

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2012-531966

(P2012-531966A)

(43) 公表日 平成24年12月13日(2012. 12. 13)

(51) Int.Cl.
A 6 1 B 8/00 (2006.01)F 1
A 6 1 B 8/00テーマコード (参考)
4 C 6 0 1

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 39 頁)

(21) 出願番号 特願2012-518545 (P2012-518545)
 (86) (22) 出願日 平成22年6月17日 (2010. 6. 17)
 (85) 翻訳文提出日 平成24年2月28日 (2012. 2. 28)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2010/039081
 (87) 国際公開番号 W02011/008408
 (87) 国際公開日 平成23年1月20日 (2011. 1. 20)
 (31) 優先権主張番号 12/494, 184
 (32) 優先日 平成21年6月29日 (2009. 6. 29)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 510153951
 サンプリファイ システムズ インコーポ
 レイテッド
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5
 0 5 1 サンタ クララ サラトガ アベ
 ニュー 1 6 0 スイート 1 5 0
 (74) 代理人 100092093
 弁理士 辻居 幸一
 (74) 代理人 100082005
 弁理士 熊倉 禎男
 (74) 代理人 100067013
 弁理士 大塚 文昭
 (74) 代理人 100086771
 弁理士 西島 孝喜

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波システムにおけるビーム成形後の圧縮

(57) 【要約】

超音波信号サンプルを受信して、ビーム成形サンプルのアレイで表された1つ以上のビームを形成するようにビーム成形器を適用する超音波画像形成システムにおいて、ビーム成形サンプルの各アレイを他のアレイとは独立して圧縮して、圧縮ビームを形成する方法及び装置。複数のアナログ／デジタルコンバータが、トランスジューサアレイにより発生された複数のアナログ超音波信号をサンプリングして、ビーム成形器へ超音波信号サンプルの複数のストリームを与える。圧縮されたビームは、デジタルインターフェイスを経て信号プロセッサへ転送される。信号プロセッサにおいて、圧縮されたビームが解凍されて、解凍ビームを形成する。信号プロセッサは、更に、Bモード及びドップラー画像形成のような診断画像形成のために解凍ビームを処理し、そしてスキャン変換を行って、表示のための解凍ビームを準備する。

【選択図】 図5

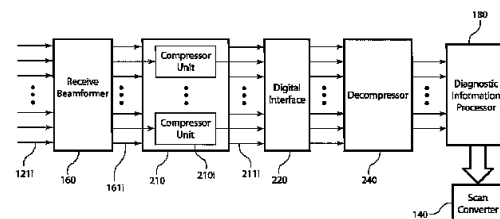


Figure 5

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

1 つ以上のビームを形成するためにサンプリング窓間に受信される超音波信号サンプルの複数のシーケンスに適用される受信ビーム成形器を備えた超音波画像形成システムであって、各ビームは、ビーム成形サンプルのアレイにより表され、サンプリング窓間に複数の超音波トランスジューサ素子により出力される複数のアナログ超音波信号のアナログ／デジタル変換で超音波信号サンプルの複数のシーケンスが発生されるシステムにおいて、

サンプリング窓間に受信される超音波信号サンプルに受信ビーム成形器を適用することにより発生されるビームを圧縮して、圧縮ビームを形成する段階であって、特定ビームを表すアレイにおいてビーム成形サンプルを圧縮して、対応する圧縮ビームのための圧縮されたビーム成形サンプルを形成することを含み、前記アレイにおける特定ビーム成形サンプルの圧縮は、前記アレイにおける少なくとも 1 つの他のビーム成形サンプルの特性に一部分依存するものであり、各ビームは、サンプリング窓に対応する別のビームとは独立して圧縮されるような段階と、

前記圧縮ビームを、デジタルインターフェイスを横切って信号プロセッサへと転送する段階と、
を備えた方法。

【請求項 2】

前記ビーム成形サンプルのアレイは、前記圧縮段階の前に中間周波数又は基本帯域へとダウン変換される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記デジタルインターフェイスから受け取られた対応する圧縮ビームの前記圧縮されたビーム成形サンプルの少なくとも一部分を解凍して、それに対応する解凍ビームのための解凍されたビーム成形サンプルを形成する段階であって、前記対応する圧縮ビームに別の圧縮ビームとは独立して解凍を適用し、前記信号プロセッサが前記解凍されたビーム成形サンプルを更に処理するような段階を更に備えた、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記圧縮段階は、前記特定ビームを表すビーム成形サンプルのアレイにブロックフローティングポイントエンコーディングを適用して、それに対応する圧縮ビームを形成する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

対応する圧縮ビームの対応部分にブロックフローティングポイントデコーディングを適用することにより前記デジタルインターフェイスから受け取られた圧縮されたビーム成形サンプルの少なくとも一部分を解凍して、解凍ビームのための解凍されたビーム成形サンプルを形成する段階を更に備え、前記信号プロセッサが前記解凍されたビーム成形サンプルを更に処理する、請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

前記圧縮段階は、更に、

前記特定ビームに対応するビーム成形サンプルのアレイにおいて連続ビーム成形サンプルのグループを定義し、各グループは、所定数のビーム成形サンプルを有し、

前記グループ内で最大の大きさを有するビーム成形サンプルの指数値を決定し、

前記グループに対する指数値をエンコードして、指数トークンを形成し、

前記グループにおける各ビーム成形サンプルを表すために減少数のビットを有する仮数を形成し、その減少数のビットは、前記指数値に基づくものであり、

前記指数トークン及び所定数の仮数を使用して前記グループの圧縮されたビーム成形サンプルを表して、それに対応する圧縮グループを形成し、複数の圧縮グループで前記対応する圧縮ビームを形成する、

ことを含む請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

前記仮数を形成することは、前記ビーム成形サンプルを切断又は丸めることにより前記

10

20

30

40

50

グループにおける各ビーム成形サンプルから最下位ビット（LSB）の数を除去して、減少仮数を形成する、ことを含み、前記圧縮されたビーム成形サンプルを表すことは、前記指数トークン及び所定数の減少仮数を使用して、それに対応する圧縮グループを形成する、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

前記受信ビーム成形器は、J 本のビームを発生し、J は少なくとも 2 であり、前記対応するビームのビーム成形サンプルのグループは、元のグループ順序にあり、前記方法は、更に、

M が J より小さいとすれば、J 本のビームに対応する圧縮グループをマルチプレクスして、圧縮グループの M 個のマルチプレクスされたシーケンスを形成する段階であって、1 組の少なくとも 2 つの圧縮ビームに対応する圧縮グループをインターリーブして、それに対応するマルチプレクスされたシーケンスを形成することを含む段階、を備え、前記対応するマルチプレクスされたシーケンスにおける圧縮グループは、グループ順序で配列され、更に、前記転送段階は、M 個のマルチプレクスされたシーケンスを転送する、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 9】

前記デジタルインターフェイスから受け取られた対応するマルチプレクスされたシーケンスの圧縮グループを解凍して、解凍されたビーム成形サンプルを含む解凍グループを形成する段階であって、その解凍グループが前記対応するマルチプレクスされたシーケンスのグループ順序にあるような段階と、

前記対応するマルチプレクスされたシーケンスの解凍グループをデマルチプレクスして、前記 1 組の圧縮ビームに対応する 1 組の解凍ビームを形成する段階であって、その解凍グループをグループ順序から再アレンジして、解凍ビームに対する元のグループ順序を回復することを含み、その解凍ビームが更なる信号処理のために与えられる段階と、を更に備えた請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

解凍のために対応する圧縮グループを選択することにより前記デジタルインターフェイスから受け取られた圧縮されたビーム成形サンプルの少なくとも一部分を解凍して、更なる信号処理のために与えられる解凍されたビーム成形サンプルの対応グループを形成する段階を更に備えた、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 11】

1 つ以上のビームを形成するためにサンプリング窓間に受信される超音波信号サンプルの複数のシーケンスに適用される受信ビーム成形器を備えた超音波画像形成システムであって、各ビームは、ビーム成形サンプルのアレイにより表され、サンプリング窓間に複数の超音波トランスジューサ素子により出力される複数のアナログ超音波信号のアナログ／デジタル変換で超音波信号サンプルの複数のシーケンスが発生されるシステムにおいて、サンプリング窓間に受信される超音波信号サンプルに受信ビーム成形器を適用することによって形成されるビームを圧縮して、圧縮ビームを形成する段階を備え、この圧縮段階は、

特定ビームを表すアレイにおける連続ビーム成形サンプル間の差を計算して、差のサンプルの対応シーケンスを形成し、前記差は、第 1 次又はそれより高次の差であり、

前記差のサンプルの対応シーケンスをエンコードして、対応する圧縮ビームの圧縮されたビーム成形サンプルを形成し、

圧縮ビームを、デジタルインターフェイスを横切って信号プロセッサへ転送する、ことを含む、方法。

【請求項 12】

前記ビーム成形サンプルのアレイは、前記圧縮段階の前に基本帯域又は中間周波数へとダウン変換される、請求項 11 に記載の方法。

【請求項 13】

前記差を計算することは、

所定数のサンプルインターバルで分離されたアレイ内のビーム成形サンプルの対におけるビーム成形サンプル間の差を計算して、差のサンプルの対応シーケンスを形成し、

前記差のサンプルの対応シーケンスをエンコードして、対応する圧縮ビームの圧縮されたビーム成形サンプルを形成する、
ことを含む請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 4】

所定数のサンプルインターバルで分離されたビーム成形サンプルの各対におけるビーム成形サンプルの 1 つを、差を計算する段階の前に反転コントロールパラメータに基づいて選択的に反転することを更に含む、請求項 1 3 に記載の方法。

【請求項 1 5】

前記デジタルインターフェイスから受け取られる圧縮されたビーム成形サンプルの少なくとも一部分を解凍する段階を更に備え、この解凍段階は、更に、

前記対応する圧縮ビームの圧縮されたビーム成形サンプルをデコードして、デコードされた差のサンプルを形成し、

前記デコードされた差のサンプルを積分して、対応する解凍ビームのための解凍されたビーム成形サンプルを形成する、

ことを含み、前記積分は、前記差を計算する段階の差の演算を逆に行うように第 1 次又はそれより高次の積分を計算する、請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 6】

前記エンコードすることは、差のサンプルの対応シーケンスにブロックフローティングポイントエンコーディングを適用して、対応する圧縮ビームを形成する、請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 7】

前記デジタルインターフェイスから受け取られる圧縮されたビーム成形サンプルの少なくとも一部分を解凍する段階を更に備え、この解凍段階は、更に、

前記対応する圧縮ビームの圧縮されたビーム成形サンプルにブロックフローティングポイントデコーディングを適用することにより圧縮されたビーム成形サンプルをデコードして、デコードされた差のサンプルを形成し、

前記デコードされた差のサンプルを積分して、対応する解凍ビームのための解凍されたビーム成形サンプルを形成する、

ことを含み、前記積分は、前記差を計算する段階の差の演算を逆に行うように第 1 次又はそれより高次の積分を計算する、請求項 1 6 に記載の方法。

【請求項 1 8】

前記エンコードすることは、更に、

差のサンプルの対応シーケンスにおいて連続する差のサンプルのグループを定義し、各グループは、所定数の差のサンプルを有し、

前記グループ内で最大の大きさを有する差のサンプルの指数値を決定し、

前記グループに対する指数値をエンコードして、指数トークンを形成し、

前記グループにおける各差のサンプルを表すために減少数のビットを有する仮数を形成し、その減少数のビットは、前記指数値に基づくものであり、

前記指数トークン及び所定数の仮数を使用して前記グループの差のサンプルを表して、それに対応する圧縮グループを形成し、複数の圧縮グループで前記対応する圧縮ビームを形成する、

ことを含む請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 9】

前記仮数を形成することは、前記差のサンプルを切断又は丸めることにより前記グループにおける各差のサンプルから最下位ビット (LSB) の数を除去して、減少仮数を形成する、ことを含み、前記差のサンプルを表すことは、前記指数トークン及び所定数の減少仮数を使用して、それに対応する圧縮グループを形成する、請求項 1 8 に記載の方法。

【請求項 2 0】

前記受信ビーム成形器は、N本のビームを発生し、Nは少なくとも2であり、前記対応するビームの差のサンプルのグループは、元のグループ順序にあり、前記方法は、更に、

MがNより小さいとすれば、N本の圧縮ビームに対応する圧縮グループをマルチプレクスして、圧縮グループのM個のマルチプレクスされたシーケンスを形成する段階であって、1組の少なくとも2つの圧縮ビームに対応する圧縮グループをインターリーブして、それに対応するマルチプレクスされたシーケンスを形成することを含む段階、を備え、前記対応するマルチプレクスされたシーケンスにおける圧縮グループは、グループ順序で配列され、更に、前記転送段階は、M個のマルチプレクスされたシーケンスを転送する、請求項18に記載の方法。

【請求項21】

前記デジタルインターフェイスから受け取られた対応するマルチプレクスされたシーケンスの圧縮グループをデコードして、デコードされた差のサンプルのデコードされたグループを形成する段階であって、そのデコードされたグループは、グループ順序にあるような段階と、

同じ圧縮ビームに対応する前記デコードされた差のサンプルをグループ順序に基づいて積分して、解凍されたビーム成形サンプルを含む解凍グループを形成する段階であって、その解凍グループは、それに対応するマルチプレクスされたシーケンスのグループ順序にあるような段階と、

前記対応するマルチプレクスされたシーケンスの解凍グループをデマルチプレクスして、前記1組の圧縮ビームに対応する1組の解凍ビームを形成する段階であって、その解凍グループをグループ順序から再アレンジして解凍ビームに対する元のグループ順序を回復することを含み、その解凍ビームが更なる信号処理のために与えられるような段階と、を更に備えた請求項20に記載の方法。

【請求項22】

前記デジタルインターフェイスから受け取られた対応するマルチプレクスされたシーケンスの圧縮グループをデコードして、デコードされた差のサンプルを含むデコードされたグループを形成する段階であって、そのデコードされたグループは、対応するマルチプレクスされたシーケンスのグループ順序にあるような段階と、

前記デコードされたグループをデマルチプレクスして、前記1組の圧縮ビームに対応するデコードされた差のサンプルの1組のシーケンスを形成する段階であって、そのデコードされたグループをグループ順序から再アレンジして、デコードされた差のサンプルのシーケンスに対する元のグループ順序を回復することを含むような段階と、

デコードされた差のサンプルの各シーケンスを積分して、それに対応する解凍ビームのための解凍されたビーム成形サンプルを形成する段階であって、前記積分は、前記差を計算する段階の差の演算を逆に行うように第1次又はそれより高次の積分を計算するものである段階と、

を更に備えた請求項20に記載の方法。

【請求項23】

解凍に対して前記対応する圧縮グループを選択することにより前記デジタルインターフェイスから受け取られた圧縮されたビーム成形サンプルの少なくとも一部分を解凍して、更なる信号処理のために与えられる解凍されたビーム成形サンプルの対応グループを形成する段階を更に備えた、請求項18に記載の方法。

【請求項24】

1つ以上のビームを形成するためにサンプリング窓間に受信される超音波信号サンプルの複数のシーケンスに適用される受信ビーム成形器を備えた超音波画像形成システムであって、各ビームは、ビーム成形サンプルのアレイにより表され、サンプリング窓間に複数の超音波トランスジューサ素子により出力される複数のアナログ超音波信号を複数のアナログ／デジタルコンバータでサンプリングして、受信ビーム成形器に与えられる超音波信号サンプルの複数のシーケンスを発生するシステムにおいて、

サンプリング窓間に受け取られる超音波信号サンプルに受信ビーム成形器を適用するこ

10

20

30

40

50

とにより形成されるビーム成形サンプルの1つ以上のアレイを受け取るように受信ビーム成形器に結合された圧縮器を備え、この圧縮器は、1つ以上の圧縮ユニットを備え、対応する圧縮ユニットは、対応するビームのビーム成形サンプルを、サンプリング窓に対応する別のビームとは独立して圧縮して、対応する圧縮ビームの圧縮されたビーム成形サンプルを形成し、対応する圧縮ユニットは、特定のビーム成形サンプルを、それに対応するビームの少なくとも1つの他のビーム成形サンプルの特性に一部分基づいて圧縮するように構成され、更に、圧縮器は、圧縮ビームを、信号プロセッサへ転送するためにデジタルインターフェイスに与える、装置。

【請求項25】

前記受信ビーム成形器と前記圧縮器との間に結合された1つ以上のダウンコンバータを更に備え、各ダウンコンバータは、前記受信ビーム成形器から対応ビームを受け取り、そしてその対応ビームのビーム成形サンプルを中間周波数又は基本帯域へ変換して、前記対応する圧縮ユニットに与えられるダウン変換ビームを形成する、請求項24に記載の装置。

【請求項26】

前記デジタルインターフェイスから圧縮ビームを受け取りそして前記信号プロセッサへ解凍ビームを与えるように結合された解凍器を更に備え、この解凍器は、特定の圧縮ビームの圧縮されたビーム成形サンプルを、前記サンプリング窓に対応する別の圧縮ビームとは独立して解凍して、対応する解凍ビームの解凍されたビーム成形サンプルを形成する、請求項24に記載の装置。

【請求項27】

前記圧縮ユニットは、更に、前記対応する圧縮ビームを発生するためにビーム成形サンプルのアレイに適用されるブロックフローティングポイントエンコーダを備えた、請求項24に記載の装置。

【請求項28】

前記デジタルインターフェイスから圧縮ビームを受け取りそして前記信号プロセッサへ解凍ビームを与える解凍器を更に備え、この解凍器は、対応する解凍ビームの解凍されたビーム成形サンプルを形成するために前記対応する圧縮ビームの圧縮されたビーム成形サンプルの少なくとも一部分に適用されるブロックフローティングデコーダを含む、請求項27に記載の装置。

【請求項29】

前記圧縮ユニットは、更に、

前記対応するビームの連続ビーム成形サンプル間の第1次又はそれより高次の差を計算して、差のサンプルのシーケンスを発生するための差の演算器と、

前記差のサンプルのシーケンスをエンコードして、前記対応する圧縮ビームの圧縮されたビーム成形サンプルを形成するためのエンコーダと、
を備えた請求項24に記載の装置。

【請求項30】

前記差の演算器は、前記対応するビームのビーム成形サンプルの対におけるビーム成形サンプル間の差を計算し、各対のビーム成形サンプルは、所定数のサンプルインターバルで分離されて、差のサンプルのシーケンスを形成する、請求項29に記載の装置。

【請求項31】

前記デジタルインターフェイスから圧縮ビームを受け取りそして前記信号プロセッサへ解凍ビームを与える解凍器を更に備え、この解凍器は、

前記対応する圧縮ビームの圧縮されたビーム成形サンプルの少なくとも一部分に適用されて、デコードされた差のサンプルのシーケンスを発生するデコーダと、

前記デコードされた差のサンプルのシーケンスの第1次又はそれより高次の積分を計算して、対応する解凍ビームの解凍されたビーム成形サンプルを形成する積分器と、
を含む請求項29に記載の装置。

【請求項32】

前記圧縮ユニットは、更に、所定数のサンプルインターバルで分離されたビーム成形サンプルの各対におけるビーム成形サンプルの1つを、反転コントロールパラメータに基づいて選択的に反転して、前記差の演算器に対するビーム成形サンプルの対を発生するためのインバータを備えた、請求項30に記載の装置。

【請求項33】

前記受信ビーム成形器は、J個の圧縮器ユニットにJ本のビームを与えて、J本の圧縮ビームを形成し、前記対応する圧縮ユニットは、対応する圧縮ビームに対して圧縮されたビーム成形サンプルの複数の圧縮グループを発生し、圧縮グループは、元のグループ順序にあり、各圧縮グループは、所定数の圧縮されたビーム成形サンプルを有し、前記装置は、更に、

10

MがJより小さいとすれば、J本の圧縮ビームを受け取りそして圧縮グループのM個のマルチプレクスされたシーケンスをデジタルインターフェイスに与えるグループマルチプレクサを備え、このグループマルチプレクサは、1組の少なくとも2つの圧縮ビームに対応する圧縮サンプルのグループをインターリーブして、対応するマルチプレクスされたシーケンスを形成し、その対応するマルチプレクスされたシーケンスにおける圧縮グループは、グループ順序で配列される、請求項24に記載の装置。

【請求項34】

前記デジタルインターフェイスからM個のマルチプレクスされたシーケンスを受け取りそして解凍グループのM個のシーケンスを形成する解凍器であって、対応するマルチプレクスされたシーケンスの圧縮グループを解凍して、解凍グループをグループ順序で形成するための解凍器と、

20

前記解凍グループのM個のシーケンスを受け取りそしてN個の解凍ビームを信号プロセッサに与えるように結合されたグループデマルチプレクサであって、前記対応するマルチプレクスされたシーケンスの解凍グループがグループ順序から元の順序へ再アレンジされて、前記1組の圧縮ビームに対応する1組の解凍ビームを形成するようなグループデマルチプレクサと、
を備えた請求項33に記載の装置。

【請求項35】

前記圧縮器は、特定用途向け集積回路（ASIC）又はフィールドプログラマブルゲートアレイ（FPGA）で具現化される、請求項24に記載の装置。

30

【請求項36】

前記解凍器は、フィールドプログラマブルゲートアレイ（FPGA）で具現化される、請求項26に記載の装置。

【請求項37】

前記信号プロセッサは、FPGAで具現化され、そのFPGAは、更に、
解凍器を具現化する解凍コアと、

前記デジタルインターフェイスから圧縮ビームを受け取って、圧縮されたビーム成形サンプルを前記解凍コアに与えるデータチャンネルと、

前記解凍ビームを前記信号プロセッサに与えるデータチャンネルと、
を備えた請求項26に記載の装置。

40

【請求項38】

前記解凍器は、グラフィック処理ユニット（GPU）で少なくとも一部分具現化される、請求項26に記載の装置。

【請求項39】

前記信号プロセッサは、GPUで少なくとも一部分具現化される、請求項38に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、受信した超音波信号サンプルに適用される受信ビーム成形器によって超音波

50

画像形成システムに発生されるビーム成形サンプルを圧縮することに係り、より特定すれば、各ビームのビーム成形サンプルを独立して圧縮しそして画像形成のための処理の前に解凍することに係る。

【背景技術】

【0002】

医療用超音波システムは、臨床医により対象者に置かれたトランスジューサから超音波ビームを送信することにより対象者の体内解剖学的組織をスキャンする。超音波は、異なる音響インピーダンスを有する体内組織の界面で反射されて、エコーを発生する。トランスジューサは、エコーを受信して、電気的な超音波信号へ変換する。超音波システムは、超音波信号に一連の処理ステップを適用して、画像又は一連の画像を発生し、それらは、臨床医による分析のためにコントロールコンソールに表示される。受信したエコーの強度に基づき形成される画像は、Bモード画像と称される。更に、システムは、超音波信号のドップラーシフトを測定して、血液のような流体の流れを指示するカラー画像を発生すると共に、診断に有用な付加的な分析を遂行する。

【0003】

従来の医療用超音波トランスジューサは、電気信号で駆動されたとき超音波を送信し、返送されるエコーを受信し、そしてその受信エコーを複数のアナログ信号へ変換する圧電素子のアレイを備えている。複数のアナログ／デジタルコンバータ（ADC）がアナログ信号をサンプリングし、その各々がデジタル信号サンプルのストリームを発生する。信号サンプルの典型的なデジタル信号処理は、ビーム成形、ダウン変換、Bモード（輝度）処理及び／又はドップラー処理、スキャン変換、及び表示のための画像処理を含む。ビーム成形器は、信号サンプルのストリームに遅延及び加算オペレーションを適用して、視野内の特定方向に対応するビーム成形サンプルのアレイを形成する。ビーム成形器は、信号サンプルのストリームに異なる遅延パターンを適用することによって視野内の異なる方向に対応するビーム成形サンプルの多数のアレイを発生することができる。次いで、望ましい診断情報のタイプに基づいて、ビーム成形サンプルに対してBモード処理及び／又はドップラー処理を遂行して、Bモード検出サンプル及び／又はドップラー検出サンプルを形成する。検出サンプルの空間的座標は、ビーム成形サンプルのビーム幾何学形状に依然対応する。スキャンコンバータが検出サンプルの座標変換を行って、表示に適したラスターフォーマットを有するデータのフレームを発生する。サンプルのフレームに付加的な画像処理を適用して、二次元（2D）又は三次元（3D）画像として表示できるようにする。

【0004】

医療用超音波システムを改善するための現在の努力は、コンソール／カートシステムの診断能力を高めると共に、画質の改善された小型のポータブル装置を開発することに向けられる。ハイエンドのコンソール又はカートシステムについては、トランスジューサ素子の数を増加して、診断能力を拡張するための高い解像度及び／又は3D画像を発生することが望まれる。トランスジューサ素子の数を増加すると、トランスジューサヘッドからコンソールプロセッサへ通信されるデータの量が増加し、より広い帯域巾の通信チャンネル及びより大きなケーブル接続を要求する。トランスジューサヘッドのデータ取得能力は、操作及びフォームファクタの要件により制約を受ける。手持ち及びハンドヘルド型の超音波装置は、経済的なものであり、小規模な医院、移動処置ユニット及び家庭で使用するのに望ましいものである。これらの装置では、バッテリー寿命も制約となる。超音波システムにおいて超音波信号データをより効率的に処理し、転送し、記憶することで、電力、データ転送帯域巾及びメモリ容量を節約することができる。

【0005】

超音波信号データの圧縮は、コンソール／カートシステム及びポータブルシステムの両方に利益をもたらすことができる。その利益とは、システムのデータ送信帯域巾、メモリ容量、及び電力要件を下げることを含む。ポータブル又は手持ち式超音波システムでは、この利益で、重量が減少され、バッテリー寿命が延びる。コンソールシステムの場合には、圧縮は、トランスジューサヘッドにより取得されるデータ量の増加及び超音波信号プロセ

ッサへのデータの転送の影響を軽減する。計算効率のよい圧縮は、システムの複雑さへの影響がほとんど又は全くないという圧縮の利益をもたらす。

【0006】

ここで使用する「圧縮」という語は、信号サンプルを表すビットの数が減少されそして信号サンプルがその後に表示のための処理の前に解凍されるという超音波信号サンプルのデータ圧縮を指す。超音波画像形成システムのある説明では、データ圧縮ではなく「パルス圧縮」を意味するように圧縮という語が使用される。パルス圧縮は、送信された超音波パルスのフィルタリング及び／又は変調と、受信した超音波パルスの逆フィルタリング及び／又は復調とを指す。（例えば、2004年、Ultrasonics、第42巻、第1101-1109ページに掲載されたV. Behar及びD. Adam著の“Parameter optimization of pulse compression in ultrasound imaging system with coded excitation”を参照されたい。）超音波画像形成システムのある説明では、データ圧縮ではなく「対数圧縮」を意味するように圧縮という語が使用される。この点について、対数圧縮は、処理された超音波データの対数、典型的に、表示の前の大きさ検出データを計算することを指す。（例えば、2008年11月、Texas Instruments SPRA12、第1-26ページに掲載されたA. Murtaza氏等の“Signal Processing Overview of Ultrasound Systems for Medical Imaging”を参照されたい。）パルス圧縮及び対数圧縮は、両方とも、時間ドメイン及び周波数ドメインにおいて送信又は受信超音波信号の特性を意図的に変更する。受信超音波信号サンプルのデータ圧縮に続いて解凍を行うことは、時間及び周波数ドメインにおいて信号特性を保存するプロセスである。ここでの説明は、超音波信号サンプルのロスレス及びロッシー圧縮を参照する。ロスレス圧縮では、解凍サンプルがオリジナルサンプルと同一の値を有する。ロッシー圧縮では、解凍サンプルがオリジナルサンプルと同様であるが、同一ではない。ここでの説明は、生、又は処理済みの、即ち表示のための超音波画像を形成するよう最終的に処理された、超音波データのアレイを指すために「フレーム」という語を使用する。又、従来の超音波画像形成システムの説明は、超音波データのフレームを指すために「スクリーン」という語を使用している。ここでの説明では、「リアルタイム」とは、デジタル信号のサンプルレートと少なくとも同程度に速いレートを意味する。「リアルタイム」という語は、デジタル信号の処理、転送及び記憶のためのレートを記述するのに使用することができる。サンプルレートとは、ADCがアナログ信号の変換中にデジタル信号のサンプルを形成するレートである。従来の超音波画像形成システムのある説明は、超音波画像を表示するためのフレームレートを指すために「リアルタイム」という語を使用する。ここでの説明は、リアルタイムを、フレームレートの解釈ではなく、サンプルレートに関連付ける。

【0007】

超音波システムにおけるデータ圧縮の以前の適用は、画像成形のためのスキャン変換の前後に別のデータ圧縮を含ませている。2001年11月13日に発行された“Ultrasonic Diagnostic Device”と題する米国特許第6,315,722号において、ヤエガシ氏は、ADCユニットから出力される超音波信号サンプルを記憶するための時間軸延長ユニットを述べている。時間軸延長ユニットは、ADCユニットから出力されるレートでデータを書き込み、そしてそれより低いレートでデータを読み出す。時間軸延長ユニットは、1つのスクリーン又はフレームに対して信号サンプルを記憶し、そして先入れ先出し（FIFO）メモリを使用して具現化される。時間軸延長ユニットから読み取られた信号サンプルをデータ圧縮ユニットで圧縮する。ヤエガシ氏は、1つのデータフレーム内の空間的相関を利用するための離散的コサイン変換（DCT）に基づく方法、又は複数のデータフレームのためのMPEG圧縮方法のような画像圧縮技術を適用することを述べている。（MPEGとは、ムービングピクチャーエキスパートグループにより開発されたビデオデータ圧縮規格を指す。）圧縮されたサンプルは、ハードディスクのような大量メモリ装置に記憶される。データ圧縮は、大量メモリ装置に必要とされる記憶容量を減少する。画像の発生については、データ拡張ユニットが、大量メモリ装置から検索される圧縮サンプルを解凍する。フィルタリング、対数変換、検出及びデジタルスキャン変換を含む従来のオペ

レーションが、画像形成及び表示のために解凍サンプルに適用される。ヤエガシ氏は、処理シーケンスにおけるビーム成形については開示していない。

【0008】

“Transducer Array Imaging System”と題する米国特許公告2008/0114246号において、ランデル氏等は、ビーム成形の前及び／又は後にマッピング、再サンプリング及び／又はデータウインドウ化を使用して超音波デジタルデータを圧縮することを述べている。マッピングは、信号サンプルを再量子化又はクリッピングすることを含む。例えば、必要なビットの数は、深さと共に単調に減少し、深さに基づきサンプル当たりより少数のビットが指定される。ある実施形態では、送信及び受信アパーチャを越えて延びる受信チャンネルからの信号サンプルを切断することができる。当該領域（ROI）を画像形成するために、信号取得時間は、深さ範囲に比例し、最小サンプル時間の前及び／又は最大サンプル時間の後に取得されるデータは、それが画像ピクセルの形成に貢献しない場合には切断することができる。ある実施形態では、表示解像度が全解像度画像に必要なものより低い場合にはデータをより少数のサンプルへと再サンプリングし、転送されるサンプルの数を減少することができる。

【0009】

2000年3月28日に発行された“Medical Diagnostic Ultrasound System and Method for Transform Ultrasound Processing”と題する米国特許第6,042,545号において、ホサック氏等は、ビーム成形後の超音波データに対する変換圧縮技術を述べている。ビーム成形の別の態様は、ADCの前のアナログビーム成形、又はADCの後のデジタルビーム成形を含む。ビーム成形器は、同相及び直角位相（I及びQ）サンプルを発生するか、或いは又高周波（RF）サンプルを発生する。二次元（2D）フレームに対応するビーム成形サンプルは、変換ドメイン表現を発生するようにフィルタリング及び変換される。変換ドメインサンプルは、圧縮のために量子化及び／又はエンコードされる。圧縮は、ロスレス又はロッキーである。DCT又は離散的ウェーブレット変換（DWT）、量子化関数及びエンコーディング関数のような変換は、データのフレームを圧縮するのに適用される。例えば、JPEG圧縮は、データのフレームをデータの2Dブロックへ分割し、各ブロックに2D DCTを使用して変換し、変換ドメインサンプルを量子化し、ブロック間でDC（ゼロ周波数）変換サンプルを差動エンコーディングし、そして量子化変換ドメインサンプルの2Dブロックをエントロピーエンコーディング（例えば、ハフマンエンコーディング）することを含む。JPEG圧縮アルゴリズムは、ロッキー又はロスレスとして構成することができる。（JPEG圧縮とは、ジョイントフォトグラフィックエキスパートグループによって開発された標準画像圧縮方法を指す。）種々の画像処理機能のための変換ドメインにおける付加的なオペレーション、例えば、フィルタリングは、空間的ドメインより変換ドメインにおいて計算効率が高い。例えば、空間的ドメインにおける2Dフィルタリングは、2Dコンボリューションオペレーションを使用する。変換ドメインにおいて、2Dフィルタリングは、変換ドメインフィルタ係数による効率的な乗算を使用する。圧縮された変換ドメインデータは、後で画像形成のために記憶することができる。解凍については、表示のための処理の前に逆エンコーディング及び変換機能が適用される。

【0010】

2005年2月15日に発行された“Diagnostic Information Generation Apparatus and Ultrasonic Diagnostic System”と題する米国特許第6,855,113号において、アメミヤ氏等は、超音波ユニットから情報ユニットへワイヤレス送信する前に超音波データのフレームを圧縮することを述べている。超音波ユニットは、トランスジューサと、その後のビーム成形、Bモード画像形成及びドップラー画像形成のためのプロセッサとを備えている。汎用のデータ圧縮規格、例えば、単一フレームについてはJPEG圧縮、又は複数のフレームについてはMPEG圧縮が、Bモード画像形成データ又はドップラー画像形成データに適用される。圧縮されたデータは、標準ワイヤレス通信モードを使用して情報ユニットへ送信される。情報ユニットは、受信したデータを圧縮規格に基づいて解凍

10

20

30

40

50

する中央処理ユニット（CPU）を備えている。CPUは、更に、解凍されたBモード画像形成データ及び解凍されたドップラー画像形成データを表示のために処理する。

【0011】

1997年3月20日に公告された“Ultrasonic Diagnostic Apparatus for Compressing and Storing Data in CINE Memory”と題するPCT出願公告、国際公告番号WO97/09930において、リー氏は、CINEメモリに記憶する前に超音波データを圧縮しそしてCINEメモリから検索されたデータを解凍することを述べている。CINEメモリは、時間により編成される多数のバンクを含む。このシステムでは、超音波プローブがADCの前でビーム成形を行い、従って、ADCの出力データは、ビーム成形されたサンプルを表す。圧縮は、データのフレームに適用され、そしてスキャン変換の前又は後に適用することができる。Lempel-Ziv-Welch（LZW）アルゴリズムが圧縮及び解凍に適用される。このLZWアルゴリズムは、データにおけるビットの繰り返しパターンを検出しそしてその繰り返しパターンにコードを指定することに基づく。CINEメモリから検索されたフレームに対する圧縮データは、解凍され、そして表示のために更に処理される。

10

【0012】

2005年3月31日に公告された“Ultrasonograph and Ultrasonic Data Compression Method”と題する日本国特許出願、公告番号2005-081082号において、アキヒロ氏は、アナログビーム成形後に超音波データを圧縮するための3つの実施形態を述べている。第1の実施形態において、ADCは、アナログビーム成形器出力信号のI及びQサンプルを発生する。圧縮器は、隣接ビームのI、Qサンプル間の差を計算し、それに続いて、その差をラン長さエンコーディングし、圧縮データを形成する。圧縮データは、メモリに記憶される。メモリから検索された圧縮データは、解凍され、そして画像表示のために処理される。第2の実施形態において、ADCは、アナログビーム成形出力サンプルのRFサンプルを発生する。圧縮器は、隣接ビームのRFサンプル間の差を計算し、その後、ラン長さエンコーディングを行う。圧縮されたサンプルは、メモリに記憶され、検索され、解凍され、そして画像表示のために処理される。第3の実施形態において、ビーム成形器の出力は、圧縮の前にBモード画像フレーム及びドップラー画像フレームを発生するように更に処理される。圧縮器は、フレーム対フレームの差を計算して、圧縮されたデータフレームを発生する。圧縮されたデータフレームは、メモリに記憶され、検索され、解凍され、そして表示のために更に処理される。

20

30

【0013】

1988年6月21日に発行された“Ultrasonic Bloodstream Diagnostic Apparatus with Dual Displays of Velocity Profiles and Average Flow Velocity”と題する米国特許第4,751,929号において、ハヤカワ氏等は、ドップラー周波数検出データを圧縮することを述べている。圧縮器は、周波数スペクトルサンプルの実数部及び虚数部の2乗の大きさを計算する平方・加算回路の出力に対して動作する。圧縮器は、加算器からの各サンプル出力のビットを再エンコードして、表現におけるビット数を減少する。圧縮器は、加算器出力サンプルに対して動作して、仮数における最上位ビットの位置をエンコードし、固定数の最上位ビットを保存し、そして残りの最下位ビットを除去する。それにより各サンプルに対して得られる圧縮ワードは、固定数の最上位ビットと、オリジナルサンプルから除去される最下位ビットの数を示すコードとを含む。各サンプルから可変数の最下位ビットが除去され、従って、圧縮は、ロッシーである。

40

【0014】

1998年Proc. Intl. Conf. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society、第20巻、第3号、第1274-76ページに掲載された“A Novel B-Mode Ultrasound Image Compression Method Based on Beam Forming Data”と題する論文において、リー氏等は、ビーム成形サンプルをテレ超音波システムにおいて送信するために圧縮することを述べている。128x512個のビーム成形サンプルのフレームにDWTが適用される。垂直方向におけるサブ画像の係数が、演算コード化を使用して量子化されエンコードさ

50

れる。解凍の後、 128×512 個の解凍されたサンプルのフレームにスキャン変換を適用して、 512×512 個のサンプルのフレームを表示のために形成する。

【0015】

画像形成のためにスキャン変換後に超音波画像を圧縮するための異なる方法が多数の論文に掲載されている。幾つかの例は、次のものを含む。2001年Proc. 23rd Annual IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Intl. Conf.、第2461－64ページに掲載された“Comparative Survey of Ultrasound Images Compression Methods Dedicated to a Tele-Echography Robotic System”と題する論文において、デルゴージ氏等は、超音波画像に異なる圧縮方法を適用することを述べている。これらの方法は、フーリエ変換、DCT、クオドツリー解凍、DWT、フラクタル、ヒストグラムスレッシュホル
10
ルド、及びラン長さコード化を含む。これらの方法は、スキャン変換後に 512×512 個の超音波画像に適用される。2005年6月、IEEE Trans. Medical Imaging、第24巻、第6号、第743－54ページに掲載された“Despeckling of Medical Ultrasound Images Using Data and Rate Adaptive Lossy Compression”と題する論文において、グ
20
プタ氏等は、圧縮を、超音波画像から斑点を除去するアルゴリズムと組み合わせることを述べている。DWTに続いて、斑点除去アルゴリズム、量子化及びエントロピーエンコーディングが行われる。2005年3月、IEEE Trans. Information Technology in Biomedicine、第9巻、第1号、第50－58ページに掲載された“A Tele-Operated Mobile Ultrasound Scanner Using a Light-Weight Robot”と題する論文において、デルゴージ氏
20
等は、種々のロスレス及びロッシー圧縮方法を超音波画像に適用することを述べている。ロスレス方法は、ハフマン、演算コード化、Lempel-Ziv、ラン長さコード化、及びFanoコード化を含む。ロッシー方法は、JPEG、JPEG-Ls及びJPEG 2000を含む種々のJPEGバージョンを包含する。1997年6月、IEEE Signal Processing Letters、第4巻、第6号、第156－7ページに掲載された“Maximum Likelihood Motion Estimation in Ultrasound Image Sequence”と題する論文において、スト
30
リンツイス氏等は、一連の超音波画像にMPEG圧縮を適用することを述べている。この方法は、一連の画像内の連続フレーム間でピクセルの 8×8 ブロックに対して運動ベクトルを検出することを含む。運動ベクトルは、フレーム対フレームのMPEG圧縮に対してエンコードされる。

【0016】

2006年3月7日付の“Adaptive Compression and Decompression of Band limited Signals”と題する共通所有の米国特許第7,009,533号（‘533特許）は、ある帯域制限信号の圧縮及び解凍のためのアルゴリズムを記述している。2000年6月2日に出願された“Ultrasound Signal Compression”と題する共通所有の同時係争中の米国特許出願第12/477062号（‘062出願）は、アナログ/デジタルコンバータから出力される超音波信号サンプルの圧縮と、ビーム成形オペレーションの前の解凍とを記述している。本出願は、超音波信号サンプルに適用されたビーム成形オペレーションから生じる超音波ビーム成形サンプルの圧縮に向けられる。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0017】

超音波画像形成システムのコンポーネント間で超音波ビーム成形サンプルを効率的にデータ転送する必要がある。又、システムの複雑さへの影響を最少にしてデータ転送を改善するために超音波ビーム成形サンプルを計算上効率的にデータ圧縮する必要がある。

【課題を解決するための手段】

【0018】

本発明の実施形態は、以上の従来の問題を考慮して得られたものである。本発明は、超音波画像形成システムにおいて受信ビーム成形器により発生される1つ以上のビームを表すビーム成形サンプルを圧縮するための装置及び方法を提供する。受信ビーム成形器は、サンプリング窓の間に受け取られる超音波信号サンプルの複数のシーケンスに適用され、
50

ビーム成形サンプルのアレイによって各々表される1つ以上のビームを形成する。超音波信号サンプルのシーケンスは、サンプリング窓の間にトランスジューサ要素により出力されるアナログ超音波信号のアナログ／デジタル変換により発生される。本発明の方法及び装置は、ビームを圧縮して圧縮ビームを形成するもので、これは、特定ビームを表すアレイ内のビーム成形サンプルを圧縮して、対応する圧縮ビームの圧縮ビーム成形サンプルを形成することを含む。アレイ内の特定のビーム成形サンプルの圧縮は、アレイ内の少なくとも1つの他のビーム成形サンプルの特性に一部分依存する。各ビームは、サンプリング窓に対応する別のビームとは独立して圧縮される。圧縮されたビームは、デジタルインターフェイスを横切って信号プロセッサへ転送される。信号プロセッサにおいて、圧縮されたビームは、画像形成のための処理の前に解凍される。

10

【0019】

本発明の装置の実施形態において、圧縮器は、1つ以上の圧縮ユニットを備えている。対応する圧縮ユニットが、サンプリング窓に対応する他のビームとは独立して、受信ビーム成形器から出力される対応ビームに圧縮オペレーションを適用する。対応する圧縮ユニットは、対応するビームの少なくとも1つの他のビーム成形サンプルの特性に一部分基づいて、特定のビーム成形サンプルを圧縮するように構成される。

【0020】

本発明の別の態様において、圧縮オペレーションは、特定ビームのビーム成形サンプルのグループにブロックのフローティングポイントを適用して、圧縮ビーム成形サンプルのグループを形成することを含む。グループマルチプレクサは、2つ以上の圧縮ビームに対応するグループをインターリーブさせて、デジタルインターフェイスにわたって転送するためのマルチプレクスされたシーケンスを形成する。マルチプレクスされて受け取られたシーケンスの圧縮グループは、解凍されて、解凍ビーム成形サンプルのグループを形成する。グループデマルチプレクサは、解凍グループを再アレンジして、対応する解凍ビームのためのオリジナルグループ順序を回復する。本発明の別の実施形態では、圧縮オペレーションは、対応ビームのビーム成形サンプル間の差を計算し、それに続いて、差のサンプルをブロックフローティングポイントエンコーディングして、圧縮ビームを形成することを含む。

20

【0021】

ビーム内のビーム成形サンプル間の相関は、同じビーム内の別のビーム成形サンプルの特性に一部分基づいて特定のビーム成形サンプルを圧縮することにより利用される。ブロックフローティングポイントエンコーディングを含む実施形態では、特性は、ビーム内のビーム成形サンプルのグループに最大の大きさを有するビーム成形サンプルに対する指数値である。ブロックフローティングポイントエンコーディングは、指数値及びビーム成形サンプルそれ自体の値に基づきグループ内の各ビーム成形サンプルを表す。ビーム内のビーム成形サンプルの対間の差を計算することを含む実施形態では、特性は、その対の各ビーム成形サンプルの値である。各ビームをサンプリング窓内の他のビームとは独立して圧縮することで、圧縮ビームを発生するための効率的な計算及び短い待ち時間を許す。

30

【発明の効果】

【0022】

超音波画像形成システムにおいてビーム成形サンプルを圧縮する効果は、圧縮されたビーム成形サンプルを、デジタルインターフェイスを経て信号プロセッサへ転送するのに必要な帯域巾が減少されることを含む。受信ビーム成形器及び圧縮器がトランスジューサヘッドに収容されるシステムアーキテクチャーでは、デジタルインターフェイスは、ワイヤード又はワイヤレス通信リンクである。ワイヤード通信リンクの場合は、デジタルインターフェイスは、P C I e（周辺コンポーネント相互接続エクスプレス）ケーブルリンク又は光ファイバリンクのような低コストのケーブルアセンブリによって具現化される。ワイヤレス通信リンクの場合は、要求される帯域巾の減少で、ワイヤレスリンクを具現化する送信器及び受信器のコスト及び複雑さを低減することができる。デジタルインターフェイスの帯域巾が固定であるシステムアーキテクチャーでは、ビーム成形サンプルの圧縮で、

40

50

より多くのビームを圧縮形態で画像形成のために信号プロセッサへ転送することができる。信号プロセッサは、より多数のビーム成形サンプルを使用して、改善された解像度又は大きな視野を有する超音波画像を発生することができる。

【0023】

本発明の別の効果は、圧縮されたビーム成形サンプルが効率的に記憶されることを含む。ビーム成形サンプルがメモリ又は他の記憶媒体に記憶されるシステムアーキテクチャーでは、圧縮されたビーム成形サンプルを記憶するのに必要な記憶容量が、非圧縮のビーム成形サンプルに比して減少される。

【0024】

本発明の別の効果は、計算効率のよい圧縮及び解凍を含む。圧縮及び解凍の具現化は、あまり複雑でなく、システムリソースへの負担を減少し、コストを下げる。本発明の他の観点及び効果は、添付図面、以下の詳細な説明及び特許請求の範囲から明らかとなろう。

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】従来技術による典型的な医療用超音波システムの一例を示すブロック図である。

【図2】従来技術による超音波信号プロセッサ130のブロック図である。

【図3】従来技術によるビーム成形前の超音波信号サンプルのプロットである。

【図4】従来技術による1つのビーム成形出力チャンネルに対応するビーム成形超音波信号の同相サンプルのプロットである。

【図5】受信ビーム成形器から出力されたビーム成形サンプルの圧縮を含む超音波画像形成システムのブロック図である。

【図6】少数のデータポートを横切って転送するために圧縮されたビーム成形サンプルをマルチプレクスすることを含む超音波画像形成システムのブロック図である。

【図7】 $N_GROUP = 4$ であるブロックフローティングポイントエンコーダのブロック図である。

【図8】エンコーディングのためのサンプルの n_bit を選択する一例を示す。

【図9】減少された仮数を表すためのビットを選択する一例を示す。

【図10】 n_exp 、 n_LSB 及び m_exp の規範的な値を示すテーブルである。

【図11】減少された仮数を使用するブロックフローティングポイントエンコーディングのブロック図である。

【図12】1組の圧縮されたビームの圧縮されたグループをマルチプレクスする一例を示す。

【図13】図12のマルチプレクス例に対応するデマルチプレクス例を示す。

【図14】差の演算を含む圧縮ユニットのブロック図である。

【図15】図14を参照して述べた圧縮オペレーションに対応する解凍オペレーションのブロック図である。

【図16】デコードされた差のサンプルのグループをデマルチプレクスするブロック図である。

【図17】異なる中心周波数をもつビーム成形サンプルを圧縮するための原理に基づく別々の例を示す。

【図18】ビーム成形サンプルの中心周波数に基づく圧縮アルゴリズムのブロック図である。

【図19】中心周波数に基づき変更サンプル832を発生するオペレーションを示す。

【図20】図17の例に対するサンプル $x(i)$ 及び $x(i-j)$ の和又は差を示す。

【図21】図18を参照して述べた圧縮方法に対して解凍器240により遂行されるオペレーションのブロック図である。

【図22】デコードされ変更されたサンプルのグループをデマルチプレクスするブロック図である。

【図23】解凍器のGPUにおける具現化、及び超音波画像を発生するための他のオペレーションを示すブロック図である。

10

20

30

40

50

【図 2 4】解凍器の CPU/GPU 装置における具現化、及び超音波画像を発生するための他のオペレーションを示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0026】

図 1 は、従来技術による典型的な医療用超音波システムの一例を示すブロック図である。送信ビーム成形器 104 は、デジタル又はアナログビーム成形器のような既知の構造のものである。送信ビーム成形器 104 は、システムコントローラ 102 に応答して 1 つ以上の励起信号を発生する。励起信号は、典型的に、1 ないし 20 MHz 範囲の関連中心周波数を有する。送信ビーム成形器 104 からの励起信号は、送信/受信スイッチ 112 を経て超音波トランスジューサ 110 に与えられる。超音波トランスジューサ 110 は、トランスジューサ素子 110 i のアレイを含む。超音波トランスジューサ 110 は、検査を受ける対象者に超音波を結合できるようにする既知の構造のものである。トランスジューサ素子 110 i は、超音波の発射及び受信の両方を行う。送信/受信スイッチ 112 は、送信及び受信モードのためのスイッチング回路を含む。送信モードでは、送信/受信スイッチ 112 は、送信ビーム成形器 104 からの励起信号をトランスジューサ 110 へ結合する。受信モードでは、送信/受信スイッチ 112 は、トランスジューサ 110 から受信した超音波信号をアナログフロントエンド (AFE) 114 へ結合する。送信の場合に、トランスジューサ素子 110 i は、励起信号を変換して、超音波音響波形を発生する。特に、トランスジューサ 110 は、送信ビーム成形器 104 に応答して、励起信号を、対象者内をある方向に進行する超音波波形へ変換する。異なる音響インピーダンスを伴う界面を有する散乱場所で超音波波形を反射させて、トランスジューサ 110 へエコーを返送させる。複数のトランスジューサ素子 110 i がエコーを受信して、複数のアナログ超音波信号へと変換する。送信/受信スイッチ 112 は、トランスジューサ 110 からの複数のアナログ超音波信号をサンプリング窓間に AFE 114 へ結合する。サンプリング窓は、受信したエコーが対象者の望ましい深さ範囲内の散乱場所からの反射を表すところの時間インターバルに対応する。コントローラ 102 は、ユーザ入力又はスキャンプロトコルに従ってサンプリング窓をセットし、そして送信/受信スイッチ 112 にタイミングコントロール情報を与える。送信/受信スイッチ 112 は、サンプリング窓間に複数のアナログ超音波信号を並列に出力する。AFE 114 は、アナログ/デジタル変換のための準備として複数のアナログ超音波信号を増幅しそしてフィルタリングする。AFE 114 は、各アナログ信号チャンネル 113 i に対して、低ノイズ増幅器 (LNA)、可変利得増幅器 (VGA) 及びローパスフィルタを含むことができる。VGA は、受信信号強度が時間と共に減少するので、時間の関数として利得を増加する利得プロファイルを適用する。時間に伴う信号強度の低下は、超音波がより多くの組織を通してより長い距離進行するにつれて減衰することから生じる。ADC バンク 120 は、サンプリング窓の間に受信した複数のアナログ超音波信号を、並列の超音波信号サンプルの複数のシーケンスへ変換するための複数の ADC を備えている。各 ADC 入力チャンネル 115 i におけるアナログ超音波信号は、それに対応する ADC 出力チャンネル 121 i における超音波信号サンプルのストリームへと変換される。超音波信号サンプルは、トランスジューサの圧電材料の固有の共振周波数に関連した受信超音波信号の高周波 (RF) に典型的に対応する非ゼロの中心周波数を有する。

【0027】

超音波信号プロセッサ 130 は、ビーム成形、ダウン変換、B モード処理、及び/又はドップラー処理を含めて、超音波信号サンプルから診断情報を抽出するオペレーションを遂行し、これについては図 2 を参照して更に説明する。超音波信号プロセッサ 130 は、デジタル信号プロセッサ (DSP)、フィールドプログラマブルゲートアレイ (FPGA)、マイクロプロセッサ、又はコンピュータの CPU のような 1 つ以上のプロセッサで具現化することができる。スキャンコンバータ 140 は、処理されたサンプルのフレームの座標変換を遂行して、ラスタ (直線) フォーマットを有する超音波画像サンプルのフレームを発生する。画像プロセッサ 150 は、付加的な画像向上オペレーションを超音波画像

10

20

30

40

50

サンプルに適用することができる。ディスプレイ 160 は、ユーザにより分析するための 2 次元又は 3 次元画像を与える。

【0028】

図 2 は、従来技術による超音波信号プロセッサ 130 のブロック図である。医療用超音波システムは、ADC バンク 120 から出力された RF 超音波信号サンプルに対してデジタルビーム成形オペレーションを遂行することができる。受信ビーム成形器 160 は、遅延、アポダイゼーション（減衰）及び加算オペレーションを超音波信号サンプルに適用して、視野内の特定の方向又は角度に対応するビーム成形サンプル又はビームの 1D アレイを形成する。受信ビーム成形器 160 は、計算されているビームの方向に依存する遅延のパターンを超音波信号サンプルに適用する。受信ビーム成形器 160 は、視野内の多数の方向に対応するビーム成形サンプルの多数の 1D アレイを発生する。受信ビーム成形器 160 は、表示のための超音波信号サンプル及びビーム成形（BF）計算器 164 の加算オペレーションを記憶するためにビーム成形器（BF）メモリ 162 を備えている。BF 計算器 164 は、同じ受信パルスに対して BF メモリ 162 から検索された超音波信号サンプルを使用して複数のビームを形成することができる。又、BF 計算器 164 は、補間オペレーションを超音波信号サンプルに適用して、計算されるビームの位相解像度を改善することができる。又、受信ビーム成形器 160 は、加算オペレーションの前に信号サンプルに重み付け関数を適用して、空間的窓機能又はアポダイゼーションを具現化することができる。各角度に対して計算されたビーム成形サンプルは、それに対応するビーム成形器出力チャンネル 161 i に与えられる。受信ビーム成形器 160 は、典型的に、ADC 出力チャンネル 121 i より成る入力チャンネルより少ない出力チャンネル 161 i を有する。この構成では、ビーム成形サンプルは、RF 中心周波数を有する。デジタルダウンコンバータ（DDC）170 は、ビーム成形サンプルを基本帯域へと復調し、各ビームに対する複雑な基本帯域 I 及び Q サンプルを発生する。DDC 170 とは別に又はそれに加えて、希望の周波数を中心とする周波数帯域でビーム成形サンプルにバンドパスフィルタを適用することもできるし、又は DDC 170 がビーム成形サンプルを基本帯域ではなくて中間周波（IF）へ復調することもできる。この技術の別のアーキテクチャは、アナログ／デジタル変換の前にアナログビーム成形を行い、そしてビーム成形の前に超音波信号サンプルのデジタルダウン変換を行うことを含む。

【0029】

診断情報プロセッサ 180 は、希望のタイプの超音波画像のために I、Q サンプルに対して適当なオペレーションを遂行する。B モード処理は、エコー信号の強度を表す情報を発生する。I、Q サンプルの大きさは、B モード画像のための検出サンプルを形成するように計算することができる。ドップラー処理は、I、Q サンプルから速度、速度の偏差、及びエネルギーを推定して、ドップラー検出サンプルを形成する。B モード検出サンプル及びドップラー検出サンプルの空間的座標は、ビーム成形サンプルの幾何学形状に対応する。スキャンコンバータ 140 は、検出サンプルの座標変換を遂行して、表示に適したラスタフォーマットを有するデータのフレームを発生する。画像プロセッサ 150 は、サンプルのフレームの付加的な画像処理を、表示の前に、2 次元又は 3 次元画像として遂行する。

【0030】

図 3 は、ビーム成形の前の超音波信号サンプルのプロットである。このプロットは、ADC アレイの 1 つの ADC によってサンプリングされた 4 つのパルスエコーに対する同相サンプルを表示するものである。この例では、ビーム成形の前に、ADC から出力された超音波信号サンプルにデジタルダウン変換が適用されて、I、Q サンプルを形成している。図 4 は、1 つのビーム成形出力チャンネルに対応するビーム成形超音波信号の同相サンプルのプロットである。この例では、ビーム成形器は、遅延及び重み付け関数を I、Q サンプルに適用することにより複数の ADC から出力された I、Q サンプルの複数のシーケンスを合成する。

【0031】

図5は、好ましい実施形態により、受信ビーム成形器160によって発生されたビーム成形サンプルを圧縮することを含む超音波画像形成システムのブロック図である。圧縮器210は、複数の圧縮ユニット210iを備え、その各々は、それに対応するビーム成形器出力チャンネル161iに圧縮オペレーションを適用する。圧縮ユニット210iは、特定のビームを表すビーム成形サンプルの1Dアレイに圧縮オペレーションを適用して、圧縮されたビーム成形サンプルの対応シーケンスを圧縮器の出力211iに発生する。特定のビームのビーム成形サンプルは、他のビームを表すビーム成形サンプルとは独立して圧縮される。或いは又、圧縮ユニット210iは、複数のビーム成形器出力チャンネル161iから受け取られた複数のビームを表すビーム成形サンプルを圧縮してもよい。この別の態様では、圧縮ユニット210iは、異なるビームを表すビーム成形サンプルに圧縮オペレーションを独立して適用する。圧縮されたビーム成形サンプルは、デジタルインターフェイス220を横切って診断情報プロセッサ180へ転送される。解凍器240は、受け取った圧縮データを解凍して、診断情報プロセッサ180による更なる信号処理オペレーションのためにビーム成形サンプルの1Dアレイを再構成する。圧縮されたビーム成形サンプルを転送するに必要なデジタルインターフェイス220のデータ転送帯域巾は、非圧縮のビーム成形サンプルを転送するに必要な帯域巾に比して減少される。

【0032】

処理シーケンスのある時点で、処理された超音波信号がIF又は基本帯域へダウン変換される。ダウン変換は、ADCバンク120によるアナログ／デジタル変換の前又は後、ビーム成形の後であって且つ圧縮の前、或いは解凍の後に、適用されてもよい。ダウン変換が圧縮の前に適用されるときには、圧縮器210に入力されるビーム成形サンプルは、中心周波数を中間周波（IF）又はゼロ周波数（基本帯域）に有する。ダウン変換が解凍の後に適用されるときには、圧縮器210に入力されるビーム成形サンプルは、RF中心周波数を有する。ここでの説明は、ビーム成形サンプルが実数値のサンプルであることを仮定している。或いは又、ADC120iが直角位相サンプリングを遂行するか又は直角位相ダウン変換が圧縮の前に適用される場合には、ビーム成形サンプルがI及びQ成分を有する。この状態では、圧縮器210は、ビーム成形サンプルのI及びQ成分を独立して処理する。

【0033】

圧縮されたビーム成形サンプルは、サンプル当たり少数のビットしかもたないので、デジタルインターフェイス220に接続するためのデータポートが、過剰な帯域巾を有することがある。圧縮されたビーム成形サンプルは、デジタルインターフェイス220を経て転送するための少数のデータチャンネルを形成するようにマルチプレクスされてもよい。図6は、少数のデータポートを横切って転送するために圧縮されたビーム成形サンプルをマルチプレクスすることを含む超音波システムのブロック図である。受信ビーム成形器160は、各ADC出力121iから超音波信号サンプルのN本のストリーム X_1 ないし X_N を受け取り、そしてビーム成形器出力チャンネル161iにJ本のビーム B_1 ないし B_J を発生する。圧縮ユニット210iは、圧縮されたビーム成形サンプルのJ本の対応ストリーム C_1 ないし C_J を発生する。減少ビットレートの圧縮されたビーム成形サンプルがデータポート270iに与えられる。好ましくは、データポート270iは、低電圧差動シグナリング（LVDS）データ送信を与える。或いは又、データポート270iは、データ送信のためのシリアライザ／デシリアライザ（serDes）インターフェイスを使用することができる。ナショナルセミコンダクタ社により2008年1月に出版された“LVDS Owner's Manual Including High-Speed CML and Signal Conditioning”と題する文書、第4版には、LVDS装置及びアーキテクチャが記述されている。LVDSデータ送信は、3.125Gbpsの最大データ転送レート、低ノイズ及び低電力消費を含む望ましい特性を有する。差動シグナリングは、正の差動出力について1つ及び負の差動出力について1つの、2つのI/Oピンをチャンネル出力当たり要求し、これは、LVDS対と称される。データポート270iは、圧縮器出力 C_i における圧縮ビームのビットレートがポートの最大データ転送レートより低いときには、過剰な帯域巾を有する。この過剰

な帯域巾は、所与のデータポート 270 i を経て転送するために複数の圧縮ビームを合成することにより利用することができる。マルチプレクサ 250 は、圧縮されたビーム成形サンプルの J 個のシーケンスを合成して、M 個のデータポート 270 i を経て転送するための M 個のマルチプレクスされたシーケンス D_j を形成する。合成することのできる圧縮ビームの数は、データ転送ポート 270 i の帯域巾により制限される。シリアルライザ 260 は、マルチプレクスされたビットシーケンスを、それに対応するデータポート 270 i に与える。

【0034】

圧縮されたビーム成形サンプルをマルチプレクスして、M 個のデータポートを使用する効果は、より少数の物理的データポートを使用することを含み、これは、次いで、データポートの接続及び電力消費を減少する。圧縮されたビーム成形サンプルのビットレートが固定である用途では、マルチプレクサ 250 は、固定数の物理的データポート 270 i に対して固定数のマルチプレクス出力 251 i を有する。或いは又、融通性のあるアーキテクチャーは、圧縮されたビーム成形サンプルのビットレートに基づいて固定数の物理的データポート 270 i の中で可変数のアクティブなデータポートをサポートすることができる。融通性のあるアーキテクチャーでは、圧縮器 210 は、ユーザ選択可能な圧縮比パラメータに基づく種々のビットレートで圧縮されたビーム成形サンプルを与える。圧縮コントローラ（図 5 には示されていない）は、オペレーションが希望の圧縮比に対応するビットレートで圧縮されたビーム成形サンプルを発生するように、圧縮コントロールパラメータを圧縮ユニット 210 i に与える。圧縮コントローラは、発生すべきマルチプレクスされたシーケンスの数 M を指示するためにマルチプレクスコントロールパラメータをマルチプレクサ 250 に与える。又、圧縮コントローラは、ユーザ入力に応答して、インアクティブなデータポートを電源オフし、電力を更に保存することができる。

【0035】

1 つのデータポートに対して合成できる圧縮ビームの数は、データポート 270 i の帯域巾によって制限される。例えば、 $J = 8$ 本のビーム B_i に対して、各ビームが 16 ビット／ビーム成形サンプル、及び 50 メガサンプル／秒 (M s p s) のサンプルレートを有する場合に、各ビーム成形器出力チャンネル 161 i のビットレートは、800 Mb p s である。データポート 270 i が 800 Mb p s までのデータ転送レートを有し、そして圧縮器 210 が 2 : 1 の圧縮比を生じると仮定する。圧縮器出力 211 i における圧縮ビーム C_i は、400 Mb p s のビットレートを有する。この場合に、1 つのデータポート 270 i は、800 Mb p s のデータ転送レートで 2 つの圧縮ビーム C_i を転送するに十分な帯域巾を有する。マルチプレクサ 250 は、1 組の 2 つの圧縮ビーム C_i 及び C_{i+1} からの圧縮されたビーム成形サンプルを合成し、マルチプレクスされた圧縮サンプル D_j の対応シーケンスを 1 つのマルチプレクス出力 251 i に形成する。この例では、対応するアクティブなデータポートに与えられるマルチプレクスされたシーケンスの数は、 $M = J / 2 = 4$ である。シリアルライザ 260 は、ビットのシーケンスを対応データポート 270 i に与える。デジタルインターフェイス 220 を経て転送された後に、デマルチプレクサは、M 個のマルチプレクスされたシーケンスを受け取り、そしてそれらをデマルチプレクスして、解凍器 240 に与えられる J 個の圧縮ビームを回復させる。或いは又、マルチプレクサ 250 は、グループ当たり固定数のサンプルを有する圧縮されたビーム成形サンプルのグループをインターリーブしてもよい。この別の形態では、解凍器 240 は、図 12 及び図 13 を参照して以下に述べるように、デマルチプレクシングの前に、圧縮されたビーム成形サンプルのグループを解凍することができる。

【0036】

圧縮ユニット 210 i により適用される圧縮方法は、各ビーム成形器出力チャンネル 161 i のビーム成形サンプルに、他のビームとは独立して、作用する。ビーム成形サンプルに適用される圧縮方法は、ビーム内の他のサンプルの値に依存する。圧縮方法は、ブロックフローティングポイントエンコーディングを行い、そしてビーム成形サンプルの第 1 又はそれより高次の導関数を計算し、それに続いて、ブロックフローティングポイントエ

10

20

30

40

50

ンコーディングを行うことを含む。ブロックフローティングポイントエンコーディングに代わって、ハフマン又は他の形式のエンコーディングを行うこともできる。

【0037】

圧縮ユニット 210 i の好ましい実施形態は、ビーム成形器出力チャンネル 161 i からの連続的ビーム成形サンプルのグループにブロックフローティングポイントエンコーディングを適用し、各グループは、N__GROUP サンプルを有する。N__GROUP サンプルの最大指数がエンコードされ、そして N__GROUP サンプルが次の段階に基づいてエンコードされる。

N__GROUP サンプルの第 1 グループの場合：

1) 最大の大きさをもつサンプルの指数（底 2）を、例えば、N__GROUP サンプルの各グループにおいて最大の大きさの $\log_2$ を計算することにより決定する。これは、エンコードされたサンプル当たりのビット数、又は $n_exp(0)$ を指示する。

2) S 個のビットを使用して第 1 グループの指数 $n_exp(0)$ を絶対エンコードする。ここで、S は、サンプル当たりの元のビット数である。

3) サンプル当たり $n_exp(0)$ ビットを使用して N__GROUP サンプルをエンコードする。

N__GROUP サンプルの i 番目のグループの場合（ $i > 0$ ）：

4) 最大の大きさをもつサンプルの i 番目の指数（底 2）を決定する。これは、i 番目のグループにおけるエンコードされたサンプル当たりのビット数、又は $n_exp(i)$ を指示する。

5) $n_exp(i-1)$ から $n_exp(i)$ を減算することにより i 番目の指数を差動エンコードし、i 番目の差の値を決定する。対応するトークンを使用して i 番目の差の値をエンコードする。但し、短いトークンは、共通性の多い差の値を表し、そして長いトークンは、共通性の少ない差の値を表す。

6) サンプル当たり $n_exp(i)$ を使用して N__GROUP サンプルの i 番目のグループをエンコードする。

【0038】

第 1 のサンプルグループの場合に、指数 $n_exp(0)$ が直接エンコードされる。例えば、指数 $n_exp(0)$ は、次のようにエンコードすることができる。但し、S は、サンプル当たりの元のビット数である。

- a. 0 : $n_exp(0) = 0$ (4つのサンプル値は全てゼロ)
- b. 1 : $n_exp(0) = 2$ (サンプル当たり 2 ビット)
- c. 2 : $n_exp(0) = 3$ (サンプル当たり 3 ビット)
- d. 等、S - 1 まで : $n_exp(0) = S$ (サンプル当たり S ビット)

【0039】

i 番目のグループの場合に、指数 $n_exp(i)$ は、プレフィックスコードを使用して差動エンコードされ、但し、別のコードワードのプレフィックスとなるコードワードはない。好ましい差動エンコーディングは、次の通りである。

1. 差を計算する : $e_diff = n_exp(i) - n_exp(i-1)$

2. e_diff を次のようにエンコードする：

- a. 0 : $e_diff = e(i) - e(i-1)$
- b. 101 : $e_diff = +1$
- c. 110 : $e_diff = -1$
- d. 1001 : $e_diff = +2$
- e. 1110 : $e_diff = -2$
- f. 等

或いは又、指数 $n_exp(i)$ は、差動エンコードされるのではなく、ハフマンエンコードされてもよい。

【0040】

図 7 は、N__GROUP = 4 であるブロックフローティングポイントエンコーダのプロ

ック図である。指数計算器 402 は、ステップ 1 及びステップ 4 のように、N__GROUP サンプルに対し、最大指数 n_exp をビットで決定する。指数トークンジェネレータ 404 は、ステップ 2 及びステップ 5 のように、 n_exp 値をエンコードする。仮数パッカー 406 は、ステップ 3 及びステップ 6 のように、N__GROUP サンプルに対する仮数をエンコードする。図 8 は、エンコーディングのためのサンプルの n_bit を選択する一例を示す。入力サンプル 420 は、K ビットで表される。サンプル 420 の n_exp 下位ビットは、エンコーディングに対して選択される。選択されたビットにサンプルの符号ビットが添付され、それにより得られるビットシーケンスが仮数を表す。図 7 に戻ると、マルチプレクサ 408 は、エンコードされた指数トークン 411 及びそれに続く N__GROUP 仮数をパックし、N__GROUP 圧縮サンプルを表す圧縮グループ 410 を形成する。この例では、圧縮グループ 410 は、指数トークン 411 及びそれに続く 4 つのパックされた仮数のシーケンス 412-0、412-1、412-2 及び 412-3 を含む。圧縮ユニット 210 i は、連続する圧縮グループを連結して、圧縮器出力 211 i に圧縮パケットのデータ部分を形成する。N__GROUP の好ましいサイズは、グループ当たり 3 又は 4 個のサンプルである。しかしながら、可変グループサイズも使用できる。

【0041】

仮数及び指数を別々にエンコードすることで、付加的な圧縮を与え、そして圧縮エラーを軽減することができる。連続する指数の差の値が計算され、エンコードされる。指数はゆっくり変化し、従って、比較的僅かな非ゼロ値が、ゼロ値のストリングにより分離される。指数の差の値は、非ゼロの差の値及びそれに対応する位置だけを表すことにより効率的にエンコードすることができる。位置は、それに対応するインデックス値により、又は最後の非ゼロの差の値の位置に対して、表すことができる。指数の差の値のエンコーディングは、ロスレスであり、比較的大きなエラーを防止する。指数のデコーディングについては、指数値は、指数の差の値を積分しそしてそれに対応する位置場所をデコードすることにより再構成される。仮数のデコーディングについては、再構成された各仮数値は、デコードされたサンプルの対応する指数の値を変化させないように制限される。 n_exp のデコードされた指数については、再構成された仮数は、 $2^{n_exp}-1$ の最大値をもつことができる。これは、仮数の圧縮エラーが指数の値を変化させるのを防止する。

【0042】

別のブロックフローティングポイントエンコーディング方法は、仮数を表すビットの数を減少しそして上述したように指数を差動エンコーディングすることを含む。N__GROUP サンプルの仮数を表すビットの数は、グループに対する n_exp の値に基づいて、各仮数から最下位ビット (LSB) の数を選択的に除去することにより減少される。

【0043】

図 9 は、減少された仮数を表すためのビットを選択する一例を示す。 n_exp は、上述したステップ 1 及びステップ 4 のように決定される。仮数の n_exp 下位ビットを全てエンコーディングするのではなく、最下位ビットでスタートしてビット数 n_LSB が除去される。残りの m_exp ビット ($m_exp = n_exp - n_LSB$) がエンコーディングのために選択される。 n_LSB の値は、式又はテーブルに基づき n_exp の値に依存する。図 10 は、 n_exp 、 n_LSB 及び m_exp の規範的な値を示すテーブルである。 n_exp のより大きな値について、 m_exp ビットを有する減少された仮数を形成するように切断又は丸めることにより、より多くの LSB が除去される。例えば、 n_exp が 12 である場合には、3 つの LSB が除去され、N__GROUP の減少された仮数をパッキングするために 9 つの仮数ビットが保持される。圧縮器 210 は、 n_exp 、 n_LSB 及び m_exp の値のルックアップテーブルを記憶することができる。或いは又、圧縮器 210 は、 n_LSB 及び m_exp を n_exp の関数として表し、そして必要に応じてそれらの値を計算することができる。図 11 は、減少された仮数を使用するブロックフローティングポイントエンコーディングのブロック図である。N__GROUP サンプルの各グループに対して、指数計算器 402 は、上述したように、最大指数 n_exp を決定する。仮数ビット計算器 414 は、ルックアップテーブル又は

10

20

30

40

50

式を使用して減少された仮数におけるビットの数 m_exp を決定する。減少された仮数のパッカー 416 は、 N_GROUP サンプルの各々に対して m_exp ビットを選択する。次いで、マルチプレクサ 408 は、指数トークン 411 及びそれに続く減少された仮数 419-0、419-1、419-2 及び 419-3 をパックして、圧縮グループ 418 を形成する。ある条件については、 N_GROUP サンプルのグループから除去される LSB はない。例えば、 N_GROUP サンプルにおける 1 つ以上のサンプルの大きさが許容最小値より小さいときには、元の LSB を含む N_GROUP 仮数がパックされる。圧縮ビームは、減少された仮数を伴ったり伴わなかったりする圧縮グループを含むことができる。

【0044】

10

圧縮コントローラは、ブロックフローティングポイントエンコーディングに対して圧縮ユニット 210 i に圧縮コントロールパラメータを与える。 n_LSB 、 m_exp 及び n_exp のための複数の別のルックアップテーブル又は式がある。圧縮コントロールパラメータは、 n_LSB 、 m_exp 及び n_exp のための別のルックアップテーブル又は式に対して N_GROUP 及び選択パラメータを含む。圧縮コントロールパラメータは、全ての圧縮ユニット 210 i に対して均一である。或いは又、圧縮コントロールパラメータは、異なる圧縮ユニット 210 i に対して異なる値をもつことができる。圧縮コントローラは、ユーザ入力に応答して、圧縮コントロールパラメータを選択することができる。

【0045】

20

圧縮されたビーム成形サンプルは、デジタルインターフェイス 220 を経て転送するために圧縮パケットのデータ部分へ挿入することができる。サンプル窓に対応する圧縮ビームの圧縮されたビーム成形サンプルは、1 つ以上の圧縮パケットに配列することができる。或いは又、図 6 を参照して述べたように、複数の圧縮ビームに対応する圧縮されたビーム成形サンプルのシーケンスを合成して、所与のデータポート 270 i を経て転送するための圧縮パケットを形成することもできる。圧縮パケットのヘッダ部分は、パケットのための識別情報を含む。又、ヘッダは、パケットにおける圧縮されたビーム成形サンプルの圧縮コントロールパラメータを表すコントロールデータも含むことができる。圧縮コントロールパラメータに関する情報は、解凍オペレーションを構成するように解凍器 240 により使用することができる。

30

【0046】

図 6 のマルチプレクサ 250 の好ましい実施形態では、 N_GROUP 圧縮ビーム成形サンプルのグループがマルチプレクスされる。マルチプレクサ 250 は、J 個の圧縮ビームの圧縮グループをインターリーブすることにより M 個のマルチプレクスされたシーケンスを発生する。J 個の圧縮ビームは、M 組の圧縮ビームに分割される。各組に対して、マルチプレクサ 250 は、その組の圧縮ビームの圧縮グループをインターリーブして、それに対応するマルチプレクスされたシーケンス D_m を形成する。マルチプレクスされたシーケンス D_m は、マルチプレクサ 250 によりグループ順序で配列された対応する組からの圧縮グループのシーケンスである。マルチプレクサ 250 は、対応する組の圧縮ビームを各々受け取る M 個の並列マルチプレクサとして具現化することができる。

40

【0047】

図 12 は、1 組の圧縮ビーム C_1 及び C_2 の圧縮グループをマルチプレクスする一例を示す。グループマルチプレクサ 252 は、圧縮ビーム C_1 からの圧縮グループ G_{1j} 及び圧縮ビーム C_2 からの圧縮グループ G_{2j} をインターリーブして、マルチプレクスされたシーケンス D_1 を形成する。この例では、マルチプレクスされたシーケンス D_1 のグループ順序は、圧縮ビーム間で交番して、シーケンス G_{1j} 、 G_{2j} 、 $G_{1(j+1)}$ 、 $G_{2(j+1)}$ 、等を形成する。圧縮グループ G_{ij} は、図 7 のブロックフローティングポイント圧縮グループ 410、図 11 の圧縮グループ 418、又はハフマンエンコーディングのような別のエンコーディング方法から生じる圧縮グループに対応するパックされたビットを表す。圧縮グループは、グループ当たり同じ数の圧縮されたビーム成形サンプル、即ち N_GROUP サンプルを

50

有する。しかしながら、圧縮サンプル当たりのビットの数が増えるので、圧縮グループ当たりのビットの数も増える。上述したブロックフローティングポイントエンコーディング方法については、圧縮グループ当たりのビットの数は、 n_exp の値に依存する。

【0048】

解凍については、解凍器240は、各圧縮ビームに対応する圧縮グループの圧縮されたビーム成形サンプルをデコードし、アンパックする。 N_GROUP 圧縮ビーム成形サンプルの各グループについては、解凍器240は、指数トークンをデコードして、 n_exp の値を決定する。差動エンコードされた指数は、積分されて、 n_exp の値を形成する。次いで、圧縮グループ410又は418からの各仮数に対するビットをアンパックしそして各解凍されたビーム成形サンプルへビットをマップして、解凍グループを形成することにより、 N_GROUP 仮数が再構成される。解凍されたビーム成形サンプルは、ビーム成形サンプル当たりの元のビット数により、又は下流の処理要件に基づきビーム成形サンプル当たりの異なるビット数により、表すことができる。減少仮数を使用するブロックフローティングポイントエンコーディングについては、解凍器240は、 n_exp のデコード値に基づいて n_LSB の値を決定するためのルックアップテーブル又は式も含む。減少仮数に対するアンパックされたビットには、元のビーム成形サンプル値を近似するためにゼロ又はディザ値である n_LSB ビットが添付される。特定の圧縮ビームから計算された解凍グループのシーケンスは、それに対応する解凍ビームを形成する。

【0049】

圧縮グループのマルチプレクスされたシーケンスの解凍については、解凍器240が、デマルチプレクシングの前に、マルチプレクスされたシーケンスに適用される。図13を参照すれば、マルチプレクスされたシーケンス D_1 の各圧縮グループ G_{ij} は、そのグループの N_GROUP 圧縮ビーム成形サンプルを解凍するための必要な情報を与える指数トークンを含む。差動エンコードされる指数トークンについては、解凍器は、マルチプレクスされたシーケンス D_1 のグループ順序を使用して、積分のために同じ圧縮ビームに対応する指数トークンを選択し、 n_exp の対応値を決定する。グループ順序は、マルチプレクシング及びデマルチプレクシングのための固定パラメータであり、この場合に、それは、解凍器240及びグループデマルチプレクサ254には知られている。或いは又、グループ順序は、調整可能なパラメータでもよく、この場合に、それは、他の圧縮パラメータと共に、圧縮パケットのヘッダ部分に含ませることができる。上述したように、圧縮グループは、異なるビット数を有してもよい。しかしながら、グループが解凍されると、各グループに対する N_GROUP 解凍ビーム成形サンプルは、サンプル当たり同じビット数を有する。解凍グループのグループ順序は、圧縮グループと同じである。グループデマルチプレクサ254は、解凍グループをそれらの元の順序へ再順序付けし、解凍されたビーム成形サンプルを元の連続順序で各々有する1組の解凍ビームを形成する。

【0050】

図13は、図12のマルチプレクス例に対応するデマルチプレクス例を示す。解凍器240は、マルチプレクスされたシーケンス D_1 にブロックフローティングポイントデコーディングを適用して、解凍グループ241のシーケンスを形成する。各グループ R_{ij} における解凍されたビーム成形サンプルは、サンプル当たり同じビット数を有する。グループデマルチプレクサ254は、解凍されたビーム成形サンプルのグループに対して元の順序を回復し、解凍ビーム253及び255の組を形成する。グループデマルチプレクサ254は、グループ順序、即ち R_{1j} 、 R_{2j} 、 $R_{1(j+1)}$ 、 $R_{2(j+2)}$ 、等を使用して、解凍されたビーム成形サンプルのグループをそれらの各々の解凍ビーム253及び255へ分離する。グループ当たりのサンプル数は、 N_GROUP であるから、グループデマルチプレクサ254は、各グループ R_{ij} の N_GROUP 解凍ビーム成形サンプルをそれに対応する解凍ビームに添付する。

【0051】

ビーム成形サンプルを圧縮及び解凍するための別の方法は、振幅が低く、それ故、表現するのに僅かなビットしか必要としない変更サンプルを発生する前に各ビーム内のビーム

成形サンプルに対して計算を遂行することを含む。‘ 5 3 3 特許は、ある帯域制限信号を圧縮及び解凍するためのアルゴリズムについて述べている。以下に述べる別の圧縮方法の幾つかは、ビーム成形サンプルに関する‘ 5 3 3 特許のアルゴリズムの変更である。

【 0 0 5 2 】

ビーム成形サンプルを圧縮するための別の方法は、各ビームにおけるビーム成形サンプル間の差を他のビームとは独立して計算し、それに続いて、エンコーディングを行うことを含む。ビーム成形サンプルの第 1 又はそれより高次の差を計算することで、元のビーム成形サンプルより大きさが小さい差のサンプルを得ることができる。差のサンプルをエンコードすることにより、ビーム成形サンプルそれ自体をエンコードする場合より大きな圧縮を得ることができる。

10

【 0 0 5 3 】

図 1 4 は、差の演算を含む圧縮ユニット 2 1 0 i のブロック図である。圧縮ユニット 2 1 0 i は、ビーム成形器出力チャンネル 1 6 1 i からビーム成形サンプルを受け取る。圧縮コントローラ 3 4 0 は、各圧縮ユニット 2 1 0 i の差の演算器 3 3 0 i 及びエンコーダ 3 3 2 i に対する圧縮コントロールパラメータを与える。差の演算器 3 3 0 i の圧縮コントロールパラメータは、第 1、第 2 又はそれより高次の差を選択することができる。差の演算器 3 3 0 i は、選択された差の順序を適用して、差のサンプルを発生する。又、圧縮コントロールパラメータは、エンコーダ 3 3 2 i が差のサンプルではなくビーム成形サンプルをエンコードするように、差の演算をバイパスするよう選択することもできる。エンコーダ 3 3 2 i は、上述したように、差のサンプルのブロックフローティングポイントエンコーディングを適用することができる。この場合に、図 7 又は図 1 1 のブロックフローティングポイントエンコーダの入力 4 0 1 に差のサンプルが与えられる。或いは又、エンコーダ 3 3 2 i は、ハフマンエンコーディング又は他のエンコーディングを異なるサンプルに適用してもよい。エンコーダ 3 3 2 i の圧縮コントロールパラメータは、上述したように、ブロックフローティングポイントエンコーダのパラメータを指示するか、又はハフマンエンコーダ又は別のエンコーダのパラメータを指示することができる。圧縮コントロールパラメータは、異なる圧縮ユニット 2 1 0 i に対して同じものでも、異なるものでもよい。

20

【 0 0 5 4 】

異なる圧縮ビームに対応する圧縮器出力 2 1 1 i は、図 6 及び図 1 2 を参照して上述したように、デジタルインターフェイス 2 2 0 を経て転送する前に、少数の出力チャンネルへとマルチプレクスされる。エンコーダ 3 3 2 i は、ブロックフローティングポイントエンコーディングを異なるサンプルに適用して、圧縮ビーム C_1 及び C_2 より成る N_GROUP エンコード化の差のサンプルのグループを表す図 1 2 の圧縮グループ G_{ij} を発生することができる。或いは又、エンコーダ 3 3 2 i は、ハフマンエンコーディングを差のサンプルに適用して、圧縮グループ当たり N_GROUP 圧縮ビーム成形サンプルを有するハフマンエンコード化の差のサンプルのグループを G_{ij} が表すようにすることもできる。グループマルチプレクス 2 5 2 は、圧縮ビーム C_1 及び C_2 の圧縮グループを合成して、マルチプレクスされたシーケンス D_1 を形成する。

30

【 0 0 5 5 】

図 1 5 は、図 1 4 を参照して述べた圧縮オペレーションに対応する解凍オペレーションのブロック図である。解凍器 2 4 0 は、デジタルインターフェイス 2 2 0 から圧縮ビームを受け取る。デコーダ 3 5 2 は、エンコーダ 3 3 2 i のオペレーションを逆に行い、デコードされた差のサンプルを形成する。例えば、デコーダ 3 5 2 は、ブロックフローティングポイントデコーディング、ハフマンデコーディング、又は他のデコーディングを遂行する。積分演算器 3 5 4 は、デコードされた差のサンプルを加算して、圧縮のために遂行される第 1 又はそれより高次の差の演算を逆に行い、診断情報プロセッサ 1 8 0 に与えられる解凍ビームを形成する。圧縮に対して差の演算が行われない場合には、積分演算器 3 5 4 がバイパスされる。解凍コントローラ 3 5 0 は、デコーダ 3 5 2 及び積分演算器 3 5 4 にコントロールパラメータを与える。解凍コントローラ 3 5 0 は、圧縮データパケットの

40

50

ヘッダからコントロールデータを抽出して、解凍オペレーションのためのコントロールパラメータを決定する。

【0056】

図15の解凍器240は、図13を参照して述べたように、デマルチプレクシングの前に、差のサンプルの圧縮グループのマルチプレクスされたシーケンスに適用される。この場合には、デコーダ352は、マルチプレクスされたシーケンスで圧縮グループ G_{ij} をデコードし、デコードされた差のサンプルのグループをグループ順序で形成する。ブロックフローティングポイントデコーディングについては、指数トークンが差動エンコードされる場合に、デコーダ352は、グループ順序を使用して、同じビームに対応する指数トークンを積分し、対応するグループの n_exp 値を決定する。積分演算器354は、グループ順序及び n_exp を使用して、同じビームに対応するデコードされた差のサンプルのグループを決定する。積分演算器354は、各グループのデコードされた差のサンプルを積分して、241のシーケンスの解凍グループ R_{ij} を形成する。次いで、グループデマルチプレクサ254は、解凍グループ R_{ij} を各解凍ビーム253及び255へ分離する。

【0057】

或いは又、デコードされた差のサンプルのグループは、図16に示すように、積分の前に、デマルチプレクスされてもよい。デコーダ352は、図12に D_1 で表されたようなマルチプレクスされたシーケンスを受け取る。デコーダ352は、エンコーダ332iのオペレーションを逆に行い、圧縮グループをアンパック及びデコードして、デコードされた差のサンプルのグループをグループ順序で形成する。指数トークンが差動エンコードされるブロックフローティングポイントデコーディングについては、デコーダ352は、グループ順序を使用して、同じビームに対応する指数トークンを積分する。デコードされた差のサンプルのグループは、サンプル当たり同じビット数を有し、そして圧縮グループのマルチプレクスされたシーケンスに対応するグループ順序にある。グループデマルチプレクサ254は、デコードされた差のサンプルのグループを分離して、各ビームに対応するデコードされた差のサンプルのアレイを形成する。各アレイにおけるデコードされた差のサンプルの順序は、差の演算器330iから出力される差のサンプルの順序に対応する。積分演算器354i及び354jは、デコードされた差のサンプルの各アレイの第1又はそれより高次の積分を遂行して、i番目及びj番目の解凍ビームを形成する。

【0058】

圧縮のための別の態様では、振幅の低いサンプルを発生するために中心周波数及びサンプルレートに基づいてビーム成形サンプルに算術演算を適用する。図17は、異なる中心周波数をもつビーム成形サンプルを圧縮するための原理に基づく別々の例を示す。図17において「帯域1」と示された行に対応する基本帯域信号の例から始めると、中心周波数は、ほぼDC(0Hz)であり、連続サンプル間の位相増加は、 10° 未満である。第1のフェーザ図710は、連続サンプル間の位相変化が小さいので、連続サンプルの差の大きさがサンプルそれ自体の大きさに比較して比較的小さいことを示している。第1の規範的シーケンス712は、帯域1の基本帯域信号のサンプルに対応する。連続サンプル間の差がサンプルの大きさに対して小さいので、第1又はより高次の差を計算するか又は差動エンコーディングすると、元のサンプルより小さいデータ巾をもつ差のサンプルが生成される。図14を参照して述べた差動エンコーディングを使用する圧縮は、基本帯域(帯域1)の例について効果的である。超音波信号サンプル又はビーム成形サンプルが基本帯域へダウン変換される超音波システムでは、圧縮ユニット210iは、差動エンコーディングを適用する。

【0059】

又、図17は、中心周波数がDCよりは高いが、ナイキスト周波数 $f_s/2$ よりは低いサンプル信号の例も示している。帯域2の場合に、中心周波数は、ほぼ $f_s/6$ であり、連続サンプル間の位相増加は、約 60° である。第2のフェーザ図720は、 180° 又は3つのサンプルインターバルだけ分離されたサンプルの対が、同様の大きさを有するが、逆の極性であることを示しており、これは、サンプル対(720-0、720-3)、

10

20

30

40

50

(720-1、720-4)及び(720-2、720-5)により示されている。対におけるサンプルの1つを反転すると(又は(-1)を乗算すると)、その対における他のサンプルの厳密な推定が与えられる。第2の規範的シーケンス722も、3つのサンプルインターバルだけ分離されたサンプルが同様の大きさ及び逆の符号を有することを示している。例えば、サンプル722-0の値は、32767であり、そしてサンプル722-3の値は、-32756である。帯域2の場合に、3つのサンプルインターバルだけ分離されたサンプルの対に対するオペレーションは、小さなデータ巾の変更サンプルを発生する。対においてサンプルを追加するオペレーションは、より効率的にエンコードできる小さなデータ巾の変更サンプルを発生する。

【0060】

図17における帯域3の例では、中心周波数がほぼ $f_s/4$ であり、連続サンプル間の位相増加が約 90° である。第3のフェーザ図730は、 180° 又は2つのサンプルインターバルだけ分離されたサンプルが、同様の大きさ及び逆の極性を有することを示している。又、第3の規範的シーケンス732は、1つおきのサンプルが同様の大きさ及び逆の極性を有することを示している。帯域3の場合に、1つおきのサンプルを一緒に加算すると、元のサンプルより効率的にエンコードできる小さなデータ巾の変更サンプルが生じる。

【0061】

図17における帯域4の例では、中心周波数がほぼ $f_s/3$ であり、連続サンプル間の位相増加が約 120° である。第4のフェーザ図740は、 360° 又は3つのサンプルインターバルだけ分離されたサンプルが同様の大きさを有することを示している。第4の規範的シーケンス742は、2つおきのサンプルが同様の大きさを有することを示している。この場合に、3つのサンプルインターバルだけ分離されたサンプル間の差を形成することで、元のサンプルより効率的にエンコードできる小さなデータ巾の変更サンプルが得られる。

【0062】

図17における帯域5の例では、中心周波数がほぼ $f_s/2$ であり、連続サンプル間の位相増加が約 180° である。第5のフェーザ図750は、 180° 又は1つのサンプルインターバルだけ分離されたサンプルが同様の大きさを有するが極性が逆であることを示している。第5の規範的シーケンス752は、連続サンプルが同様の大きさ及び逆の極性を有することを示している。この場合に、2つの連続サンプルを加算することで、元のサンプルより効率的にエンコードできる小さなデータ巾の変更サンプルが形成される。

【0063】

図17について述べた前記例は、サンプルレートと中心周波数との比に基づいて、1つ、2つ又は3つのサンプルインターバルだけ分離されたビーム成形サンプルに対して加算(又は反転の後に減算)又は減算(又は反転の後に加算)のようなオペレーションを遂行することにより大きさ減少を達成できることを示している。それにより得られる変更サンプルは、次いで、圧縮サンプルを形成するようにエンコードされる。中心周波数とサンプルレートとの比に基づいて、4つ以上のサンプルインターバルだけ分離されたサンプルに同様のオペレーションを適用して、元のサンプルより小さなデータ巾の変更サンプルを発生することができる。

【0064】

図18は、ビーム成形サンプルの中心周波数に基づく圧縮アルゴリズムのブロック図である。特定のビームに対応するビーム成形器出力チャンネル161iは、再順序付けデマルチプレクサ810へ入力される。再順序付けデマルチプレクサ810は、選択されたサンプルが圧縮コントロールパラメータ852に基づいて適当な数のサンプルインターバルだけ分離されてデマルチプレクサ出力812を形成するようにビーム成形サンプルを選択する。算術演算器830は、圧縮コントロールパラメータ856に基づいてデマルチプレクサ出力サンプル812の対に対して加算又は減算演算を行って、変更サンプル832を形成する。又、算術演算器830は、デマルチプレクサ出力サンプル812に対してより

10

20

30

40

50

高次の差を得るように構成することもできる。エンコーダ 840 は、変更サンプル 832 をエンコードして、圧縮されたビーム成形サンプルを形成する。エンコーダ 840 は、ブロックフローティングポイントエンコーディング、ハフマンエンコーディング、又は他のエンコーディングを適用して、圧縮サンプルを形成する。図 7 及び 11 を参照して説明したブロックフローティングポイントエンコーディングについては、ブロックフローティングポイントエンコーダの入力 401 に変更サンプル 832 が与えられる。

【0065】

圧縮コントローラ 860 は、ビーム成形サンプルのサンプルレートと中心周波数との比に基づいて圧縮器要素にコントロールパラメータを与える。再順序付けデマルチプレクサ 810 及び算術演算器 830 は、各々、圧縮コントロールパラメータ 852 及び 856 に応答して、適当なオペレーションを遂行する。図 19 は、中心周波数に基づき変更サンプル 832 を発生するオペレーションを示す。第 1 の列 871 は、この例について考えられる中心周波数を示す。第 2 の列 872 は、各中心周波数に対する対応周波数帯域指示子を示す。指示子は、圧縮コントロール 852 及び 856 のためのパラメータとして使用することができる。第 3 の列 873 は、圧縮コントロールパラメータ 852 に基づいて発生されるサンプル $x(i)$ 及び $x(i-j)$ の異なる分離を再順序付けデマルチプレクサ出力 812 に与える。第 4 の列 874 は、圧縮コントロールパラメータ 856 に基づき加算又は減算の算術演算を選択する結果を示す。インバータが遅延サンプルを「オン」にするときに、 $x(i-j)$ が減算される。第 5 の列 875 は、変更サンプル 832 を発生する算術演算器 830 の数学的結果、又は $y(i)$ を示す。又、圧縮コントローラ 860 は、エンコーダ 840 のコントロールも与える。圧縮コントロールパラメータ 858 は、ブロックフローティングポイントエンコーディング、ハフマンエンコーディング、又は他のエンコーディング技術のためのパラメータを示すことができる。

【0066】

図 20 は、異なる中心周波数について図 18 及び図 19 を参照して述べたように計算される図 17 の例に対するサンプル $x(i)$ 及び $x(i-j)$ の和又は差を示す。サンプルの規範的なシーケンスは、図 17 と同じである。規範的シーケンス 912 及び 942 における D I F F (差) の行、並びに規範的シーケンス 922、932 及び 952 における S U M (和) の行のサンプルは、それに対応するサンプルより実質的に低い大きさ、又は $x(i)$ を有する。D I F F サンプル及び S U M サンプルは、図 18 のエンコーダ 840 へ入力される変更サンプル 932 の例である。

【0067】

図 18 のエンコーダ 840 により圧縮器出力 211 i に発生される圧縮ビームは、図 6 及び図 12 を参照して上述したように、デジタルインターフェイス 220 を経て転送する前に、他の圧縮ビームとマルチプレクスされて、少数の出力チャンネルを形成する。エンコーダ 840 は、ブロックフローティングポイントエンコーディングを変更サンプルに適用して、図 12 の圧縮グループ G_{ij} が、圧縮ビーム C_1 及び C_2 を形成するために N _ G R O U P エンコード化変更サンプルを表すようにする。或いは又、エンコーダ 840 は、ハフマンエンコーディングを変更サンプルに適用して、 G_{ij} が、グループ当たり N _ G R O U P ハフマンエンコード化変更サンプルを有する圧縮グループを表すようにしてもよい。グループマルチプレクサ 252 は、圧縮ビーム C_1 及び C_2 の圧縮グループを合成して、マルチプレクスされたシーケンス D_1 を形成する。

【0068】

図 21 は、図 18 を参照して述べた圧縮方法に対して解凍器 240 により遂行されるオペレーションのブロック図である。デコーダ 910 は、アンパックすると共に、圧縮データに対して、例えば、ブロックフローティングポイントデコーディングのようなデコーディングオペレーションを遂行し、デコードされた変更サンプルを形成する。逆算術演算器 920 は、算術演算器 830 とは逆の演算を遂行して、デコードされた変更サンプルからビーム成形サンプルを再構成する。マルチプレクサ 930 は、解凍されたビーム成形サンプルに対して元のサンプル順序を回復して、それに対応する解凍ビームを形成する。解凍

コントローラ 940 は、デコーダ 910、逆演算器 920 及び順序回復マルチプレクサ 930 にコントロールパラメータを与える。解凍コントローラ 940 は、圧縮データパケットのヘッダからコントロールデータを抽出し、解凍オペレーションのためのコントロールパラメータを決定することができる。

【0069】

図 21 の解凍器 240 は、グループをデマルチプレクスする前に変更サンプルの圧縮グループのマルチプレクスされたシーケンスに適用することができる。デコーダ 910 は、エンコーダ 840 のオペレーションを逆に行い、デコードされた変更サンプルのグループを形成する圧縮グループをグループ順序でデコードする。指数トークンが差動エンコードされるブロックフローティングポイントデコーディングでは、デコーダ 910 は、グループ順序を使用して、指数トークンを積分し、同じビームに対応する圧縮グループの n_exp 値を決定する。又、逆演算器 920 及び順序回復マルチプレクサ 930 は、グループ順序及び n_exp を使用して、それらの各オペレーションを、同じビームに対応するデコードされた変更サンプルのグループに適用させる。順序回復マルチプレクサ 930 は、各グループ内の解凍されたビーム成形サンプルを元のサンプル順序へ再順序付けして解凍グループを形成するが、解凍グループは、依然、グループ順序にある。図 13 を参照すると、順序回復マルチプレクサの出力は、解凍シーケンス 241 の解凍グループ R_{ij} に対応する。グループデマルチプレクサ 254 は、解凍グループ R_{ij} を、それに対応する解凍ビーム 253 及び 255 へと分離する。

【0070】

或いは又、デコードされた変更サンプルのグループは、図 22 に示すように、逆演算器 920 の前にデマルチプレクスされてもよい。デコーダ 910 は、エンコーダ 840 のオペレーションを逆に行って、圧縮グループをアンパック及びデコードし、デコードされた差のサンプルの対応グループをグループ順序で形成する。指数トークンが差動エンコードされるブロックフローティングポイントデコーディングでは、デコーダ 910 がグループ順序を使用して指数トークンを積分し、同じビームに対応する圧縮グループの n_exp 値を決定する。デコードされた変更サンプルのグループは、変更サンプル当たり同じビット数を有する。グループデマルチプレクサ 254 は、デコードされた変更サンプルのグループを分離して、各ビームに対応するデコードされた変更サンプルのアレイを形成する。逆演算器 920 i 及び 920 j は、デコードされた変更サンプルの各アレイに適用され、そして順序回復マルチプレクサ 930 i 及び 930 j は、各々、元のサンプル順序を回復して、i 番目及び j 番目の解凍ビームを形成する。

【0071】

圧縮器 210 の実施形態は、ビーム成形サンプルに単純なオペレーションを適用する。差の演算器 330 i (図 14) は、1 つ以上の減算器を含む。ブロックフローティングポイントエンコーディング (図 7 及び図 11) は、比較器、減算器及びルックアップテーブルを使用する。或いは又、ハフマンエンコーディングは、ルックアップテーブルを使用して、値にコードを指定する。図 18 を参照して述べる圧縮オペレーションは、デマルチプレクシング、加算及び減算を含む。解凍器 240 の実施形態は、圧縮サンプルを解凍するために単純なオペレーションを適用する。解凍器 240 は、ブロックフローティングポイントデコーディングのためのルックアップテーブル及び加算器を含む。積分演算器 354 (図 15) は、デコードされたサンプルを積分するための 1 つ以上の加算器を含む。図 21 の解凍器 240 のオペレーションは、加算、減算及びマルチプレクシングを含む。

【0072】

超音波システムにおける本発明の好ましい具現化では、圧縮器 210 及び受信ビーム成形器 160 を単一の特定用途向け集積回路 (ASIC) 装置に一体化し、ADC 出力チャンネル 121 i から超音波信号サンプルを受信するように入力データチャンネルを結合する。圧縮器 210 の好ましい具現化では、複数の圧縮コアを並列に含み、各圧縮コアは、ビーム成形器出力チャンネル 161 i の 1 つに結合され、対応するビームに対する 1 つの圧縮ユニット 210 i の圧縮オペレーションを具現化する。或いは又、1 つの圧縮コアが

複数のビームを圧縮するように複数の圧縮ユニット 210 i を具現化することもできる。この別の態様では、圧縮コアは、異なるビームに対応するビーム成形サンプルを、それらが処理されるまで記憶するためのバッファを含む。又、フィールドプログラマブルゲートアレイ (FPGA) においてビーム成形及び圧縮オペレーションを具現化することもできる。圧縮されたビーム成形サンプルは、LVDSポート 270 i を経てデジタルインターフェイス 220 へ出力することができる。LVDSインターフェイスのIPコアは、ASIC及びFPGA具現化に商業的に利用できるものである。別のアーキテクチャーは、圧縮器 210 を、受信ビーム成形器 160 とは個別の装置において具現化することを含む。圧縮器 210 は、ASIC、FPGA、又はプログラマブルプロセッサ、例えば、デジタル信号プロセッサ (DSP)、マイクロプロセッサ、マイクロコントローラ、マルチコアCPU (IBMセルのような)、又はグラフィック処理ユニット (GPU; 例えば、Nvidia GeForce) において具現化することができる。

10

【0073】

超音波システムのアーキテクチャーに基づいて、解凍器 240 は、診断情報プロセッサ 180 と同じ装置又はそれとは異なる装置に合体されてもよい。解凍オペレーションは、ASIC又はFPGAにおいて具現化することができる。或いは又、解凍オペレーションは、DSP、マイクロプロセッサ、マイクロコントローラ、CPU又はGPUのようなプログラマブルプロセッサにより実行可能なソフトウェア又はファームウェアプログラムで具現化することもできる。解凍器 240 の好ましい具現化は、GPUにより実行可能な解凍オペレーションのインストラクションを有するソフトウェアプログラムである。又、GPUは、診断情報プロセッサ 180 及びスキャンコンバータ 140 のオペレーションの少なくとも一部分を具現化するようにプログラムされてもよい。或いは又、解凍されたビーム成形サンプルは、付加的な信号処理オペレーションのためにCPUのような別のプログラマブルプロセッサへ転送されてもよい。

20

【0074】

図 23 は、解凍器 240 の GPU における具現化、及び超音波画像を発生するための他のオペレーションを示すブロック図である。現在の GPU アーキテクチャーは、並列計算に対して最適化された複数の処理コアを含む。例えば、Nvidia GeForce GTS 150 GPU は、128 個の処理コアを備えている。Nvidia の “CUDA” (コンピュータ・ユニファイド・デバイス・アーキテクチャー) は、GPU の処理コアにおいて並列アルゴリズムを具現化するために C 言語への拡張を含むアプリケーションプログラミングインターフェイス (API) であり、2008 年、Nvidia 社の Ruettsch 及び Oster 著の “Getting Started with CUDA” と題する文書に説明されている。以下に述べる OpenCL 及び Larabee のような別の GPU 及びプログラミング方法は、具現化プラットフォームを与える。図 23 に示す具現化では、GPU 装置 1000 は、解凍器 240、診断情報プロセッサ 180 (Bモード処理及びドップラー処理)、スキャンコンバータ 140、及び画像プロセッサ 150 のオペレーションを実行するようにプログラムされる。GPU 装置 1000 は、並列処理ユニットによりアクセスできるダイナミックランダムアクセスメモリ (DRAM) 1002 を含む。この DRAM 1002 は、GPU の他の処理オペレーションから生じる圧縮及び／又は解凍されたビーム成形サンプル及びデータを記憶する。システムコントローラ 1010 は、受け取ったデータから超音波画像を発生するためのタスクの整合を与え、そしてユーザのコマンドに応答する。CPU 1012 は、解凍をサポートするオペレーションを具現化し、例えば、圧縮されたパケットのヘッダから圧縮コントロールパラメータをデコードし、そしてそれらを GPU 装置 1000 へ供給して解凍オペレーションを構成する。DRAM 1016 は、デジタルインターフェイス 220 から受け取った圧縮されたビーム成形サンプル及び CPU オペレーションに必要な他のデータを記憶する。通信コントローラ 1014 は、デジタルインターフェイス 220 から受け取った圧縮パケットを DRAM 1002 又は DRAM 1016 へ向けると共に、システムコントローラ 1010 と GPU 装置 1000 との間のデータ交換を管理する。

30

40

50

【0075】

好ましいシステムアーキテクチャーにおいて、システムコントローラ1010は、ディスプレイ160のためのスクリーンを有するコンピュータのマザーボードにおいて具現化される。GPU装置1000は、PCIe（ペリフェラル・コンポーネント・インターコネクト・エクスプレス）バックプレーンリンクによってシステムコントローラ1010と通信するDRAM1002を含むグラフィックカードにおいて実施される。或いは又、GPU装置1000は、マザーボードにマウントされたICにおいて実施されてもよい。ADCバンク120、受信ビーム成形器160及び圧縮器210がデータ取得カードにマウントされるシステムアーキテクチャーでは、デジタルインターフェイス220がPCIeバックプレーンリンクにより実施される。

10

【0076】

ムーアの法則によれば、集積レベルが高いほど、よりコンパクトな装置となり、システムコントローラ1010及びGPU装置1000を単一のICで具現化できるようになることが明らかである。例えば、インテル社は、ベクトル処理装置で増強されたx86CPUコアの複数のインスタンス化を含む多コアICアーキテクチャーを開発している。ララビー(Larrabee)と称されるこのアーキテクチャーは、2008年8月、ACM Transactions on Graphics、第27巻、第3号、第18条に掲載されたシーラー氏等の“Larrabee: A Many-Core x86 Architecture for Visual Computing”と題する文書に述べられている。ララビーアーキテクチャーは、グラフィック処理を含めて並列処理を要求するアプリケーションをサポートする。「ララビーネイティブ」プログラミングモデルは、並列プログラミング及びベクトル化のためのC/C++及びAPIを含む。

20

【0077】

図24は、解凍器240のCPU/GPU装置における具現化、及び超音波画像を発生するための他のオペレーションを示すブロック図である。CPU/GPU装置1020は、解凍器240、診断情報プロセッサ130、スキャンコンバータ140、及び画像プロセッサ150のオペレーションを具現化することができる。CPU/GPUコントローラ1022は、デジタルインターフェイス220から受け取られた圧縮されたビーム成形サンプルに対する処理オペレーションを整合し、そしてユーザ入力に応答する。CPU/GPU装置1020は、ララビープラットフォームによるか、或いはCPU及びGPU一体化機能を伴う他のプログラマブル装置によって具現化される。

30

【0078】

ADCバンク120、受信ビーム成形器160及び圧縮器210がトランスジューサヘッドに収容されるシステムアーキテクチャーでは、デジタルインターフェイス220は、ワイヤード又はワイヤレス通信リンクである。ワイヤード通信リンクの場合に、デジタルインターフェイスは、PCIeケーブルリンク又は光ファイバリンクによって具現化される。ワイヤレス通信リンクでは、デジタルインターフェイスは、高周波チャンネルを経て圧縮パケットのデジタル変調及び送信を与えると共に、受け取った圧縮パケットのデジタル復調を与える。ワイヤレスリンクは、WiFi（IEEE 802.11）又はUWB（ウルトラワイドバンド）フォーマットのようなワイヤレス通信プロトコルに適合する。

【0079】

40

以上、本発明の好ましい実施形態を図示して説明したが、本発明は、それらの実施形態のみに限定されないことが明らかである。当業者であれば、特許請求の範囲に規定される本発明の精神及び範囲から逸脱せずに、多数の修正、交換、変更、置き換え及び等効物が明らかとなろう。

【符号の説明】

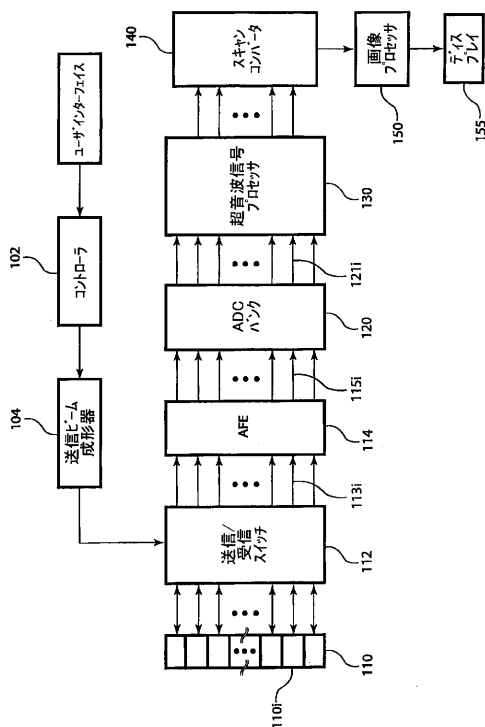
【0080】

- 120：ADCバンク
- 121i：圧縮器出力
- 140：スキャンコンバータ
- 160：受信ビーム成形器

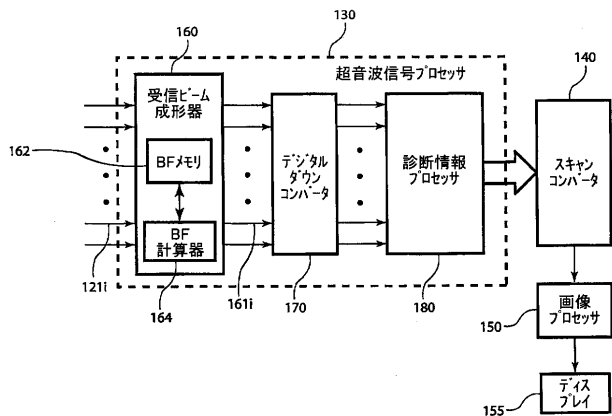
50

- 161 i : ビーム成形器出力チャンネル
- 180 : 診断情報プロセッサ
- 210 : 圧縮器
- 210 i : 圧縮ユニット
- 220 : デジタルインターフェイス
- 240 : 解凍器
- 250 : マルチプレクサ
- 260 : シリアライザ
- 270 i : データポート

【図 1】

Figure 1
従来技術

【図 2】

Figure 2
従来技術

【図 3】

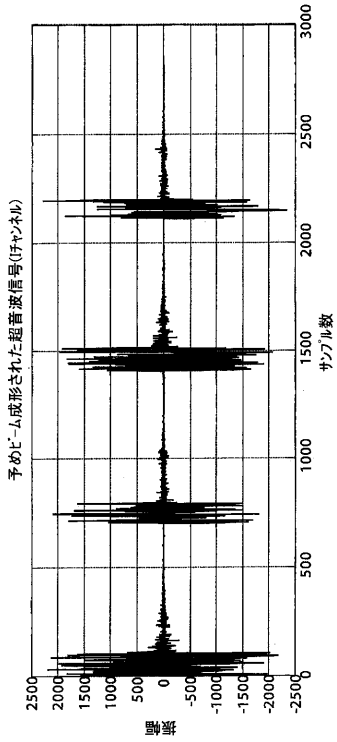


Figure 3
従来技術

【図 4】

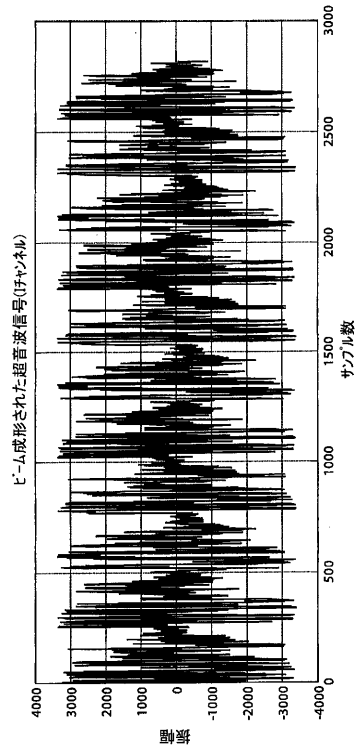


Figure 4
従来技術

【図 5】

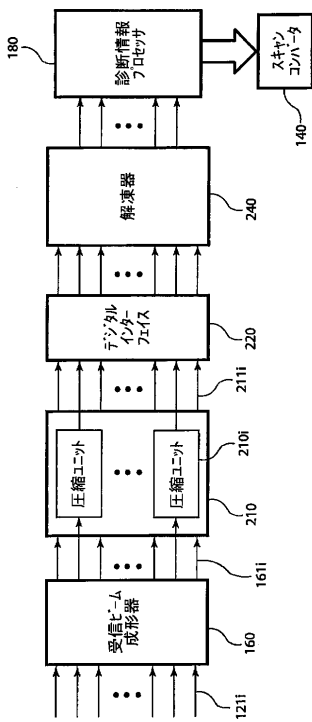


Figure 5

【図 6】

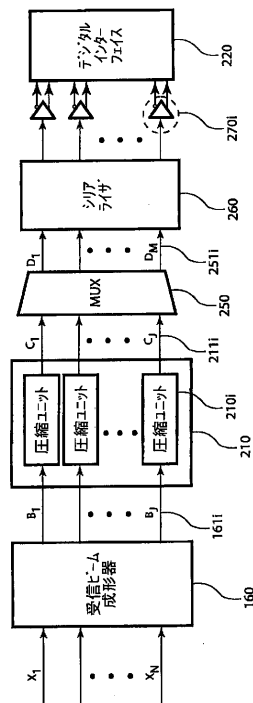


Figure 6

【図 7】

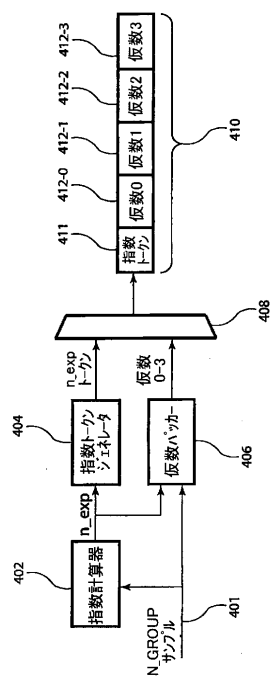


Figure 7

【図 8】

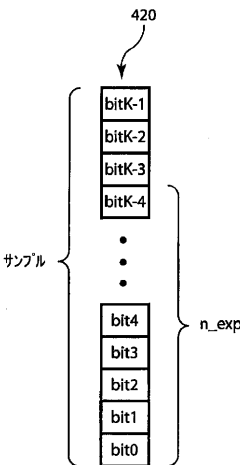


Figure 8

【図 9】

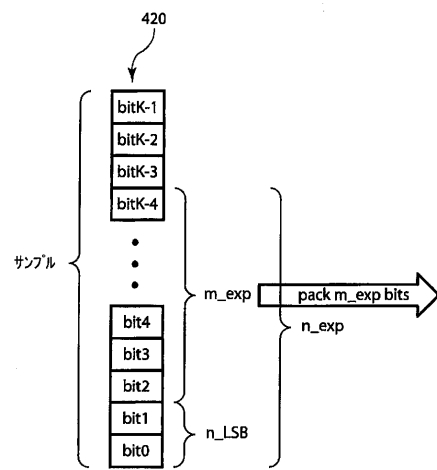


Figure 9

【図 10】

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

Figure 10

【 図 1 1 】

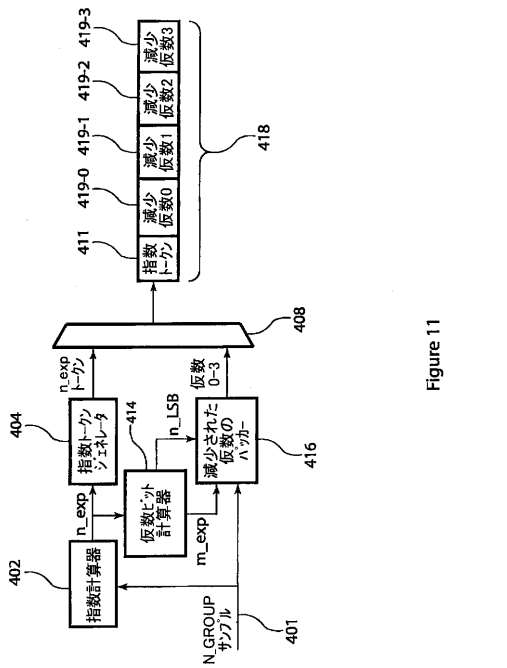


Figure 11

【図 1 2】

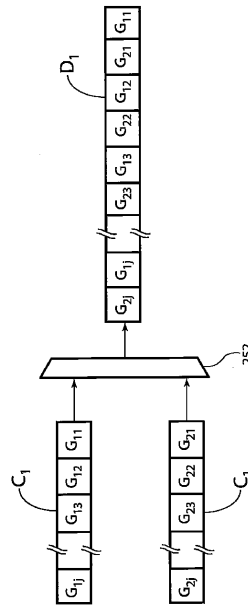


Figure 12

【図 1 3】

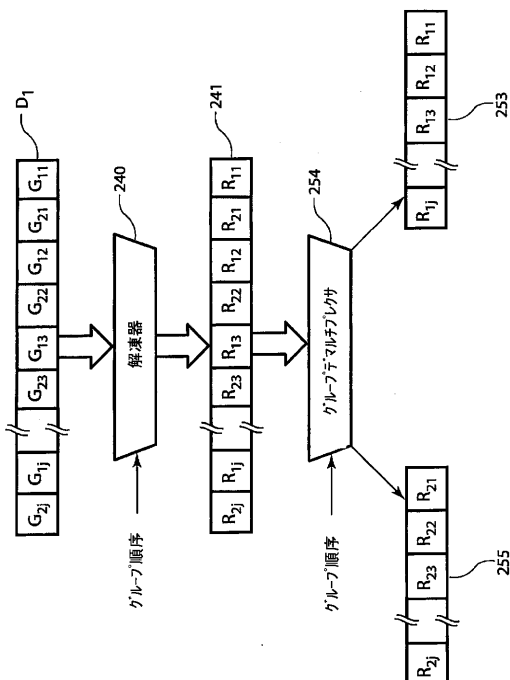


Figure 13

【图 14】

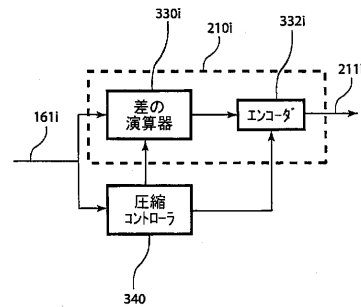


Figure 14

【图 15】

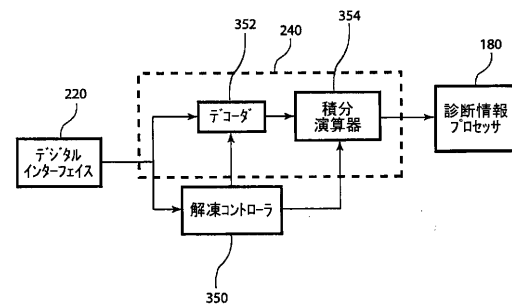


Figure 15

【図 16】

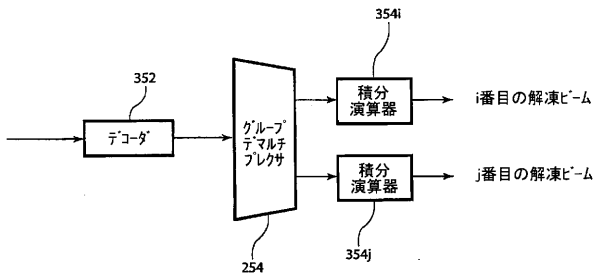


Figure 16

【図 17】

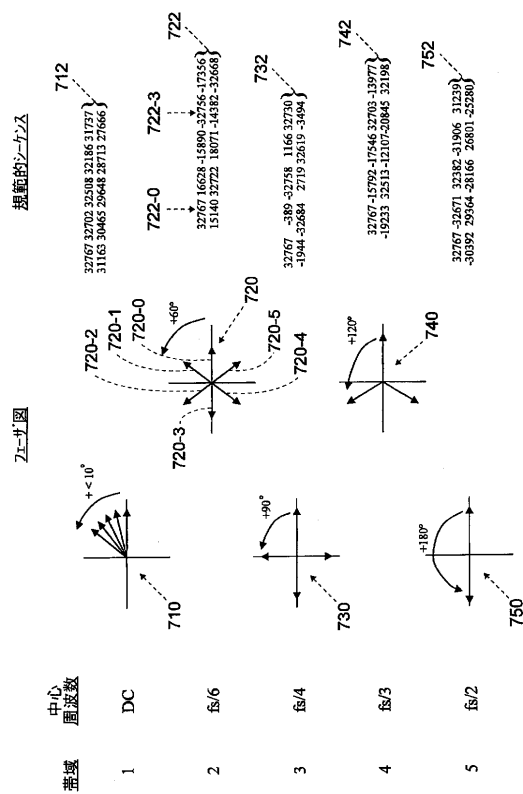


Figure 17

【図 18】

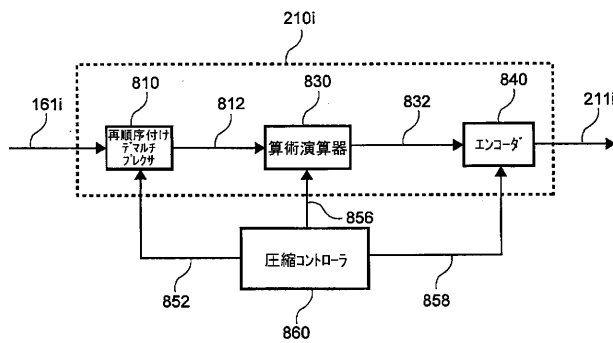


Figure 18

【図 19】

中心周波数	帯域	デマルチプレクサ コントロール $x(i)$, $x(i-1)$	インパルス コントロール	変置 サンプル
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	$y(i) = x(i) + x(i-1)$

Figure 19

【図 24】

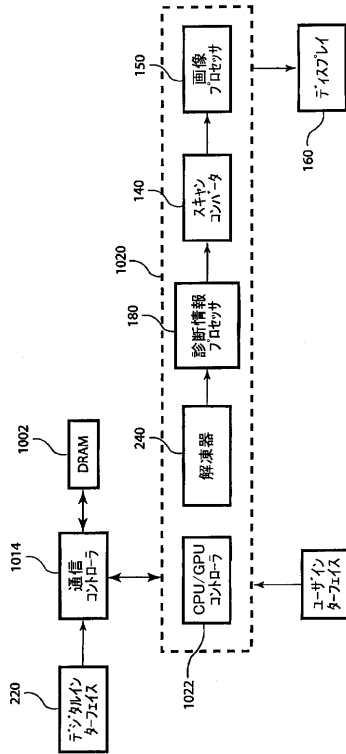


Figure 24

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US2010/039081
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>A61B 8/14(2006.01)i, G01S 1/72(2006.01)i, G01S 15/89(2006.01)i</i>		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) A61B 8/14; A61B 8/00		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Korean utility models and applications for utility models Japanese utility models and applications for utility models		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) eCOMPASS(KIPO internal) & Keywords: ultrasound, compress, beamform		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2006-0074320 A1 (YANG YOO et al.) 06 April 2006 See abstract, paragraph 0064 - 0068,0083 - 0085 and figures 1-14	1-39
A	US 6315722 B1 (YABEGASHI; MITSUTOSHI) 13 November 2001 See abstract, column 2, line 46 - column 3, line 25, claim 1 and figures 1-2	1-39
A	US 2003-0149362 A1 (TAKASHI AZUMA et al.) 07 August 2003 See abstract, claims 1,8 and figures 3-5	1-39
A	US20050148878 A1 (ROBER N. PHELPS et al.) 07 July 2005 See abstract, paragraph 0016 - 0019, claims 1-24 and figures 1-4	1-39
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 26 JANUARY 2011 (26.01.2011)		Date of mailing of the international search report 26 JANUARY 2011 (26.01.2011)
Name and mailing address of the ISA/KR  Korean Intellectual Property Office Government Complex-Daejeon, 139 Seonsa-ro, Seo-gu, Daejeon 302-701, Republic of Korea Facsimile No. 82-42-472-7140		Authorized officer KIM Tae Hoon Telephone No. 82-42-481-5728 

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/US2010/039081

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2006-0074320 A1	06.04.2006	None	
US 6315722 B1	13.11.2001	EP 1041396 A2	04.10.2000
		EP 1041396 A3	04.06.2003
		JP 04-210386 B2	14.01.2009
		JP 2000-279413 A	10.10.2000
US 2003-0149362 A1	07.08.2003	JP 03-910860 B2	25.04.2007
		JP 2003-225237 A	12.08.2003
		US 6926671 B2	09.08.2005
US20050148878 A1	07.07.2005	CN 1628613 A	22.06.2005
		DE 102004056467 A1	21.07.2005
		DE 102004056467 B4	24.07.2008

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(74)代理人 100109070

弁理士 須田 洋之

(74)代理人 100109335

弁理士 上杉 浩

(72)発明者 ウェゲナー アルバート ダブリュー

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95076 アプトス ヒルズ プラヤ デ ニノズ 22
5

Fターム(参考) 4C601 GD04 GD20 LL13 LL20

专利名称(译)	<无法获取翻译>		
公开(公告)号	JP2012531966A5	公开(公告)日	2013-08-01
申请号	JP2012518545	申请日	2010-06-17
[标]申请(专利权)人(译)	信飞系统公司		
申请(专利权)人(译)	Sanpurifai系统公司		
[标]发明人	ウェゲナー アルバート ダブリュー		
发明人	ウェゲナー アルバート ダブリュー		
IPC分类号	A61B8/00		
CPC分类号	G01S7/52034 A61B8/06 A61B8/13 A61B8/488 A61B8/54		
FI分类号	A61B8/00		
F-TERM分类号	4C601/GD04 4C601/GD20 4C601/LL13 4C601/LL20		
代理人(译)	西岛隆义 须田博之 上杉 浩		
优先权	12/494184 2009-06-29 US		
其他公开文献	JP2012531966A JP5866282B2		

摘要(译)

在超声成像系统中，其接收超声信号样本并应用波束形成器以形成由波束成形样本阵列表示的一个或多个波束，每个波束阵列 - 用于独立于阵列压缩以形成压缩梁的方法和设备。多个模数转换器对由换能器阵列产生的多个模拟超声信号进行采样，以向波束形成器提供多个超声信号样本流。压缩光束通过数字接口传输到信号处理器。在信号处理器中，压缩光束被解冻以形成解冻光束。信号处理器进一步处理用于诊断成像的解压缩光束，例如B模式和多普勒成像，并执行扫描转换以准备用于显示的解冻光束。 点域5