长度编码。方法在扫描转换之后应用在 512x512 的超声图像。在标题为“Despeckling of Medical Ultrasound Images Using Data and Rate Adaptive Lossy Compression”, IEEE Trans. Medical Imaging, vol. 24, No. 6, 2005 年 6 月, pp. 743-54 的论文中, Gupta 等人描述了将压缩与算法相结合以从超声图像中去除斑点。在斑点去除算法、量化以及熵编码后进行 DWT。在标题为“A Tele-Operated Mobile Ultrasound Scanner Using a Light-Weight Robot”, IEEE Trans. Information Technology in Biomedicine, Vol. 9, No. 1, 2005 年 3 月, pp. 50-58 的论文中, Delgorte 等人描述了对超声图像应用多种无损和有损压缩方法。无损方法包括 Huffman、算术编码、Lempel-Ziv、游程长度编码以及 Fano 编码。有损方法包括各种 JPEG 版本,包括 JPEG、JPEG-LS 以及 JPEG2000。在标题为“Maximum Likelihood Motion Estimation in Ultrasound Image Sequences”, IEEE Signal Processing Letters, Vol. 4, No. 6, 1997 年 6 月, pp. 156-7 的论文中, Strintzis 等人描述了对超声图像序列应用 MPEG 压缩。方法

包括检测在图像序列中连续帧之间的 8x8 的像素块的运动矢量。运动矢量被编码用于帧到帧的 MPEG 压缩。

[0016] 公告日期为 2006 年 3 月 7 日的名称为“Adaptive Compression and Decompression of Bandlimited Signals”的共同所有的美国专利 7,009,533(‘533 专利)描述用于特定带限信号的压缩与解压缩的算法。公告日期为 2007 年 8 月 8 日的名称为“Enhanced Data Converters Using Compression and Decompression”的共同所有的美国专利 7,088,276(‘276 专利)描述对输出自实施于单一集成电路之中的 ADC 的信号样本应用无损或有损压缩。提交于 2008 年 5 月 15 日的名称为“Digital Interface for Data Converters”的共同所有及共同未决的序列号码为 12/120988(‘988 申请)的美国专利申请描述复用并行输出自多个 ADC 的数据,以减少在数字接口的活动数据端口的数量。

[0017] 存在对超声成像系统的部件之间的超声信号数据的高效数据传输和存储的需求。存在对超声信号数据的计算上高效的数据压缩以在对系统复杂度产生最小影响的情况下提高数据传输和存储容量的需求。

发明内容

[0018] 本发明的实施方式考虑到上述的常规问题而做出。本发明的一个目的是在超声成像系统中在模拟到数字转换之后压缩超声信号样本。超声成像系统包括在采样窗口期间输出多个模拟超声信号的超声换能器元件阵列。方法包括:

[0019] 使用模拟到数字转换器数字地采样多个模拟超声信号以产生多个信号样本序列,每个信号样本序列代表在采样窗口期间由相应的换能器元件输出的模拟超声信号;

[0020] 压缩多个信号样本序列以形成多个相应的压缩的样本序列,包括独立于代表在上述采样窗口期间输出自其他换能器元件的模拟超声信号的信号样本,压缩多个信号样本序列中的特定信号样本序列,以形成相应的压缩的样本序列;以及

[0021] 跨越数据传输接口,将多个相应的压缩的样本序列传输到信号处理器。

[0022] 压缩的样本在波束形成或者其他超声信号处理操作之前被解压缩。

[0023] 本发明的另一目的是,提供装置以在超声成像系统中在模拟超声信号的模拟到数字转换之后,压缩超声信号样本。超声成像系统包括在采样窗口期间输出多个模拟超声信号的超声换能器元件阵列。装置包含具有用于接收多个模拟超声信号的多个模拟输入端以及在数字接口的多个数据端口的集成电路设备,此集成电路设备包含:

[0024] 多个 ADC 耦合为在采样窗口期间对在模拟输入端接收的多个模拟超声信号数字地采样,以产生多个信号样本的序列,每个 ADC 采样由相应的换能器元件输出的相应的模拟超声信号,以形成相应的信号样本的序列;以及

[0025] 压缩器,其具有多个输入端耦合以接收多个信号样本序列并产生多个压缩的样本序列,压缩器包括多个压缩单元,其中相应的压缩单元独立于代表在上述采样窗口期间输出自其他换能器元件的模拟超声信号的信号样本压缩相应的信号样本序列,以形成相应的压缩的样本序列,其中多个压缩的样本序列被提供给多个数据端口用以通过数字接口传输到信号处理器。

[0026] 本发明的另一方面利用数据端口的过剩数据传输带宽以使用较少数据端口通过数字接口传输压缩的样本。可以复用压缩的样本序列以形成能够使用较少数据端口传输的

较少的序列。

[0027] 本发明的另一方面利用数据端口的过剩数据传输带宽以使用较少数据端口通过数字接口传输未压缩的超声信号样本。当输出自多个 ADC 的信号样本的比特率充分地小于数据端口的最大数据传输带宽时,可以复用未压缩的信号样本序列以形成能够使用较少数据端口传输的较少的序列。

附图说明

[0028] 图 1 为依据现有技术的典型医疗超声系统的示例的框图。

[0029] 图 2 为依据现有技术的超声信号处理器 130 的框图。

[0030] 图 3 为依据现有技术的在波束形成之前的超声信号样本的绘图。

[0031] 图 4 为依据现有技术的对应于一个波束形成器输出通道的波束形成的超声信号的同相位样本的绘图。

[0032] 图 5 为依据优选实施方式的包括压缩输出自 ADC 的库的信号样本的超声系统的框图。

[0033] 图 6 为依据替代配置的包括压缩超声信号样本并且在捕获存储器中存储压缩的样本的超声系统的框图。

[0034] 图 7 为依据替代配置的其中压缩的样本存储于波束形成器存储器之中的超声系统的框图。

[0035] 图 8 为包括复用压缩的样本用以跨越较少数据端口传输的超声系统的框图。

[0036] 图 9 为对 ADC 输出端应用端口集中的超声系统的框图。

[0037] 图 10A 为包括用于传输来自十六个 ADC 的数据的十二个数据端口的端口集中配置的框图。

[0038] 图 10B 示出了在图 10A 的配置的一个采样周期期间提供至数据端口 270 的比特排布。

[0039] 图 11 为重新排序接收到的由端口集中所产生的复用的比特流,以恢复原始信号样本序列的框图。

[0040] 图 12 为在其中 $N_GROUP = 4$ 的块浮点编码器的框图。

[0041] 图 13 示出了选择用于编码的信号样本的 n 比特的示例。

[0042] 图 14 示出了选择代表减少的尾数的比特的示例。

[0043] 图 15 为 n_exp 、 n_LSB 以及 m_exp 的示例值的列表。

[0044] 图 16 为使用减少的尾数的块浮点编码的框图。

[0045] 图 17 示出包括差分操作的压缩单元 210i 的框图。

[0046] 图 18 为解压缩器的框图。

[0047] 图 19 给出了示出在用于压缩具有不同的中心频率的信号样本的替代方式之下的原理的示例。

[0048] 图 20 为基于信号样本的中心频率的压缩算法的框图。

[0049] 图 21 示出基于中心频率产生变更的样本的操作。

[0050] 图 22 给出图 19 的示例的信号样本 $x(i)$ 与 $x(i-j)$ 的和或者差。

[0051] 图 23 为对于关于图 20 描述的压缩器的由解压缩器所执行的操作的框图。

[0052] 图 24 为 GPU 中的解压缩器以及其他用以产生超声图像的操作的实施的框图。

[0053] 图 25 为 CPU/GPU 设备中的解压缩器以及其他用以产生超声图像的操作的实施的框图。

具体实施方式

[0054] 图 1 为依据现有技术的典型医疗超声系统的示例的框图。发送波束形成器 104 为现有技术中的已知构造,比如数字或模拟波束形成器。发送波束形成器 104 响应于系统控制器 102 生成一个或多个激励信号。激励信号具有相关联的中心频率,典型地在 1-20MHz 范围。来自发送波束形成器 104 的激励信号经由发送 / 接收切换器 112 提供至超声换能器 110。超声换能器 110 包含换能器元件 110i 的阵列。超声换能器 110 是允许将超声波耦合到被检查的受试对象的现有技术中的已知构造。换能器元件 110i 发射并且接收超声波。发送 / 接收切换器 112 包括用于发送和接收模式的交换电路。对于发送模式,发送 / 接收切换器 112 将来自发送波束形成器 104 的激励信号耦合至换能器 110。对于接收模式,发送 / 接收切换器 112 将接收的超声信号从换能器 110 耦合至模拟前端 (AFE) 114。为了传输,换能器元件 110i 转换激励信号以产生超声波波形。特别是,换能器 110 响应于发送波束形成器 104,将激励信号转换成在受试对象内的方向上前行的超声波波形。具有拥有不同声阻抗的界面的散射位置反射超声波波形,产生会返回换能器 110 的回声。多个换能器元件 110i 接收回声并将它们转换成多个模拟超声信号。发送 / 接收切换器 112 在采样窗口期间将来自换能器 110 的多个模拟超声信号耦合到 AFE 114。采样窗口对应于时间间隔,在其中接收的回声代表来自在受试对象中期望的深度范围内的散射位置的反射。控制器 102 依据用户输入或者扫描协议设置采样窗口并将定时控制信息提供给发送 / 接收切换器 112。发送 / 接收切换器 112 在采样窗口期间输出并行的多个模拟超声信号。AFE 114 将多个模拟超声信号进行放大并过滤以对模拟到数字转换进行准备。对于每个模拟信号通道 113i, AFE 114 可以包括低噪声放大器 (low noise amplifier, 简称 LNA)、可变增益放大器 (variable gain amplifier, 简称 VGA) 以及低通滤波器。因为接收的信号强度随时间减弱,所以 VGA 应用作为时间的函数增加增益的增益分布。信号强度随时间减弱是由超声波在穿过更多组织的更长路径上的衰减造成的。ADC 库 120 包括多个 ADC 以将在采样窗口期间接收的多个模拟超声信号转换为多个并行的超声信号样本序列。在每个 ADC 输入通道 115i 的模拟超声信号被转换为在相应的 ADC 输出通道 121i 的超声信号样本流。超声信号样本具有非零中心频率,通常对应于与换能器的压电材料的本质、谐振频率相关的接收的超声信号的射频 (RF)。

[0055] 超声信号处理器 130 执行从超声信号样本中提取诊断信息的操作,包括关于图 2 进一步描述的波束形成、下变频转换、B- 模式处理和 / 或多普勒处理。超声信号处理器 130 可以实施为一个或多个处理器,所述处理器比如数字信号处理器 (digital signal processor, 简称 DSP)、现场可编程门阵列 (field-programmable gate array, 简称 FPGA)、微处理器或者计算机的 CPU。扫描转换器 140 执行处理的样本帧的坐标变换以产生具有光栅 (正交直线) 格式的超声图像样本帧。图像处理器 150 能够对超声图像样本应用额外的图像增强操作。显示器 160 提供二维或三维图像供用户分析。

[0056] 图 2 为依据现有技术的超声信号处理器 130 的框图。医疗超声系统能够在输出自 ADC 库 120 的 RF 超声信号样本上执行数字波束形成操作。接收波束形成器 160 对超声信号

样本应用延迟、变迹（衰减）以及加法操作以形成对应于视场中的特定方向的波束形成样本，或者波束的 1-D 阵列。接收波束形成器 160 产生对应于视场中的多个方向的多个波束形成样本的 1-D 阵列。接收波束形成器 160 包括波束形成器 (BF) 存储器 162 以存储用于波束形成 (BF) 计算器 164 的延迟和加法操作的超声信号样本。针对同一接收的脉冲，BF 计算器 164 能够使用取回自 BF 存储器 162 的超声信号样本形成多个波束。BF 计算器 164 能够在相邻超声信号样本之间应用插值算法，以提高计算的波束的相位分辨率。接收波束形成器 160 还能够在加法操作之前对样本应用加权函数，以实施空间窗口功能或者变迹。为每个角度计算的波束形成样本被提供给相应的波束形成器输出通道 161i。接收波束形成器 160 通常具有少于输入通道的，包含 ADC 输出通道 121i 的输出通道 161i。在这种配置中，波束形成样本具有 RF 中心频率。数字下变频转换器 (digital down converter, 简称 DDC) 170 将波束形成样本解调至基带，以生成每个波束的复基带 I 和 Q 样本。作为 DDC 170 的替代或补充，可以对在期望的频率为中心的频带处的波束形成样本应用带通滤波器，或者 DDC 170 可以将波束形成样本解调为中间频率 (intermediate frequency, 简称 IF) 而不是基带。在本领域中的替代结构包括在模拟到数字转换之前的模拟波束形成以及在波束形成之前的超声信号样本的数字下变频转换。

[0057] 诊断信息处理器 180 为期望的类型的超声图像在 I、Q 样本上执行合适的操作。B- 模式处理生成代表回声信号强度的信息。I、Q 样本的幅度可被计算以形成用于 B- 模式成像的检测样本。多普勒处理从 I、Q 样本中估算速度、速度变化以及能量以形成多普勒检测样本。B- 模式检测样本和多普勒检测样本的空间坐标对应于波束形成样本的几何形状。扫描转换器 140 执行检测样本的坐标变换以产生具有适合于显示的光栅格式的数据帧。图像处理 150 在将样本帧作为二维或三维图象显示之前执行样本帧的额外的图像处理。

[0058] 图 3 为在波束形成之前的超声信号样本的绘图。绘图显示由 ADC 阵列中的一个 ADC 所采样的四个脉冲回声的同相位样本。对于这个示例，数字下变频转换在波束形成之前应用到输出自 ADC 的超声信号样本，以形成 I、Q 样本。图 4 为对应于一个波束形成器输出通道的波束形成超声信号的同相位样本的绘图。对于这个示例，波束形成器通过对 I、Q 样本执行延迟与加权函数而结合输出自多个 ADC 的多个 I、Q 样本序列。

[0059] 图 5 为依据优选实施方式的，包括压缩输出自 ADC 库 120 的超声信号样本的超声系统的框图。压缩器 210 包括多个压缩单元 210i。多个压缩单元 210i 压缩代表输出自相应的换能器元件（例如图 1 的 110i）的模拟超声信号的多个信号样本序列，以形成在压缩器输出端 211i 的多个压缩的样本序列。压缩单元 210i 接收来自相应的 ADC 120i 的 ADC 输出的 121i 的，代表在采样窗口期间输出自相应的换能器元件 110i 的模拟超声信号的信号样本序列，其中采样窗口为在其中模拟超声信号代表从受试对象中的相应深度范围反射的回声的时间间隔。压缩单元 210i 独立于代表在相同的采样窗口期间输出自其他换能器元件的模拟超声信号的信号样本，对在它的输入端的特定信号样本序列应用压缩操作，以在压缩器输出端 211i 产生相应的压缩的样本序列。或者，压缩单元 210i 可以压缩来自一个以上 ADC 的样本，其中来自特定 ADC 120i 的信号样本独立于代表在相同的采样窗口期间输出自其他换能器元件的模拟超声信号的信号样本而被压缩。当前描述假设每个 ADC 120i 产生实数值样本序列。或者，如果 ADC 120i 执行正交采样以在每个 ADC 输出端 121i 生成 I 和 Q 样本序列，那么每个 I、Q 样本序列被独立地压缩。压缩在波束形成之前应用到超声

信号样本。压缩的样本跨越数字接口 220 传输到在其中它们被解压缩用于超声处理操作的超声信号处理器 130。数字接口 220 用于传输压缩的样本所需的数据传输带宽相较于用于传输未压缩的超声信号样本流的带宽是减小的。

[0060] 图 6 为依据替代配置的,包括压缩超声信号样本并且在捕获存储器中存储压缩的样本的超声系统的框图。在跨越数字接口 220 传输之后,压缩的样本存储于捕获存储器 230 之中。足够用于存储压缩的样本的捕获存储器 230 的容量减少,从而节省系统资源。解压缩器 240 解压缩取回自捕获存储器的压缩的样本。接收波束形成器 160 对解压缩的样本应用波束形成操作以在每个波束形成器输出通道 161i 形成波束形成样本序列。如关于图 2 描述的,可以在波束形成操作之前对解压缩的样本应用数字下变频转换和 / 或过滤。

[0061] 图 7 为依据替代配置的,其中压缩的样本存储于波束形成器存储器之中的超声系统的框图。接收波束形成器 160 将压缩的样本存储于波束形成器 (BF) 存储器 162 之中并且当波束形成操作需要时取回压缩的样本。解压缩器 240 处理取回自 BF 存储器的压缩的样本并且将解压缩的样本提供给 BF 计算器 164。BF 计算器 164 对解压缩的样本应用波束形成操作。BF 计算器 164 还能够在解压缩的样本上执行关于图 2 描述的,用于空间过滤等的额外的操作。

[0062] 由于压缩的样本相对于原始超声信号样本具有较少的每样本比特,压缩的样本能够使用比未压缩的样本的较少的数据端口跨越数字接口 220 传输。图 8 为包括复用压缩的样本用以跨越较少数据端口传输的超声系统的框图。对于这个示例,ADC 库 120 包括 N 个 ADC 120i, ADC1 到 ADCN,在 N 个 ADC 输出通道 120i 产生信号样本流 X_1 到 X_N 。压缩单元 210i 在 N 压缩器输出端 211i 产生相应的压缩的样本流 Y_1 到 Y_N 。具有降低的比特率的压缩的样本被提供给数据端口 270i。优选地,数据端口 270i 提供低电压差分信令 (low voltage differential signaling, 简称 LVDS) 数据传输。或者,数据端口 270i 可以使用串行器 - 解串行器 (serializer-deserializer, 简称 SerDes) 接口用于数据传输。由 National Semiconductor 于 2008 年 1 月出版的,标题为“LVDS Owner’s Manual Including High-Speed CML and Signal Conditioning”的文件第四版中描述了 LVDS 设备与结构。LVDS 数据传输具有期望的特性,包括 3.125Gbps 的最高数据传输速率、低噪声以及低功耗。差分信令需要在每个通道输出端具有两个 I/O 引脚,一个用于正差分输出而另一个用于负差分输出,被称为 LVDS 对。当在压缩器输出端 Y_i 的压缩的样本的比特率低于端口的最高数据传输速率时,数据端口 270i 具有过剩带宽。通过组合通过给定数据端口 270i 传输的多个压缩样本流,可以利用过剩带宽。复用器 250 将 N 个压缩的样本的序列进行组合以形成 M 个复用的压缩的样本的序列,其中 $M < N$,用以在 M 个数据端口 270i 上传输。可以组合的压缩的样本流的数量受限于数据传输端口 270i 的带宽。例如,对于 $N = 16$ ADC,其中每个 ADC 以每秒 50 兆样本 (megasamples per sec., 简称 Msps) 的采样速率产生具有每样本 12 比特的超声信号样本,在每个 ADC 输出通道 121i 的比特率为 600Mbps。假设数据端口 270i 具有高达 800Mbps 的数据传输速率并且压缩器 210 产生 3 : 1 的压缩比。在压缩器输出端 121i 的压缩的样本序列 Y_i 具有 200Mbps 的比特率。在这种情况下,一个数据端口 270i 具有足够的带宽以 800Mbps 的数据传输速率传输来自四个压缩器输出端的压缩的样本。对于这个示例,复用器 250 组合来自四个压缩的序列 Y_i 、 Y_{i+1} 、 Y_{i+2} 和 Y_{i+3} 的组中的压缩的样本,以在一个复用器输出端 251i 形成相应的复用的压缩的样本序列 Z_j 。在这个示例中,复用的压

缩的样本序列与相应的活动数据端口的数量为 $M = N/4 = 4$ 。串行器 260 向相应的数据端口 270i 提供比特序列。

[0063] 复用压缩的样本以使用 M 个数据端口的优点包括使用较少的物理数据端口,这反过来减少数据端口的连接并且降低其功耗。在其中压缩的样本的比特率被固定的应用中,复用器 250 具有对于固定数量的物理数据端口 270i 的固定数量的复用器输出端 251i。或者,灵活架构能够依据压缩的样本的比特率提供可变数量的活动数据端口。对于灵活架构,压缩器 210 依据用户可选的压缩比参数,在不同的比特率提供压缩的样本。压缩控制器(未在图 8 中示出)为压缩单元 210i 提供压缩控制参数,从而操作产生具有对应于期望的压缩比的比特率的压缩的样本。压缩控制器为复用器 250 提供复用控制参数以指示需要在复用器输出端 251i 产生的复用的压缩的样本序列的数量。压缩控制器还能够响应于用户输入断电不活动数据端口,从而进一步节能。

[0064] 数据端口 270i 仍可以对于特定的比特率和每样本比特的值具有过剩带宽,即便不压缩信号样本的情况下也是。当采样速率与每样本比特数量的乘积的结果为在 ADC 输出端 121i 的比特率低于数据端口 270i 的最高数据传输速率的比特率时,数据端口 270i 具有过剩带宽。例如,假设 ADC 时钟频率为 50 兆赫兹 (MHz),对应于 50MSPS,并且样本宽度为每样本 12 比特从而每个 ADC 120i 每秒产生 600 兆比特 (Mbps)。对于每个数据端口 270i,数据传输速率将会是 600Mbps。对于具有 800Mbps 的最高数据传输速率的 LVDS 端口,每个端口有 200Mbps 的未使用带宽。数据端口 270i 在 600Mbps 上传输数据时将会消耗与当它们在 800Mbps 的满容量上传输数据时相同的功率,因为 LVDS 接口是恒定电流(从而是恒定功率)连接。端口集中通过组合来自多个 ADC 输出端的比特并且在较少的端口上以更快的速率传输组合的数据而利用过剩数据传输容量。每个数据端口在高于 ADC 比特率并且直到每个数据端口 270i 的最高数据传输速率的速率上传输组合的数据。

[0065] 图 9 为对 ADC 输出端 121i 应用端口集中的超声系统的框图。在 N 个 ADC 输出端 X_1 到 X_N 的 N 个超声信号样本序列被输入到复用器 252。复用器 252 组合来自一组 ADC 输出端组的样本以形成 M 条复用的信号样本通道 R_1 到 R_M ,其中 $M < N$ 。每条通道 R_i 具有高于在 ADC 输出端 121i 的 ADC 比特率,但是低于或者等于数据端口 270i 的以每秒比特计的最高数据传输速率的比特率。复用器 250 通过将每个采样周期的 N 个信号样本的比特映射到 M 个比特子集而组合样本。串行器 262 串行化每个比特子集用以由相应的数据端口 270i 传输。考虑上面的例子,其中额外地,ADC 的数量 N 为 16。以 600Mbps 的 ADC 比特率输出自 16 个 ADC 120i 的信号样本可以组合成 12 个比特流,每个具有 800Mbps 的比特率。12 个活动数据端口 270i 将会传输这 12 个每一个在 800Mbps ($800\text{Mbps} \times 12 = 600\text{Mbps} \times 16$) 的数据传输速率上的比特流。取决于采样速率、每样本比特数量以及最高数据传输速率,可以有几种配置。

[0066] 图 10A 为包括用于传输来自十六个 ADC 的数据的十二个数据端口的端口集中配置的框图。配置能够容纳对应于高达 50MHz 的 ADC 时钟频率的高达 50MSPS 的采样速率。ADC 输入时钟 118 带有频率对应于 ADC 采样速率的时钟信号。ADC 120 响应于 ADC 输入时钟 118,以采样速率对输入模拟信号进行采样。复用器 252 接收输出自 ADC 库 120 的信号样本。四个 ADC 120h、120i、120j 和 120k 为一个复用器 252i 提供信号样本。复用器 252i 包括三个输出端 253i、253j 和 253k。复用器 252i 重新排序它在每个采样周期期间接收的样本的 48

个比特并且分配重新排序的比特到三个串行器 262i、262j 和 262k。每个串行器 262i、262j 和 262k 接收 48 个重新排序的比特子集,在此例中为 16 个,并且串行化它们用以由相应的端口 270i、270j 和 270k 传输。锁相环 (phase lock loop,简称 PLL) 280 产生具有 16 倍于 ADC 时钟频率的频率的数据时钟 281。PLL 280 在 ADC 输入时钟上操作以产生用于串行器 262 和数据端口 270 的数据时钟 281。数据时钟频率对应于输出自每个串行器 262i 的比特的数据传输速率。数据时钟频率为 ADC 时钟频率乘以每采样周期中复用的比特的数量,在此例中为 16。12 个数据端口 270 以 16 倍于采样速率的数据传输速率传输被串行化的比特。

[0067] 图 10B 示出针对图 10A 的配置的一个采样周期期间提供至数据端口 270 的比特排布。表 290 描绘在一个采样周期期间输出自 16 个 ADC 的样本比特的比特映射。对于具有四个复用器 252 和三个串行器 262 的配置,复用器 252 将每个信号样本的比特分组入 4 比特的块。复用器 252i 将第一比特块引导向串行器 262i,将第二比特块引导向串行器 262j 并将第三比特块引导向串行器 262k。线 290i、290j 和 290k 相应地代表对串行器 262i、262j 和 262k 的比特映射。以每个串行器 262 在一个采样周期期间输出 16 个映射的比特为条件,可以使用产生不同比特顺序的其他比特映射。在跨越数字接口 220 传输之后,接收的复用的比特依据逆向比特映射而重新排序以恢复原始信号样本序列。

[0068] 图 11 为重新排序接收到的由端口集中所产生的复用的比特流,以恢复原始信号样本序列的框图。在端口集中模式中,接收器需要较少的输入数据端口 310,从而节省电能并且降低复杂度。输入数据端口 310 为 LVDS 接收器。每个 LVDS 接收器接收由 LVDS 传输所产生的差分信号并且生成再现相应的接收的比特的逻辑状态。解串行器 315 将接收的串行比特转换为 M 个并行的复用的信号样本通道 R_1 到 R_M 。解复用器 320 将复用的信号样本的比特重新排列为信号样本的原始序列 X_1 到 X_N 的顺序。超声信号处理器 130 随后对再现的信号样本序列应用操作,比如波束形成或数字下变频转换。对于端口集中模式的其他备选方案在 '988 申请中描述。

[0069] 由压缩单元 210i 应用的压缩方法包括块浮点编码以及由块浮点编码所跟随的对信号样本的一阶或高阶导数的计算。Huffman 或者其他类型的编码可以是块浮点编码的替代方法。

[0070] 压缩单元 210i 的优选实施方式对来自 ADC 输出端 121i 的连续的信号样本组应用块浮点编码,每组具有 N_GROUP 个样本。 N_GROUP 个样本的最高指数被编码,并且 N_GROUP 个样本依照以下步骤编码。

[0071] 对于第一组 N_GROUP 个样本:

[0072] 1) 比如通过计算每组 N_GROUP 个样本中的最高幅度的 $\log_2$,为具有最高幅度的样本确定指数 (以 2 为底)。这指示每个被编码的样本中的比特数量或者 $n_exp(0)$ 。

[0073] 2) 使用 S 比特对第一组的指数 $n_exp(0)$ 绝对编码,其中 S 为每样本比特的原始数量。

[0074] 3) 使用每样本 $n_exp(0)$ 比特对 N_GROUP 个样本编码。

[0075] 对于第 i 组 N_GROUP 个样本 ($i > 0$):

[0076] 4) 为具有最高幅度的样本确定第 i (以 2 为底) 指数,其指示在第 i 组中的每个被编码样本的比特数量,或者 $n_exp(i)$;

[0077] 5) 通过从 $n_exp(i-1)$ 中减去 $n_exp(i)$ 以确定第 i 差值,从而差分编码第 i 指数。

使用相应的令牌编码第 i 差值,其中较短的令牌代表更常见的差值而较长的令牌代表较不常见的差值。

[0078] 6) 使用每样本 $n_{\text{exp}}(i)$ 比特编码第 i 组 N_{GROUP} 个样本。

[0079] 对于第一组样本,指数 $n_{\text{exp}}(0)$ 被直接编码。例如,指数 $n_{\text{exp}}(0)$ 可以按如下编码,其中 S 为每样本比特的原始数量:

[0080] a. 0 : $n_{\text{exp}}(0) = 0$ (全部 4 个样本值为零)

[0081] b. 1 : $n_{\text{exp}}(0) = 2$ (每样本 2 比特)

[0082] c. 2 : $n_{\text{exp}}(0) = 3$ (每样本 3 比特)

[0083] d. 其他直到 $S-1$: $n_{\text{exp}}(0) = S$ (每样本 S 比特)

[0084] 对于第 i 组,指数 $n_{\text{exp}}(i)$ 使用前缀码差分编码,其中没有码字为另一个码字的前缀。优选的差分编码如下:

[0085] 1. 计算差分 : $e_{\text{diff}} = n_{\text{exp}}(i) - n_{\text{exp}}(i-1)$

[0086] 2. 编码 e_{diff} 如下:

[0087] a. 0 : $e_{\text{diff}} = e(i) - e(i-1)$

[0088] b. 101 : $e_{\text{diff}} = +1$

[0089] c. 110 : $e_{\text{diff}} = -1$

[0090] d. 1001 : $e_{\text{diff}} = +2$

[0091] e. 1110 : $e_{\text{diff}} = -2$

[0092] f. 其他。

[0093] 或者,指数 $n_{\text{exp}}(i)$ 可以被 Huffman 编码而不是被差分编码。

[0094] 图 12 为在其中 $N_{\text{GROUP}} = 4$ 的块浮点编码器的框图。如在步骤 1 和步骤 4 中,指数计算器 402 为 N_{GROUP} 个样本确定比特最大指数 n_{exp} 。如在步骤 2 和步骤 5 中,指数令牌生成器 404 编码 n_{exp} 值。如在步骤 3 和步骤 6 中,尾数打包器 406 为 N_{GROUP} 个样本编码尾数。图 13 示出了选择用于编码的信号样本的 n 比特的示例。输入信号样本 420 由 K 比特代表。样本 420 的 n_{exp} 较低比特被选择用于编码。样本的符号比特被附加到选择的比特,而产生的比特序列代表尾数。返回图 12,复用器 408 打包由 N_{GROUP} 个尾数所跟随的编码的指数令牌 411 以形成代表 N_{GROUP} 个压缩的样本的压缩组 410。对于这个示例,压缩组 410 包括由四个打包的尾数序列 412-0、412-1、412-2 和 412-3 所跟随的指数令牌 411。压缩单元 210 i 连接连续的压缩组以在压缩器输出端 211 i 形成压缩包的数据部分。 N_{GROUP} 的优选的大小为每组三个或四个样本。但是,也可以使用可变的组大小。

[0095] 分别编码尾数和指数能够提供额外的压缩并且减轻压缩误差。连续指数的差值被计算并编码。指数缓慢的变化,所以有一些由零值串所分离的非零值。可以通过仅代表非零差值以及它们相应的位置而高效的编码指数差值。位置可以由相应的索引值或者相对于最后的非零差值的位置代表。指数差值的编码是无损的,这防止相对较大的误差。为了解码指数,指数值通过积分指数差值并解码相应的位置而重建。为了解码尾数,每个重建的尾数值被限制使得它不改变被解码的样本的相应的指数的值。对于 n_{exp} 的解码的指数,重建的尾数可以具有 $2^{n_{\text{exp}}}-1$ 的最大值。这防止了在尾数中的压缩误差对指数值的改变。

[0096] 替代的块浮点编码方法包括降低代表尾数的比特数量以及如上所述的指数的差分编码。代表 N_{GROUP} 个样本的尾数的比特数量通过从每个尾数选择性地去掉的一定数量

的最不重要比特 (LSB) (取决于组的 n_{exp} 值) 而减少。图 14 示出了选择代表减少的尾数的比特的示例。 n_{exp} 如同在以上步骤 1 和步骤 4 中那样确定。比特的一定数量的 n_{LSB} 从最不重要的比特开始去除, 而不是对尾数的全部 n_{exp} 较低比特编码。剩余的 m_{exp} 比特 ($m_{\text{exp}} = n_{\text{exp}} - n_{\text{LSB}}$) 被选择用以编码。 n_{LSB} 的值依据公式或者列表, 取决于 n_{exp} 的值。图 15 为 n_{exp} 、 n_{LSB} 以及 m_{exp} 的示例值的列表。对于较大的 n_{exp} 值, 更多 LSB 通过截尾或者舍入而去除, 以形成具有 m_{exp} 比特的减少的尾数。例如, 如果 n_{exp} 为 12, 那么去除 3 个 LSB 以便保留 9 个尾数比特用以打包 N_{GROUP} 减少的尾数。压缩器 210 能够存储 n_{exp} 、 n_{LSB} 和 m_{exp} 的值的查询表。或者, 压缩器 210 可以将 n_{LSB} 和 m_{exp} 表示为 n_{exp} 的函数并且在需要时计算它们的值。图 16 为使用减少的尾数的块浮点编码的框图。对于每一组 N_{GROUP} 个样本, 指数计算器 402 如以上所述确定最大指数 n_{exp} 。尾数比特计算器 414 使用查询表或公式确定在减少的尾数中的比特的数量 m_{exp} 。减少的尾数打包器 416 为 N_{GROUP} 个样本中的每一个选择 m_{exp} 比特。复用器 408 随后打包由减少的尾数 419-0、419-1、419-2 和 419-3 所跟随的指数令牌 411 以形成压缩组 418。对于某些条件, 不从 N_{GROUP} 个样本组中去除 LSB。例如, 当 N_{GROUP} 个样本中的一个或多个的样本的幅度小于可接受的最低值时, 包括原始 LSB 的 N_{GROUP} 个尾数将会被打包。压缩的样本序列可以包括具有或不具有减少的尾数的压缩组。

[0097] 压缩控制器为压缩单元 210i 提供压缩控制参数用于块浮点编码。可以有多种用于 n_{LSB} 、 m_{exp} 和 n_{exp} 的替代的查询表或公式。压缩控制参数包括 N_{GROUP} 以及用于 n_{LSB} 、 m_{exp} 和 n_{exp} 的替代的查询表或公式的选择参数。压缩控制参数对于所有的压缩单元 210i 可以是一致的。或者, 压缩控制参数对于不同的压缩单元 210i 可以具有不同的值。压缩控制器能够响应于用户输入以选择压缩控制参数。

[0098] 可以将压缩的样本插入压缩包的数据部分用以在数字接口 220 上传输。对应于由 ADC 120i 所数字化的接收的脉冲的压缩的样本序列可以安排在一个或多个压缩包中。或者, 如关于图 9 所述, 可以将来自多个 ADC 120i 的压缩的样本序列相组合以形成压缩包用以在给定的数据端口 270i 上传输。压缩包的头部部分包含包的标识信息。头部还可以包含代表在包中压缩的样本的压缩控制参数的控制数据。解压缩器 240 可以使用关于压缩控制参数的信息以配置解压缩操作。

[0099] 为了解压缩, 解压缩器 240 对压缩的样本序列应用块浮点解码。对于每组 N_{GROUP} 个压缩的样本, 解压缩器 240 解码指数令牌以确定 n_{exp} 的值。被差分编码的指数被积分以形成 n_{exp} 的值。 N_{GROUP} 个尾数随后通过为来自压缩组 410 或 418 的每个尾数的比特解包以及将比特映射到解压缩的样本而重建。解压缩的样本可以由原始数量的每样本比特或者不同数量的每样本比特代表, 取决于超声信号处理器 130 的下游处理要求。对于使用减少的尾数的块浮点编码器, 解压缩器 240 还包括用于基于 n_{exp} 的解码值确定 n_{LSB} 的值的查询表或公式。减少的尾数的解包的比特由 n_{LSB} 比特附加, 其可为零或抖动值, 以近似原始样本值。

[0100] ‘553 专利描述用于某些带限信号的压缩和解压缩的算法。以下描述的某些替代的压缩方法为用于超声信号样本的 ‘533 专利的算法的改进。

[0101] 用于压缩超声信号样本的另一种替代方式为计算由编码所跟随的差分。计算超声信号样本的一阶或更高阶差分可以产生具有小于原始信号样本的幅度的差分样本。编码差

分样本可以造成比编码样本本身更高的压缩。如上所述,计算 ADC 输出端 121i 的连续的样本的差分能够由差分样本的块浮点编码所跟随。在这种情况下,输入块浮点编码器的是差分样本,而不是 ADC 输出 121i 的信号样本。或者,可以对差分样本应用 Huffman 编码或者其他编码。

[0102] 图 17 示出包括差分操作的压缩单元 210i 的框图。压缩单元 210i 接收来自 ADC 120i 的超声信号样本。压缩控制器 340 为每个压缩单元 210i 的差分运算器 330i 和编码器 332i 提供压缩控制参数。用于差分运算器 330i 的压缩控制参数可以选择一阶、二阶或者更高阶差分。差分运算器 330i 应用选择的差分阶以产生差分样本。压缩控制参数还可以选择绕过差分操作以便编码器 332i 编码信号样本而不是差分样本。用于编码器 332i 的压缩控制参数能够如以上所述,为块浮点编码器,或者为 Huffman 编码器或者另一个编码器指示参数。压缩控制参数对于不同的压缩单元 210i 可以是相同的或者不同的。

[0103] 图 18 为解压缩器 240 的框图。根据系统架构,解压缩器接收来自数字接口 220、捕获存储器 230 或者波束形成器存储器 162 的压缩的样本。解码器 352 逆转编码器 332i 的操作以形成解码的样本。例如,解码器 352 执行块浮点解码、Huffman 解码或者其他解码。积分运算器 354 添加解码的差分样本,以逆转压缩所执行的一阶或更高阶差分。如果未执行差分用于压缩,积分运算器 354 将被绕过。解压缩控制器 350 将控制参数提供给解码器 352 和积分运算器 354。解压缩控制器 350 能够从压缩的数据包的头部提取控制数据用以解压缩操作确定控制参数。

[0104] 用于压缩的另一种替代方式基于中心频率和采样速率对超声信号样本应用算术运算。图 19 给出了示出在用于压缩具有不同的中心频率的信号样本的替代方式之下的原理的示例。以对应于图 19 中的标记为“带 1”的行的基带信号的示例开始,中心频率接近于 DC(0Hz) 并且连续的样本之间的相位增加小于 10 度。第一相量图 710 示出,因为连续的样本之间的相位变化很小,所以连续的样本的差分的幅度相较于样本本身的幅度相对较小。第一示例序列 712 对应于带 1 基带信号的样本。由于连续的样本之间的差分相对于样本幅度较小,计算一阶或更高阶差分,或者差分编码产生具有小于原始样本的数据宽度的差分样本。对于基带(带 1)示例,使用关于图 17 描述的差分编码压缩是高效的。

[0105] 图 19 还给出其中中心频率在 DC 之上,但是低于奈奎斯特(Nyquist)频率的 $f_s/2$ 的采样信号的示例。对于带 2,中心频率为接近 $f_s/6$ 而连续样本之间的相位增加为大约 60 度。第二相量图 720 示出,由 180 度,或者三个采样间隔所分隔的样本对,如样本对 (720-0, 720-3)、(720-1, 720-4) 和 (720-2, 720-5) 所示,具有相似的幅度以及相反的极性。反相对中的一个样本[或者乘以 (-1)]提供对中的另一个样本的接近估计。第二示例序列 722 还示出由三个采样间隔所分隔的样本具有相似的幅度以及相反的正负号。例如,样本 722-0 的值为 32767 而样本 722-3 的值为 -32756。对于带 2,在由三个采样间隔所分隔的样本对上的操作产生具有较小数据宽度的变更的样本。将对中的样本相加在一起的操作产生能够被更高效编码的具有较小数据宽度的变更的样本。

[0106] 对于图 19 中的带 3 的示例,中心频率为接近 $f_s/4$ 而连续样本之间的相位增加为大约 90 度。第三相量图 730 示出,由 180 度,或者两个采样间隔所分隔的样本,具有相似的幅度和相反的极性。第三示例序列 732 还示出,每隔一个样本都具有相似的幅度和相反的极性。对于带 3,将每隔一个样本相加将会产生具有能够以比原始样本更高的效率编码的较

小数据宽度的变更的样本。

[0107] 对于图 19 中的带 4 的示例,中心频率为接近 $f_s/3$ 而连续样本之间的相位增加为大约 120 度。第四相量图 740 示出,由 360 度,或者三个采样间隔所分隔的样本,将具有相似的幅度。第四示例序列 742 示出,每三个样本具有相似的幅度。在这种情况下,在由 3 个采样间隔所分隔的样本之间形成差分将会给出能够以比原始样本更高的效率编码的具有较小数据宽度的变更的样本。

[0108] 对于图 19 中的带 5 的示例,中心频率为 $f_s/2$ 而连续样本之间的相位增加为大约 180 度。第五相量图 750 示出,由 180 度,或者一个采样间隔所分隔的样本,将具有相似的幅度以及相反的极性。第五示例序列 752 示出连续样本具有相似的幅度和相反的极性。在这种情况下,将两个连续样本相加将形成能够以比原始样本更高的效率编码的具有较小数据宽度的变更的样本。

[0109] 上述对于图 19 描述的示例示出,幅度降低能够通过根据采样速率与中心频率的比率,在由 1、2 或 3 个采样间隔所分隔的信号样本上,执行比如加(或者反相随后减)或减(或者反相随后加)的操作而实现。产生的变更的样本随后被编码以形成压缩的样本。类似的操作可以根据中心频率与采样速率的比率,应用到由四个或更多个采样间隔所分隔的样本,以产生具有比原始样本较小的数据宽度的变更的样本。

[0110] 图 20 为基于信号样本的中心频率的压缩算法的框图。ADC 120i 将超声信号样本提供给重新排序解复用器 810。重新排序解复用器 810 选择信号样本,从而使选择的样本依据压缩控制参数 852 由合适数量的采样间隔所分隔,以形成解复用器输出 812。算术运算器 830 依据压缩控制参数 856 在解复用器输出样本对 812 上执行加或减操作,以形成变更的样本 832。算术运算器 830 还可以被配置以在解复用器输出样本 812 上执行更高阶差分。编码器 840 对变更的样本 832 进行编码,以形成压缩的信号样本。编码器 840 应用块浮点编码、Huffman 编码或者其他编码以形成压缩的样本。针对块浮点编码,变更的样本 832,而不是 ADC 输出端 121i 的信号样本,被输入块浮点编码器。

[0111] 压缩控制器 860 基于采样速率与信号样本的中心频率的比率,将控制参数提供给压缩器元件。重新排序解复用器 810 和算术运算器 830 相应地响应于压缩控制参数 852 和 856,以执行合适的操作。图 21 示出基于中心频率产生变更的样本 832 的操作。第一列 871 给出对于这个示例的可能的中心频率。第二列 872 给出对每个中心频率的相应的频带指示符。指示符可作为压缩控制 852 和 856 的参数使用。第三列 873 给出可依据压缩控制参数 852 产生的在重新排序解复用器输出 812 的样本 $x(i)$ 和 $x(j)$ 的不同分隔。第四列 874 示出依据压缩控制参数 856 选择加或减的算术运算的结果。当逆转器在延迟的样本“上”时, $x(i-j)$ 被减去。第五列 875 示出产生变更的样本 832,或 $y(i)$ 的算术运算器 830 的数学结果。压缩控制器 860 还提供编码器 840 的控制。压缩控制参数 858 能够指示块浮点编码或者其他编码技术的参数。

[0112] 图 22 给出如关于图 15 和 16 描述的对于不同中心频率计算出的图 19 的示例的信号样本 $x(i)$ 与 $x(i-j)$ 的和或者差。信号样本的示例序列与图 19 中的那些相同。在示例序列 912 和 942 中的 DIFF 行以及在示例序列 922、932 和 952 中的 SUM 行中的样本具有基本上低于相应的信号样本,或 $x(i)$ 的幅度。DIFF 样本和 SUM 样本为输入至图 20 中的编码器 840 的变更的样本 932 的示例。

[0113] 图 23 为对于关于图 20 描述的压缩器 210 的解压缩器 240 所执行的操作的框图。压缩的样本由解码器 910 根据系统架构接收自数字接口 220、捕获存储器 230 或者波束形成器存储器 162。解码器 910 在压缩的数据上解包并且执行解码操作,譬如块浮点解码,以形成解码的变更的样本。逆转算术运算器 920 执行算术运算器 830 的逆转运算以从解码的变更的样本重建信号样本。复用器 930 将原始次序恢复到解压缩的信号样本以重建超声信号样本序列。解压缩控制器 940 将控制参数提供给解码器 910、逆转运算器 920 以及复用器 930。解压缩控制器 940 能够从压缩的数据包的头部中提取控制数据以确定用于解压缩操作的控制参数。

[0114] 压缩器 210 的实施方式应用能够实时的,或者以至少与采样速率一样快的速率压缩输出自 ADC 的样本的简单操作。差分运算器 330i (图 17) 包括一个或多个减法器。块浮点编码 (图 13 和 16) 使用比较器、减法器以及查询表。或者, Huffman 编码使用查询表为值分配编码。关于图 20 描述的压缩操作包括解复用、加以及减。用于解压缩器 240 的实施方式应用简单的操作以解压缩被压缩的样本。解压缩器 240 包括用于块浮点解码的查询表和加法器。积分运算器 354 (图 18) 包括一个或多个用于积分解码的样本的加法器。图 23 中的解压缩器 240 的操作包括加、减和复用。

[0115] 在超声系统中本发明的优选实施方式将压缩器 210 和 ADC 库 120 集成在单独的专用集成电路 (application specific integrated circuit, 简称 ASIC) 设备中。参考图 5 的框图, ADC 库 120 与压缩器 210 集成在具有模拟输入端和数字输出端的混合信号集成电路设备中。N (多个) 独立的 ADC 120i 并行地将 N 个输入模拟超声信号转换为 N 个数字超声信号。ADC 120i 可以由包含多个快闪式转换器级的流水线数据转换器或者其他 ADC 架构实施。用于 ADC 的知识产权 (intellectual property, 简称 IP) 核商业上可得到用于 ASIC 实施。ADC 输出通道 121i 与实施压缩器 210 的数字逻辑耦合。压缩器 210 的优选实施方式包括多个并行的压缩核, 其中每个压缩核与 ADC 120i 中的一个耦合并且实施一个压缩单元 210i 的压缩操作。或者, 一个压缩核可以实施多个压缩单元 210i 以压缩来自一个以上 ADC 120i 的信号样本。对于这种替代方式, 压缩核包括缓冲器以存储来自不同 ADC 120i 的信号样本, 直到它们被处理。压缩操作还可以在可现场可编程门阵列 (FPGA) 中实施。如图 8、9 和 10 中所示, 压缩的样本可以通过 LVDS 端口 270i 输出到数字接口 220。LVDS 接口的 IP 核商业上可得到用于 ASIC 和 FPGA 实施。替代实施包括在耦合到并行 ADC 设备的输出端的独立的设备中的压缩操作。压缩操作可以在 ASIC、FPGA 或者比如数字信号处理器 (DSP)、微处理器、微控制器、多核 CPU (比如 IBM Cell), 或者图形处理单元 (GPU; 比如 Nvidia GeForce) 等可编程处理器中实施。

[0116] 根据超声系统架构, 解压缩器 240 可被并入超声信号处理器 130 的同一设备或者作为与其不同的设备。解压缩操作可以在 ASIC 或者 FPGA 中实施。或者, 解压缩操作可以在可由比如 DSP、微处理器、微控制器、CPU 或者 GPU 等可编程处理器执行的软件或固件程序中实施。解压缩器 240 的优选实施为具有可由 GPU 执行的解压缩操作的指令的软件程序。GPU 也可以被编程以在解压缩的样本上实施超声信号处理器 130 的至少一部分操作, 比如波束形成操作。或者, 解压缩的样本可以传输到另一个可编程处理器, 比如 CPU, 用于超声信号处理操作。

[0117] 图 24 为 GPU 中的解压缩器 240 以及其他用以生成超声图像的操作的实施的框

图。当前的 GPU 架构包括多个被优化用于并行计算的处理器核。例如, Nvidia GeForce GTS 150 GPU 包括 128 个处理器核。Nvidia 的“CUDA”(Compute Unified Device Architecture, 计算统一设备架构)是包括用于在 GPU 的处理器核上实施并行算法的 C 语言的扩展的应用编程接口(application programming interface, 简称 API), 其在标题为“Getting Started with CUDA”的文件(Ruetsch 和 Oster, Nvidia Corp., 2008)中描述。以下所述的比如 OpenCL 和 Larrabee 之类的替代的 GPU 和编程方法可以提供实施平台。对于图 24 中描绘的实施, GPU 设备 1000 可被编程以执行解压缩器 240、超声信号处理器 130(波束形成、B- 模式处理以及多普勒处理)、扫描转换器 140 以及图像处理器 150 的操作。GPU 设备 1000 可以包括可由并行处理单元访问的动态随机访问存储器(dynamic random access memory, 简称 DRAM) 1002。DRAM 1002 可以存储由 GPU 的其他处理操作所产生的数据和压缩的和 / 或解压缩的样本。系统控制器 1010 提供用于从接收的数据产生超声图像的任务的协调并响应于用户指令。CPU 1012 可以实施支持解压缩的操作, 比如从压缩包的头部解码压缩控制参数并将它们提供给 GPU 设备 1000 用于解压缩操作的配置。DRAM 1016 可以存储接收自数字接口 220 的压缩的样本以及其他 CPU 操作所需的数据。通信控制器 1014 将接收自数字接口 220 的压缩包引导至 DRAM 1002 或 DRAM 1016 并且管理系统控制器 1010 和 GPU 设备 1000 之间的数据交换。

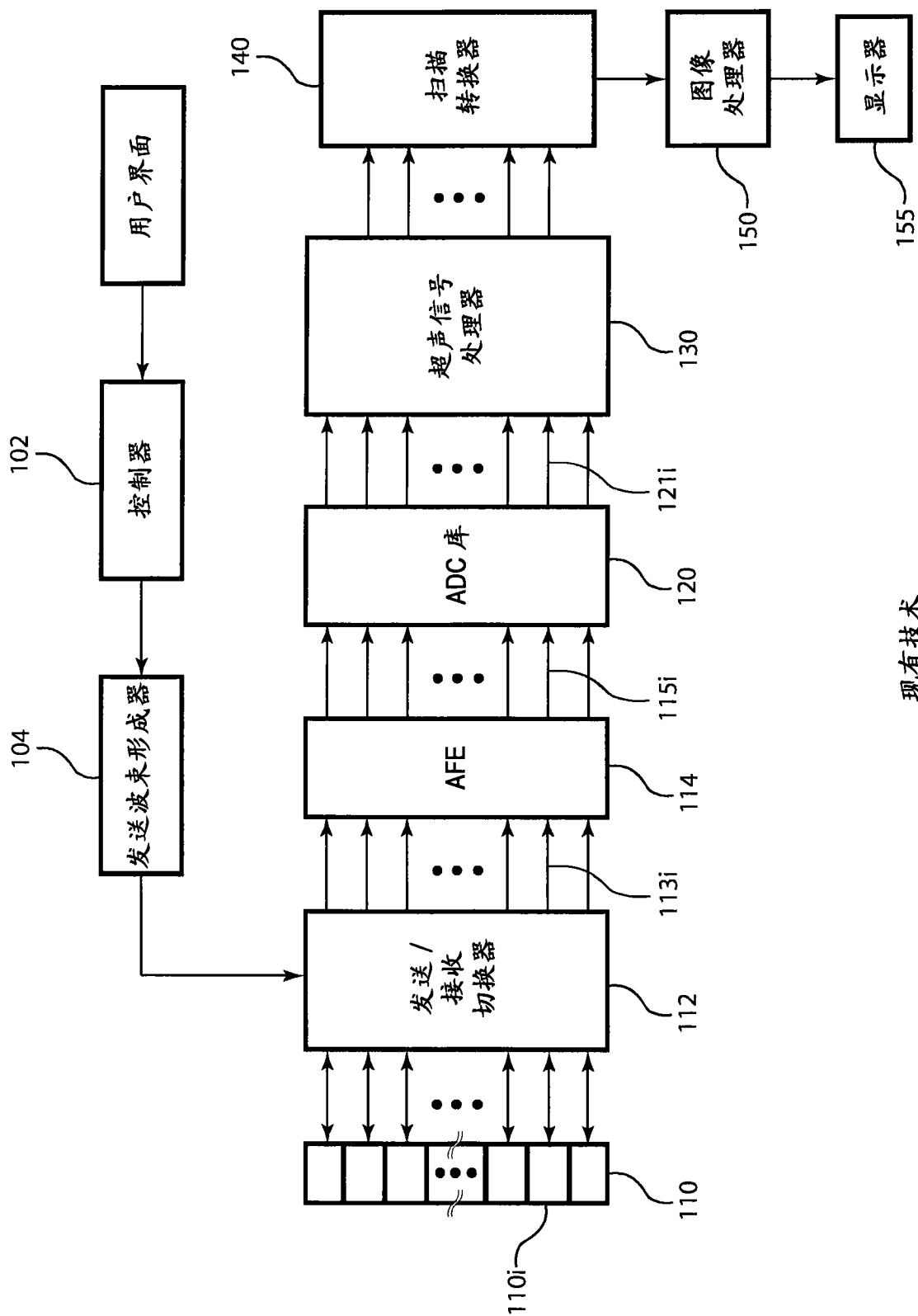
[0118] 在优选的系统架构中, 系统控制器 1010 可以在具有用于显示的屏幕 160 的计算机的主板中实施。GPU 设备 1000 可以在包括 DRAM 1002, 与系统控制器 1010 通过 PCIe(Peripheral Component Interconnect Express, 外围组件互连高速)背板链路而通信的图形卡中实施。或者, GPU 设备 1000 可以在安装在主板上的 IC 中实施。在其中 ADC 库 120 和压缩器 210 安装在数据采集卡中的系统架构中, 数字接口 220 可以由 PCIe 背板链路所实施。

[0119] 应该认识到, 依照摩尔定律(Moore's Law), 更高水平的集成将提供更加紧凑的设备, 从而系统控制器 1010 和 GPU 设备 1000 可以在单一的 IC 中实施。例如, Intel Corporation 正在开发包括多个以向量处理单元增强的 x86 CPU 核的实例的多核 IC 架构。此架构被称为 Larrabee, 在标题为“Larrabee: A Many-Core x86 Architecture for Visual Computing”的文件(Seiler 等人, ACM Transactions on Graphics, Vol. 27, No. 3, Article 18, August 2008)中描述。Larrabee 架构支持需要包括图形处理的并行处理的应用。“Larrabee Native”编程模型包括用于并行编程和向量化的 C/C++ 和 API。

[0120] 图 25 为 CPU/GPU 设备中的解压缩器 240 以及其他用以产生超声图像的操作的实施的框图。CPU/GPU 设备 1020 可以实施解压缩器 240、超声信号处理器 130、扫描转换器 140 和图像处理器 150 的操作。CPU/GPU 控制器 1022 协调在接收自数字接口 220 的压缩的样本上的处理操作并响应用户输入。CPU/GPU 设备 1020 可以由 Larrabee 平台或者其他具有集成的 CPU 和 GPU 功能的可编程设备所实施。

[0121] 在其中 ADC 库 120 和压缩器 210 被安置于换能器头中的系统架构中, 数字接口 220 可以为有线或无线通信链路。对于有线通信链路, 数字接口可以由 PCIe 电缆链路或者光纤链路所实施。对于无线通信链路, 数字接口可以提供数字调制以及经由射频信道的压缩包的传输以及接收的压缩包的数字解调。无线链路可以遵守无线通信协议, 比如 WiFi(IEEE 802.11) 或者 UWB(ultra-wideband, 超宽带)格式。

[0122] 虽然示出和描述了本发明的优选实施方式,应该清楚,本发明不仅仅限定在这些实施方式。众多修改,变化,变异,替代和等效将会在不背离在权利要求中所描述的本发明的精髓和范围的前提下对本领域中的技术人员来说是明显的。



现有技术

图 1

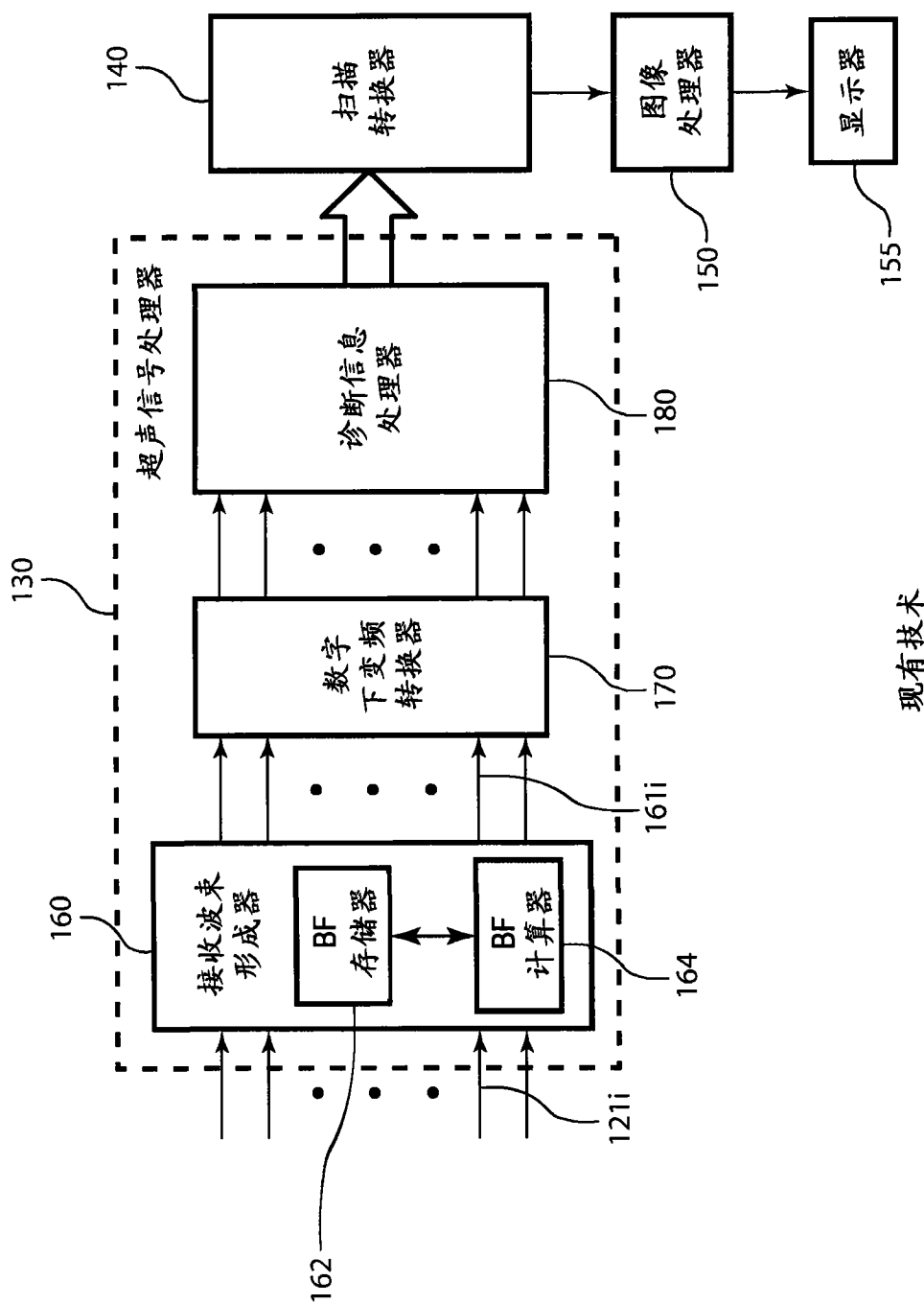


图 2

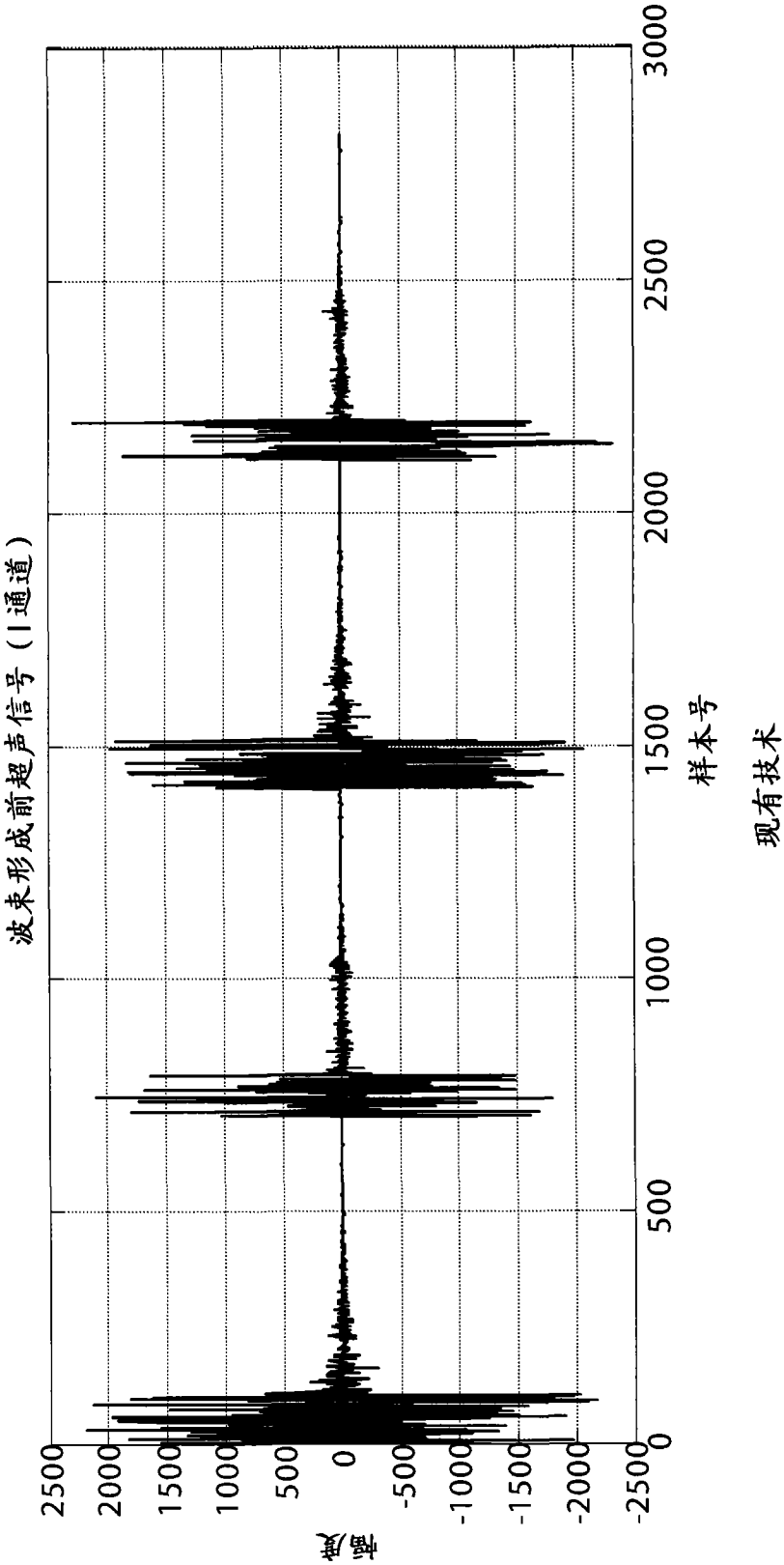


图 3

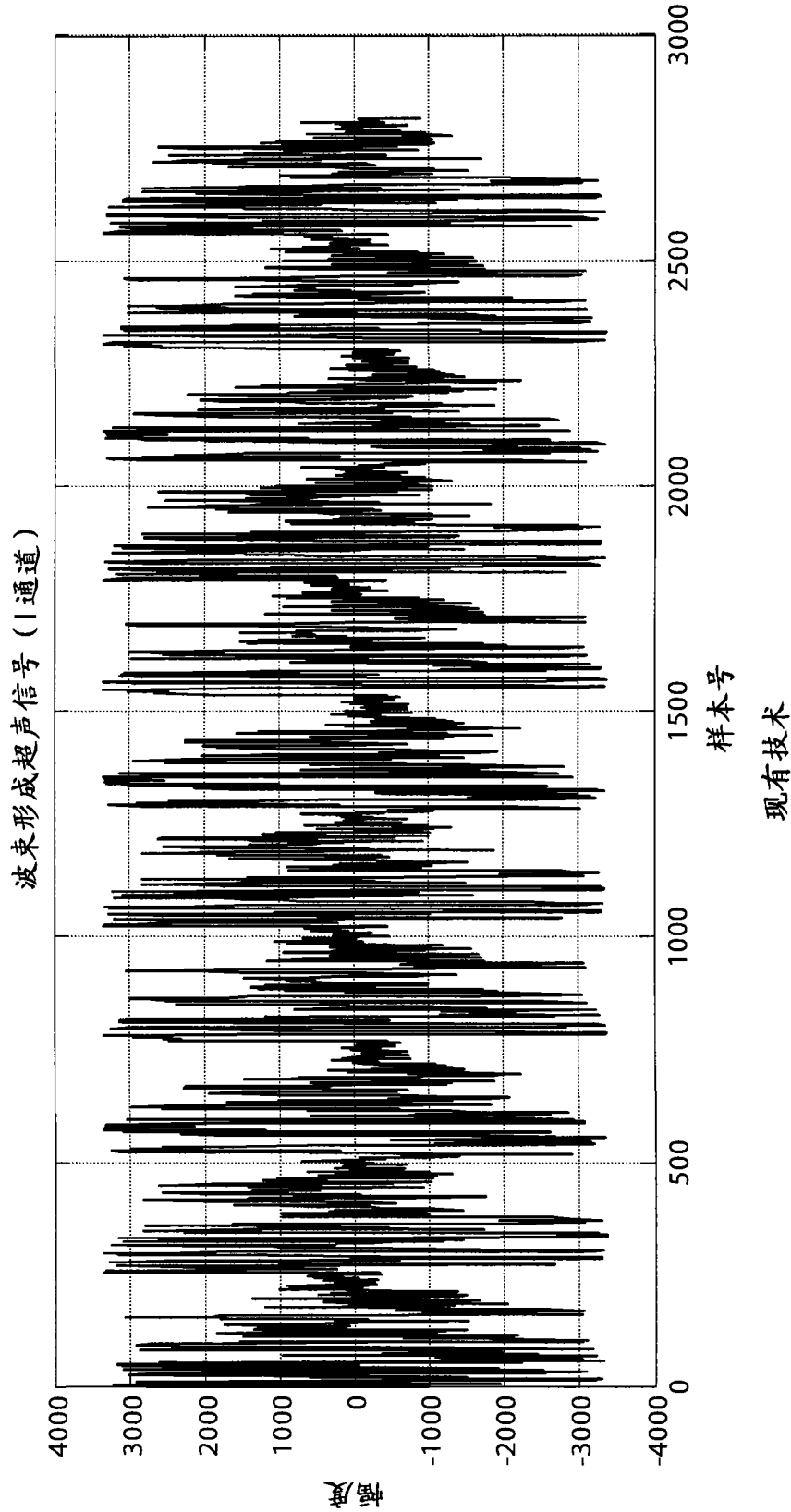


图 4

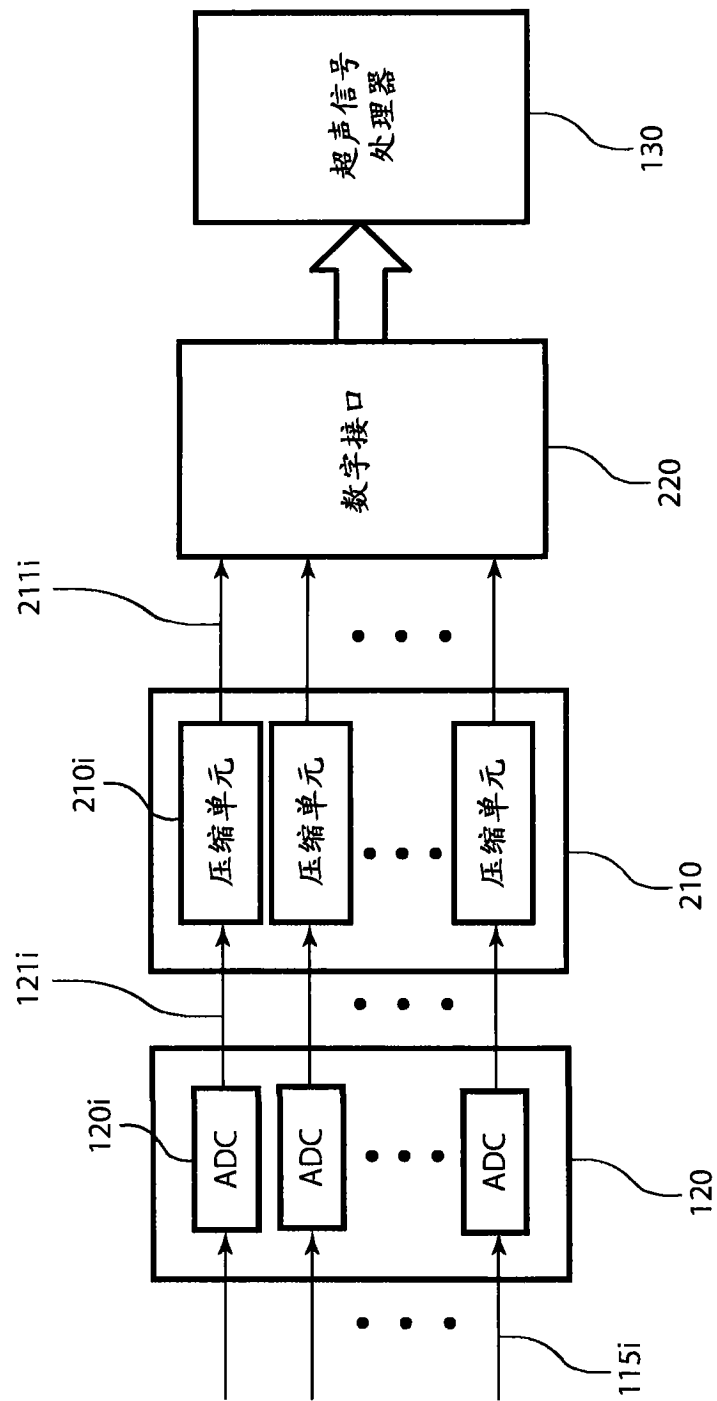


图 5

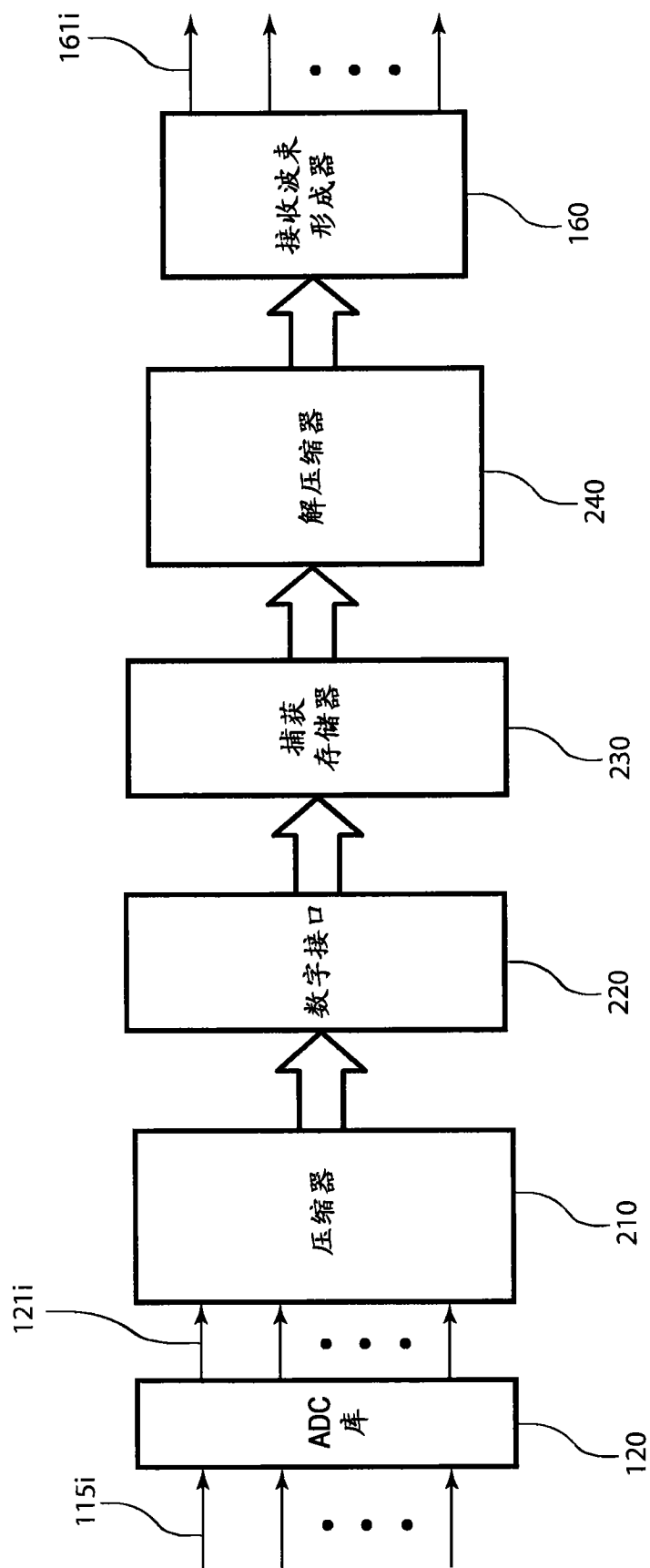


图 6

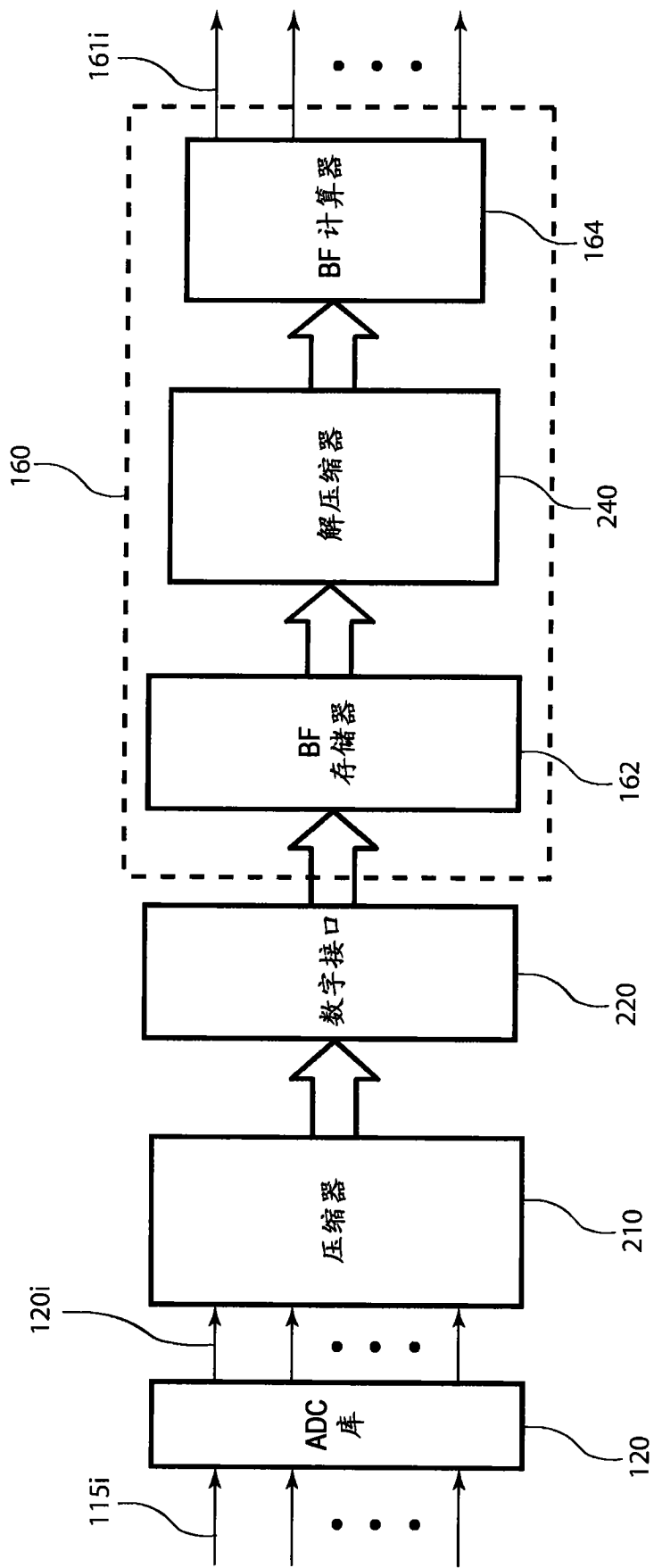


图 7

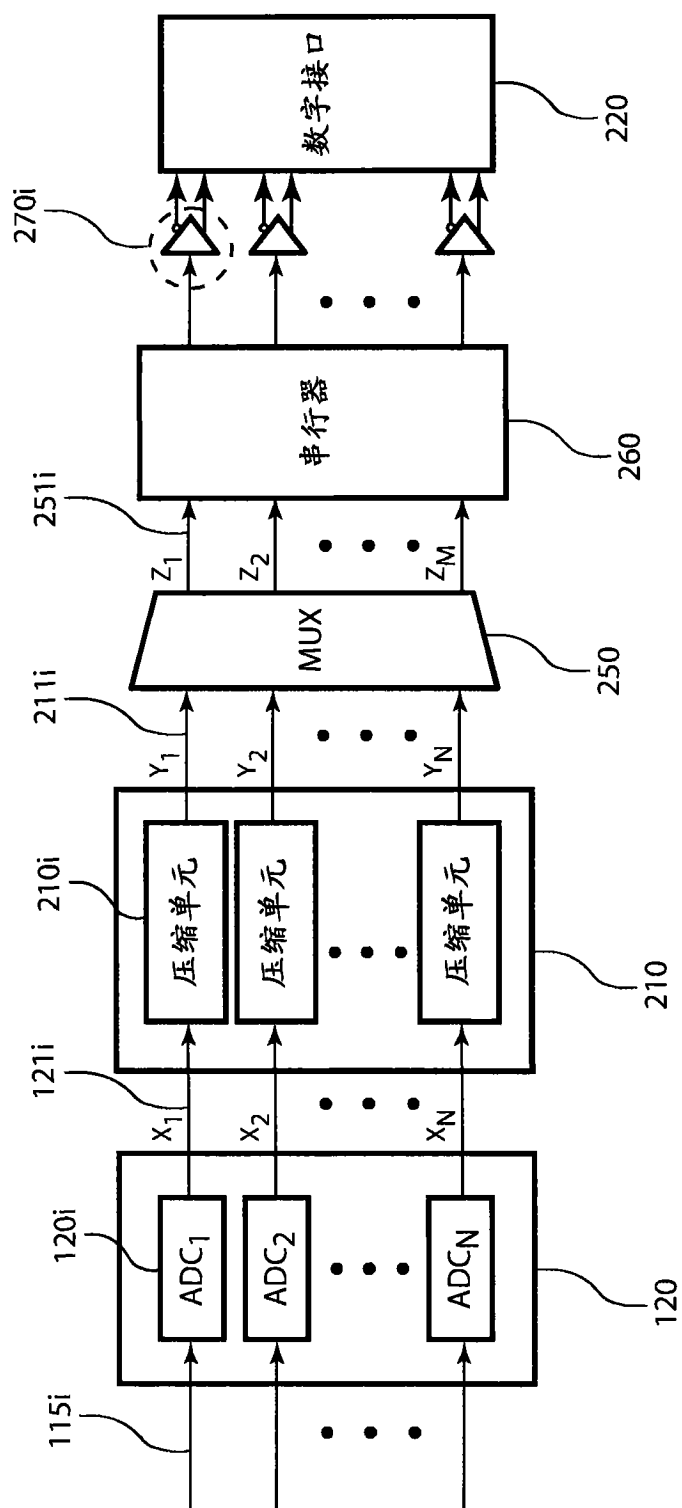


图 8

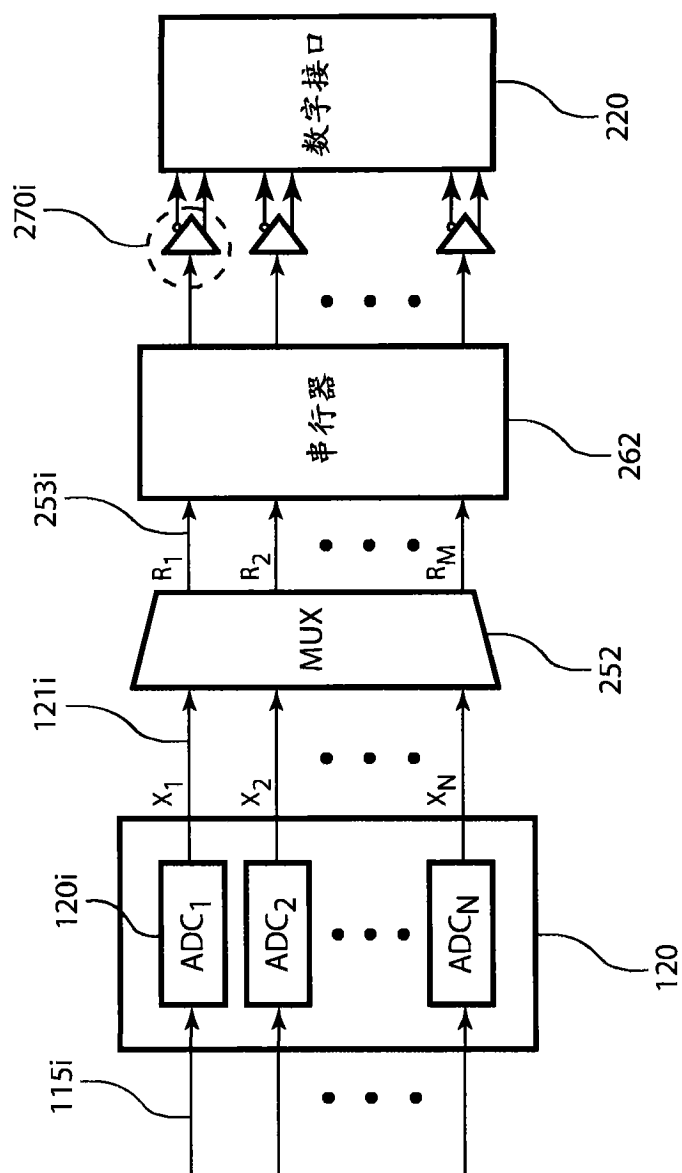


图 9

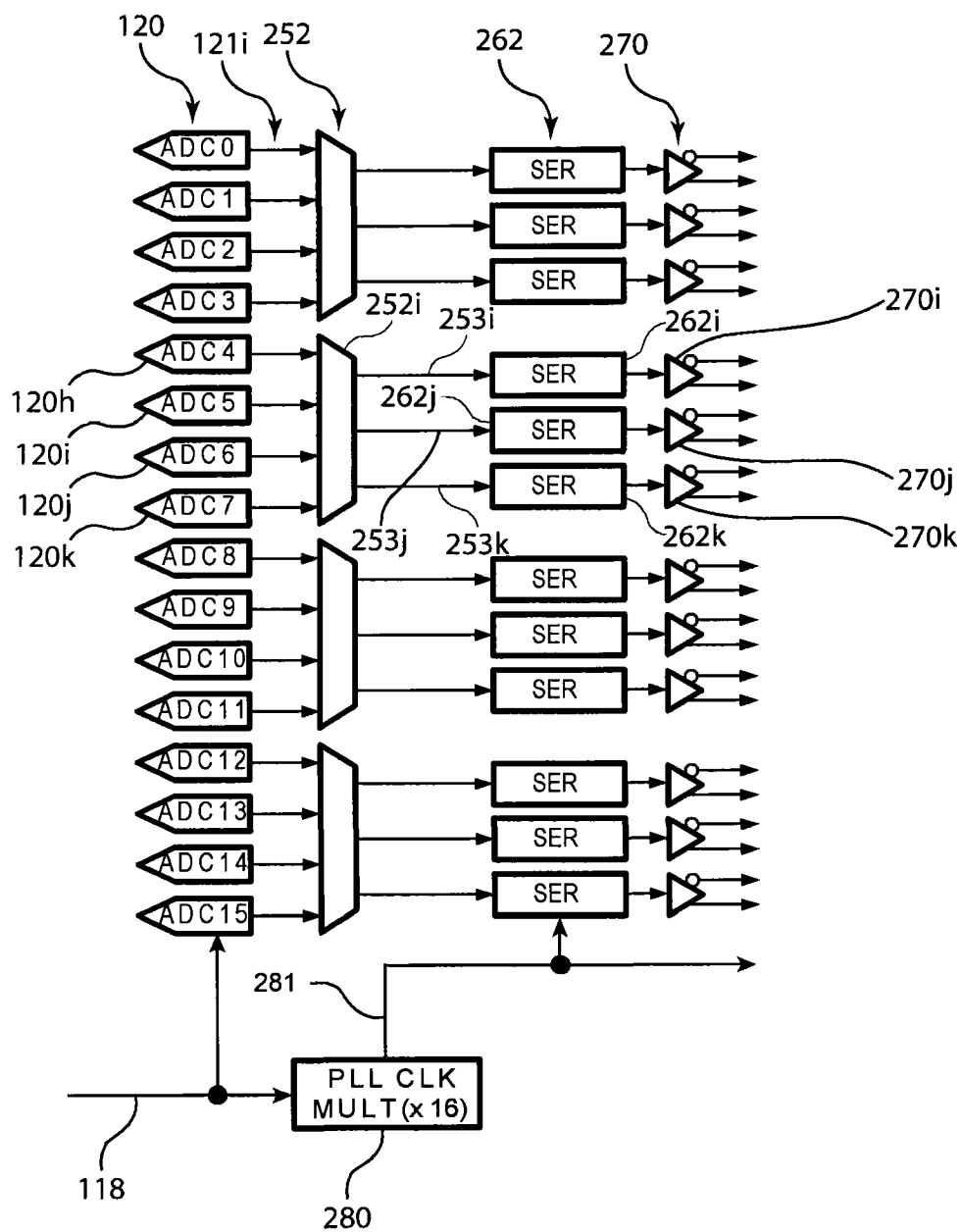


图 10A

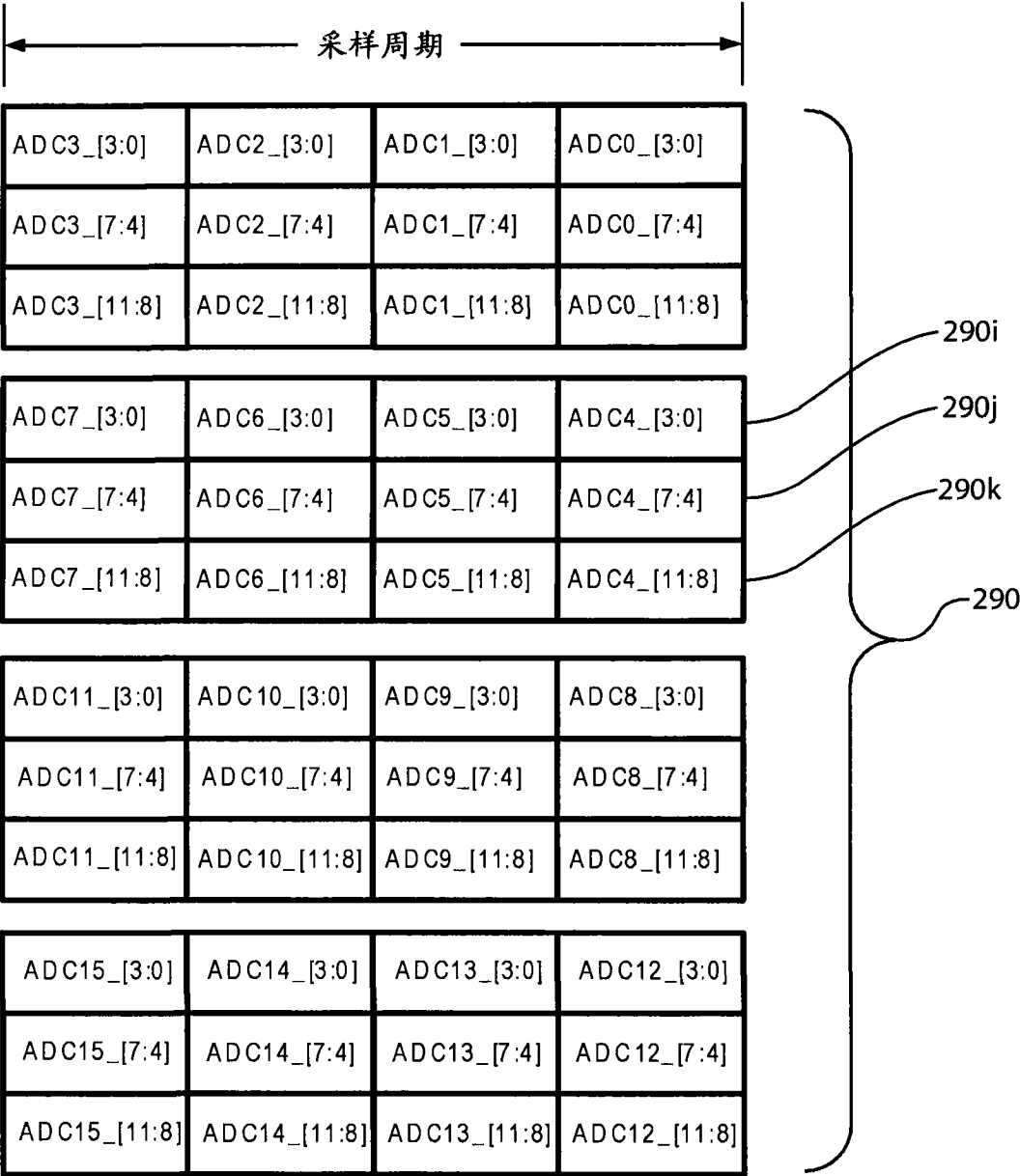


图 10B

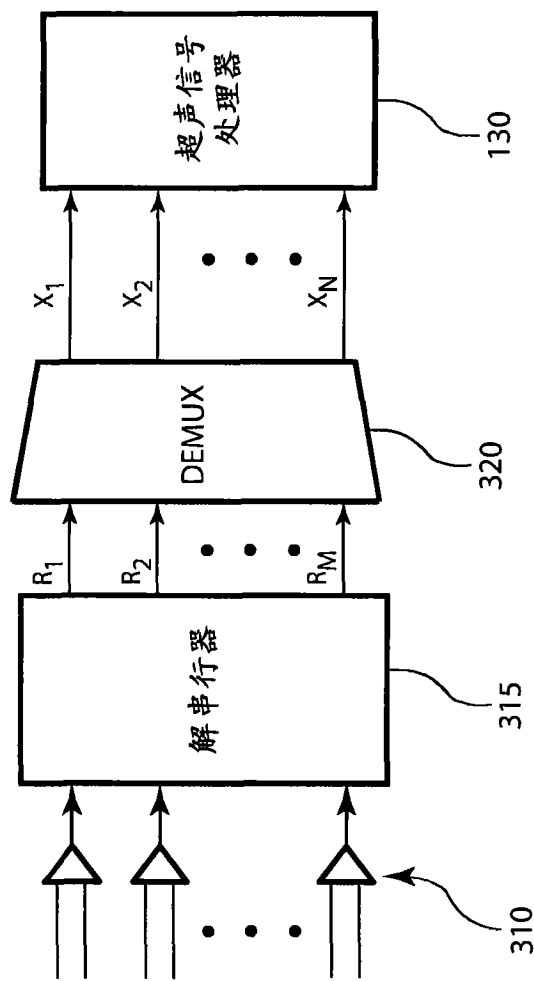


图 11

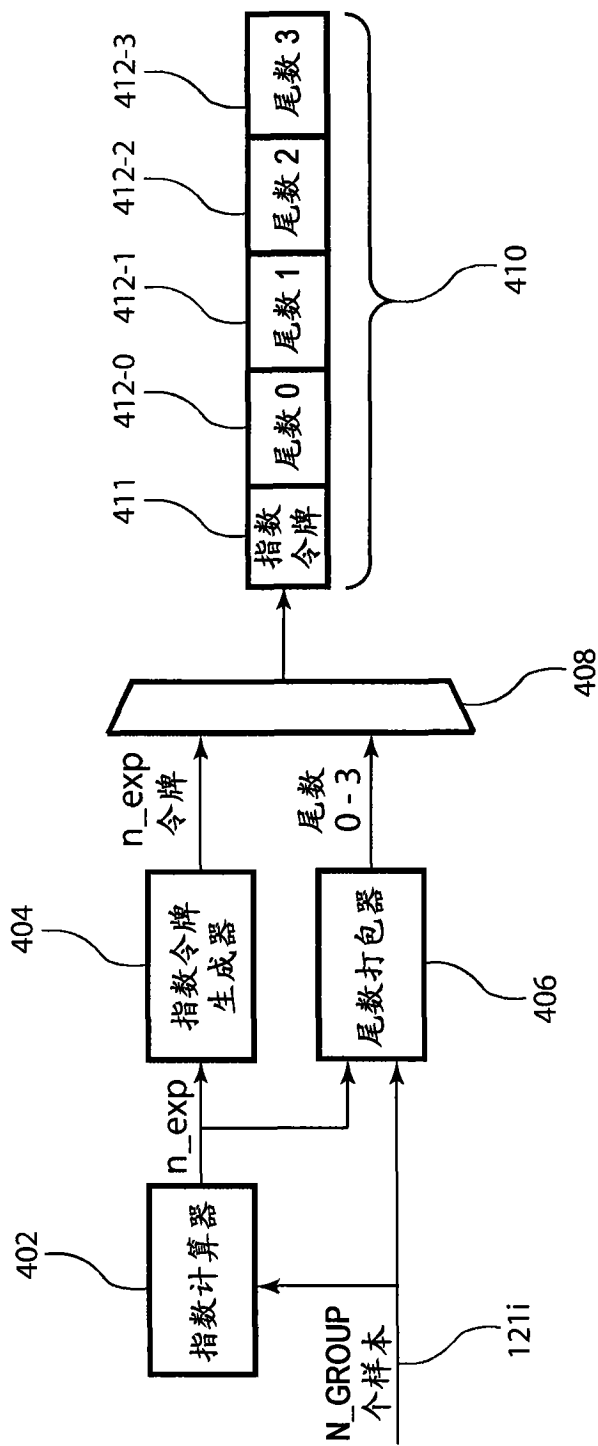


图 12

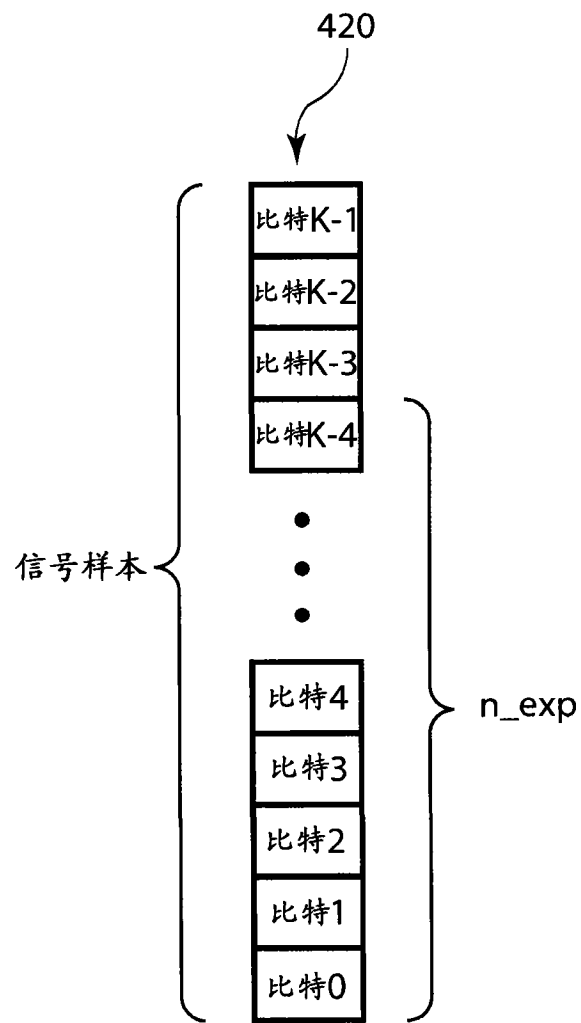


图 13

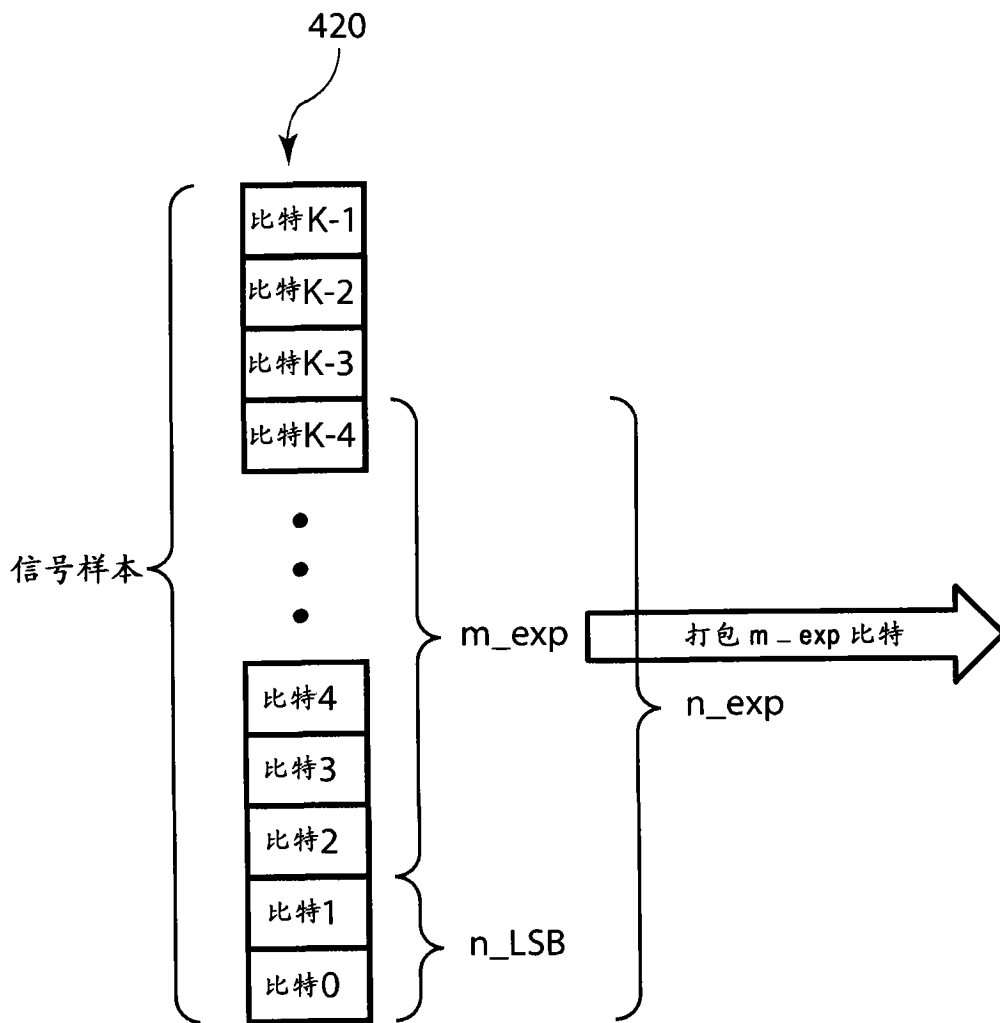


图 14

n_exp	n_LSB	m_exp
0	0	0
2	0	2
3	0	3
4	1	3
5	1	4
6	1	5
7	1	6
8	2	6
9	2	7
10	2	8
11	2	9
12	3	9
13	3	10
14	4	10

图 15

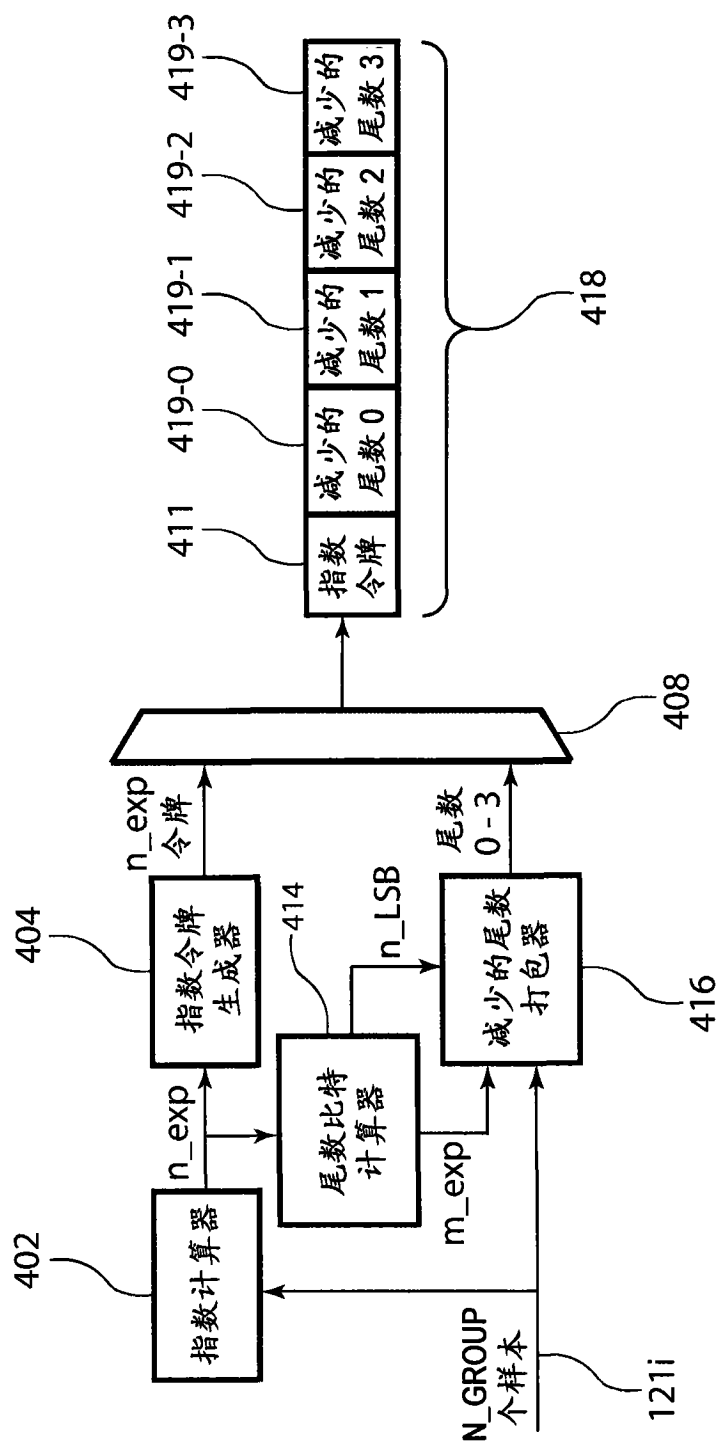


图 16

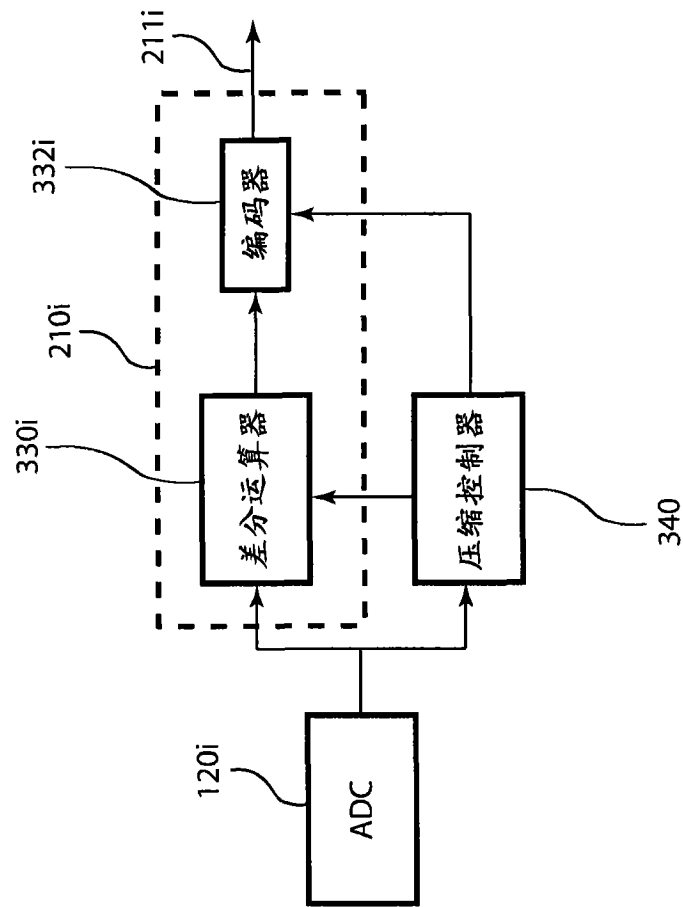


图 17

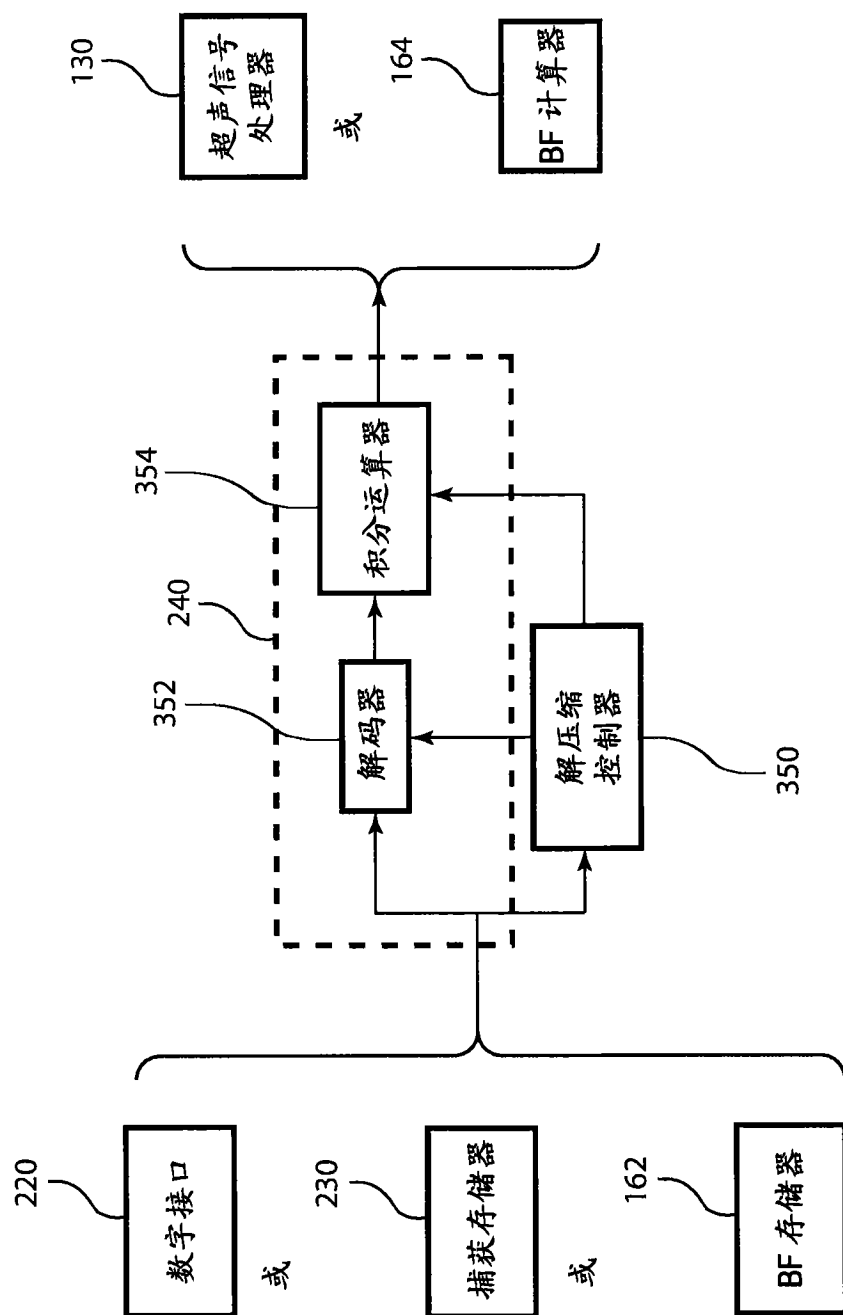


图 18

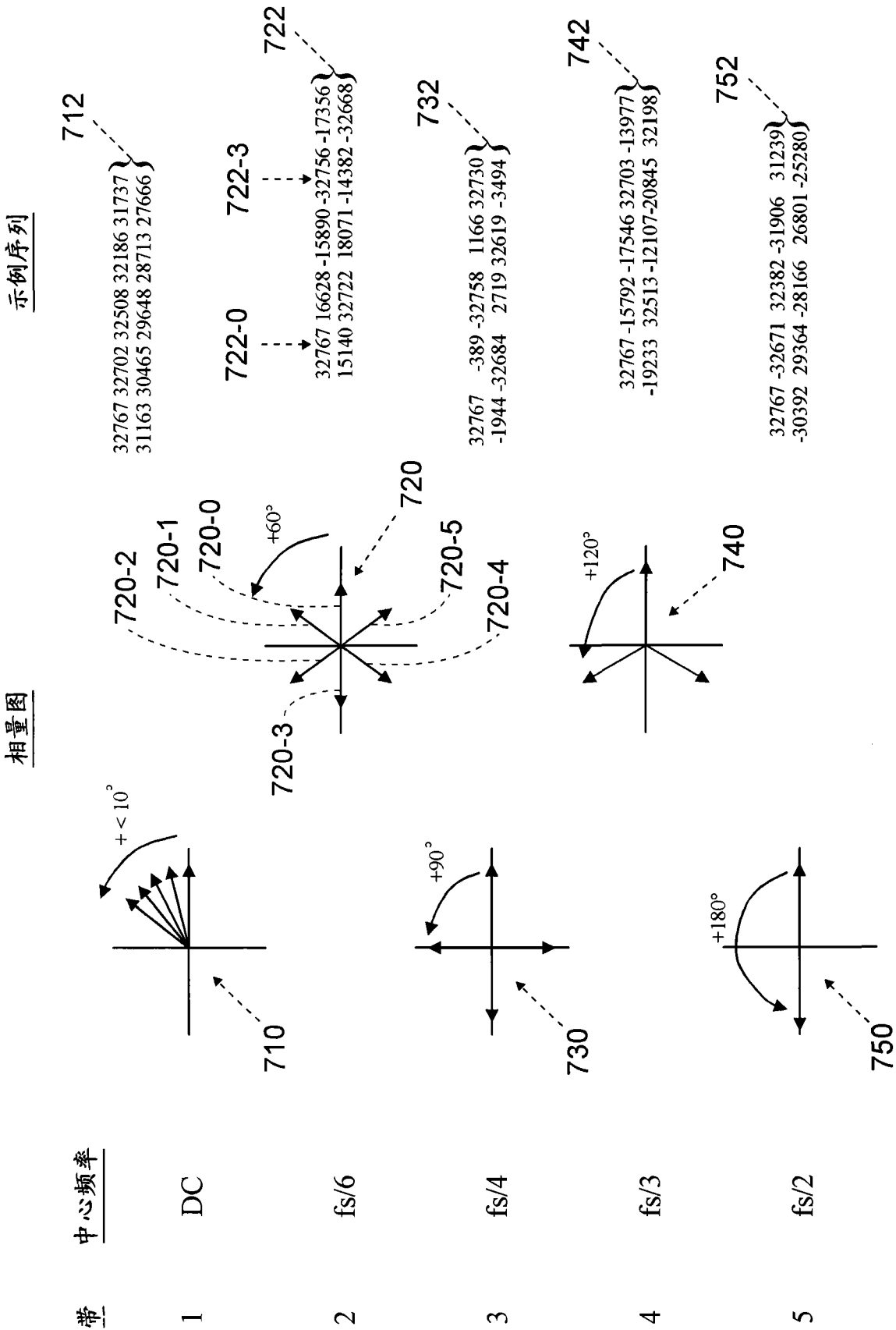


图 19

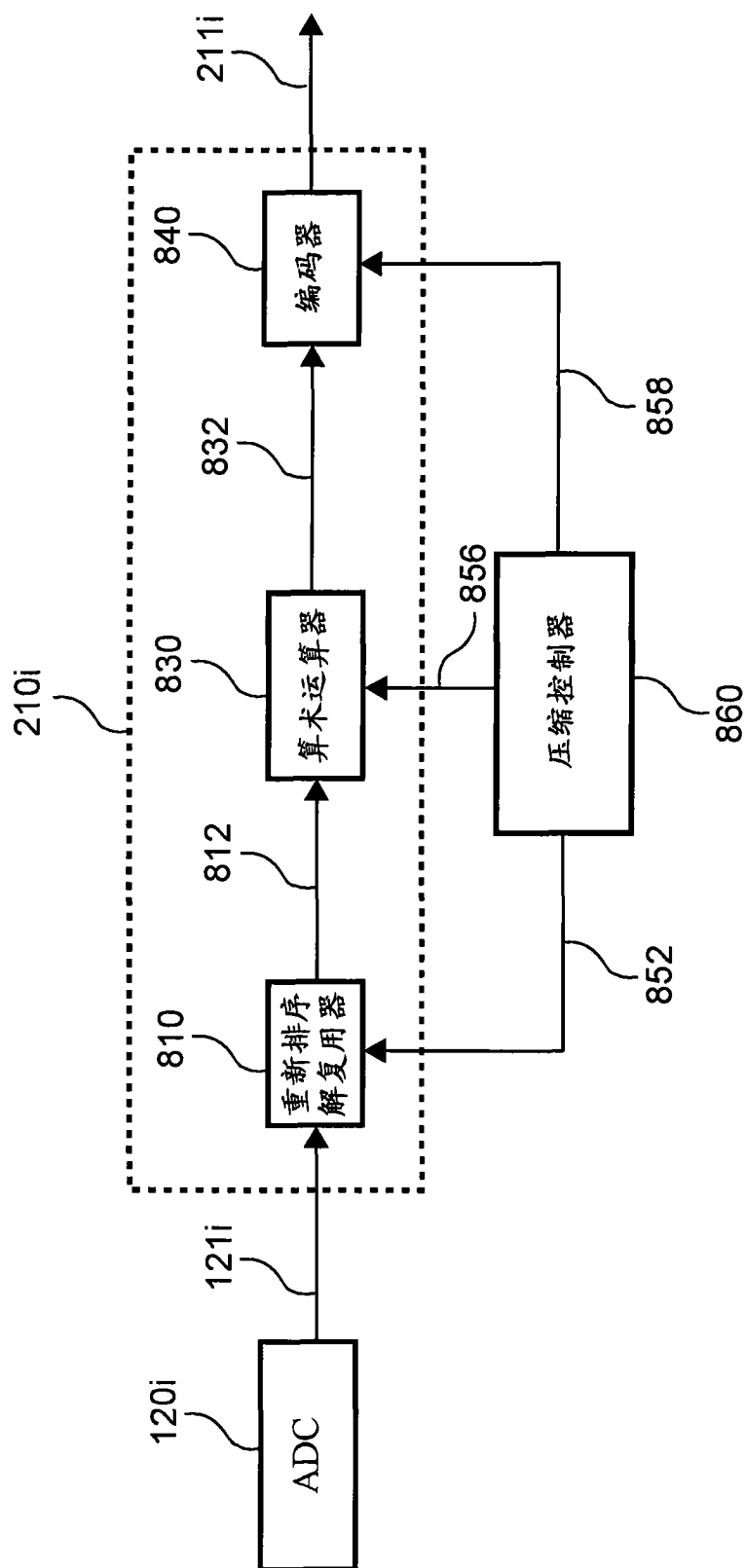


图 20

871 ↓ 中心频率	872 ↓ 频带指示符	873 ↓ 解复用控制	874 ↓ 逆转器控制	875 ↓ 变更的样本
DC	1	$x(i), x(i-1)$	$on = -x(i-1)$	$y(i) = x(i) - x(i-1)$
$fs/6$	2	$x(i), x(i-3)$	off	$y(i) = x(i) + x(i-3)$
$fs/4$	3	$x(i), x(i-2)$	off	$y(i) = x(i) + x(i-2)$
$fs/3$	4	$x(i), x(i-3)$	$on = -x(i-3)$	$y(i) = x(i) - x(i-3)$
$fs/2$	5	$x(i), x(i-1)$	off	$y(i) = x(i) + x(i-1)$

图 21

带	中心频率	变更的样本	示例差或和
1	DC	$y(i) = x(i) - x(i-1)$	912 ↓ x(i): 32767 32702 32508 32186 31737 31163 30465 29648 x(i - 1): 32767 32702 32508 32186 31737 31163 30465 29648 DIFF: -65 -194 -322 -449 -574 -707 -781 -935 922 ↓ x(i): 32767 16628 -15890 -32756 -17356 -15140 32722 18071 x(i-3): --- --- --- 32767 16628 -15890 -32756 -17356 SUM: --- --- --- 11 -728 -750 -34 715
2	$f_s/6$	$y(i) = x(i) + x(i-3)$	932 ↓ x(i): 32767 -389 -32758 1166 32730 -1944 -32684 2719 32619 x(i-3): --- --- 32767 -389 -32758 1166 32730 -1944 -32684 SUM: --- --- 9 777 28 -778 46 775 -65 942 ↓ x(i): 32767 -15792 -17546 32703 -13977 -19233 32513 -12107 -20845 x(i-3): --- --- --- 32767 -15792 -17546 32703 -13977 -19233 SUM: --- --- --- -64 1815 -1687 -190 1870 -1612
3	$f_s/4$	$y(i) = x(i) + x(i-2)$	952 ↓ x(i): 32767 -32671 32382 -31906 31239 -30392 29364 -28166 26801 x(i-3): --- 32767 -32671 32382 -31906 31239 -30392 29364 -28166 SUM: --- 96 -289 476 -667 847 -1028 1198 -1356
4	$f_s/3$	$y(i) = x(i) - x(i-3)$	
5	$f_s/2$	$y(i) = x(i) + x(i-1)$	

图 22

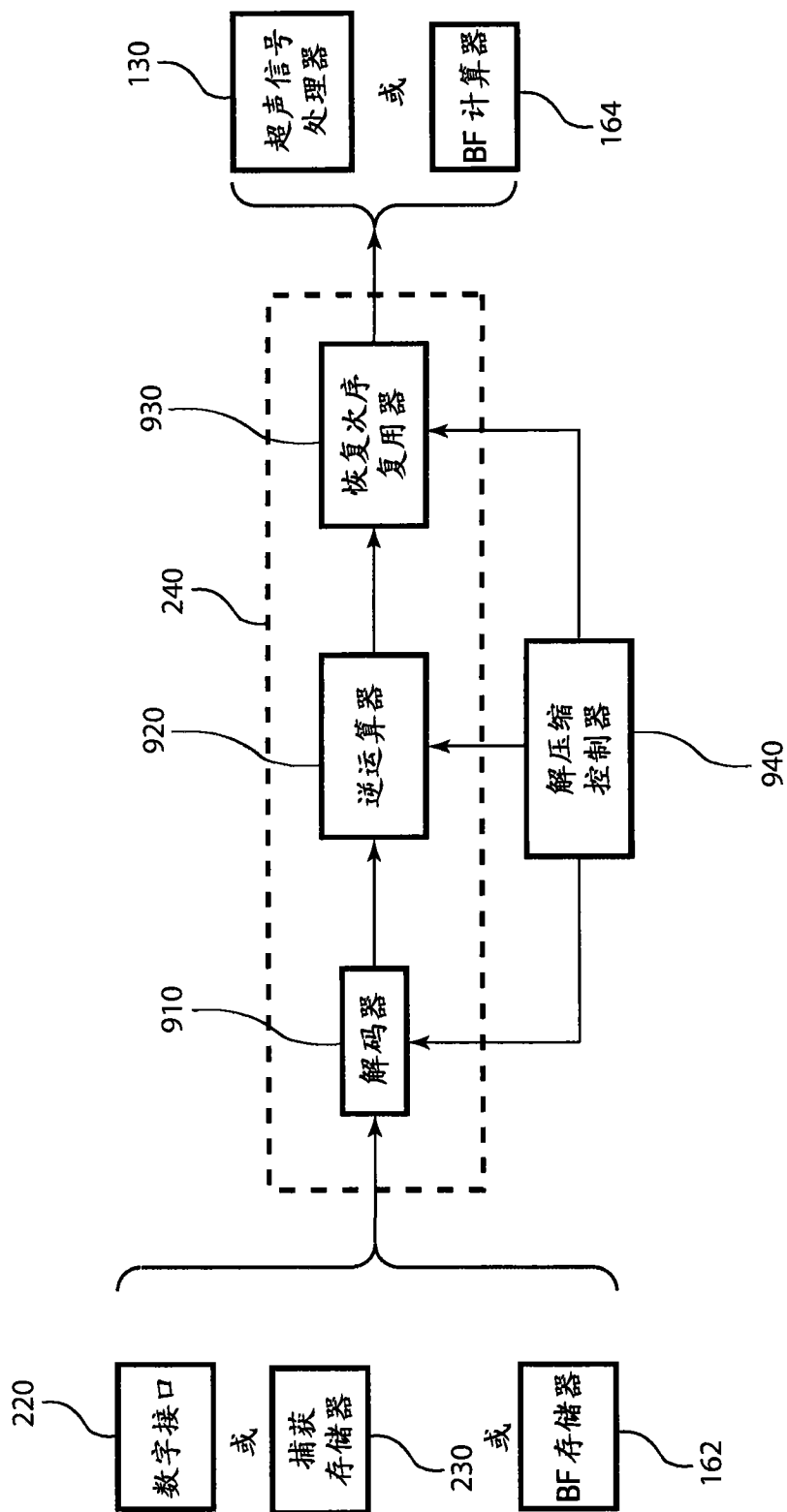


图 23

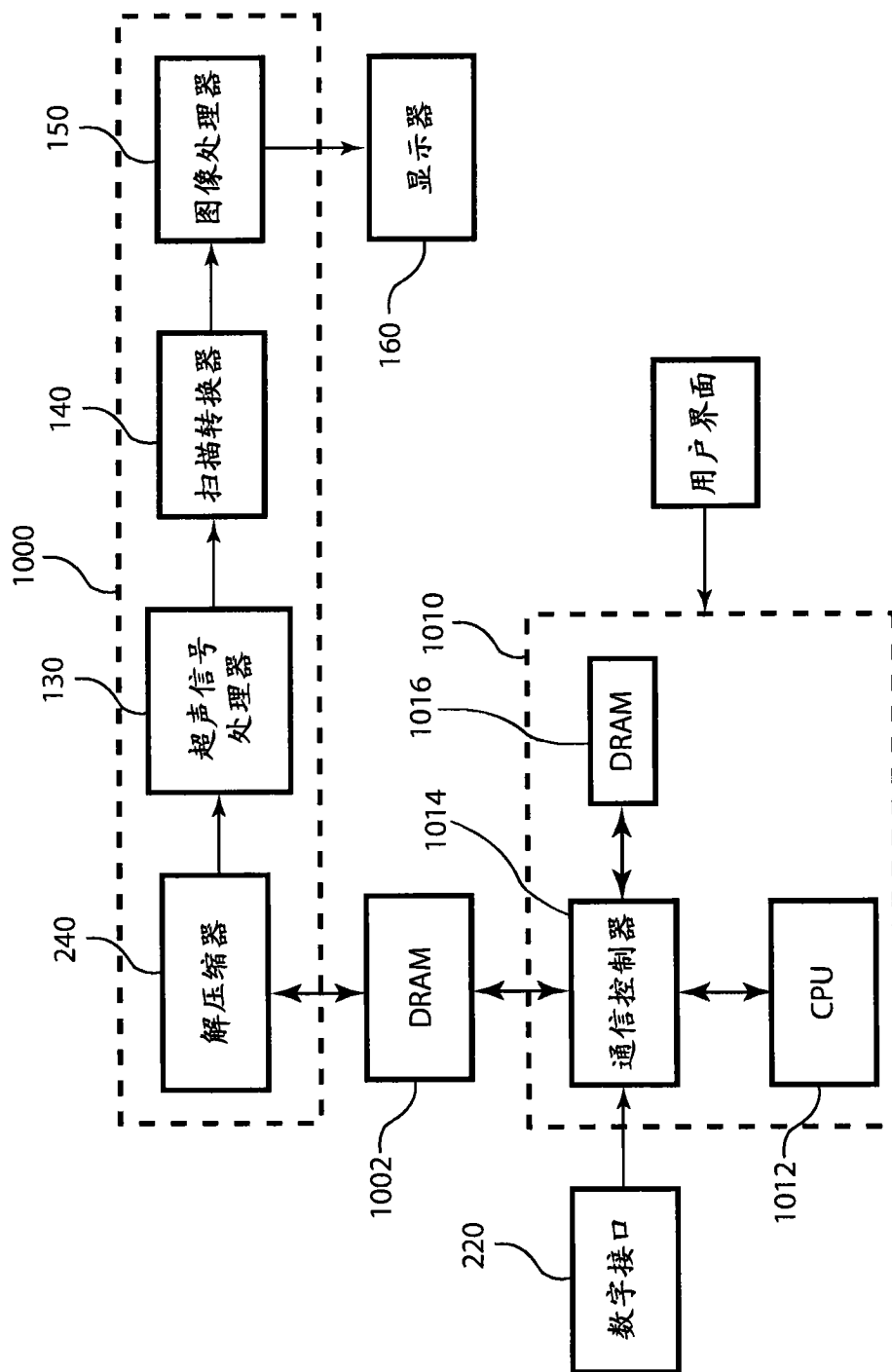


图 24

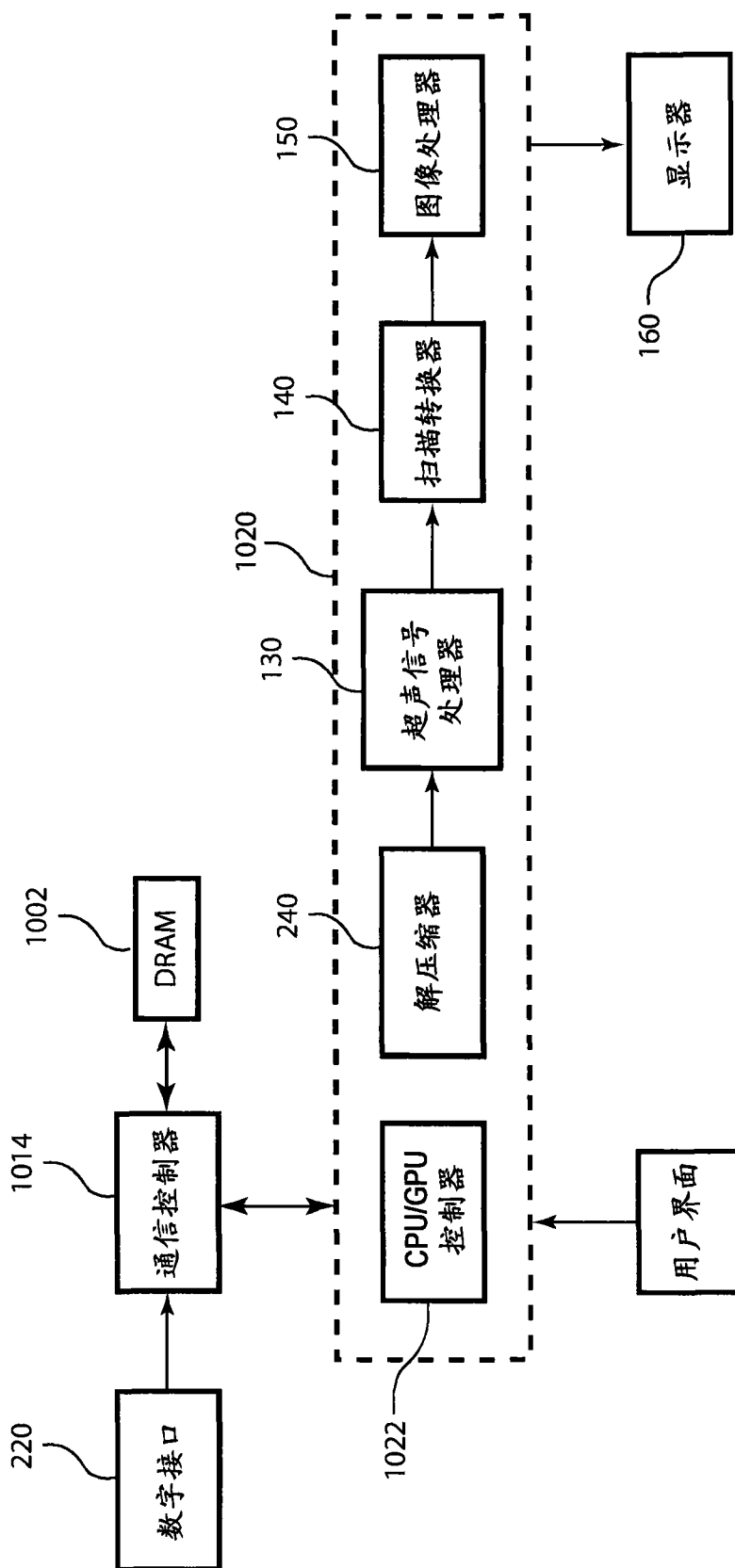


图 25