

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5715621号  
(P5715621)

(45) 発行日 平成27年5月7日(2015.5.7)

(24) 登録日 平成27年3月20日(2015.3.20)

(51) Int.Cl.

F I

A 6 1 B 8/14 (2006.01)

A 6 1 B 8/14

請求項の数 15 (全 32 頁)

|               |                               |           |                     |
|---------------|-------------------------------|-----------|---------------------|
| (21) 出願番号     | 特願2012-514019 (P2012-514019)  | (73) 特許権者 | 500387722           |
| (86) (22) 出願日 | 平成22年5月28日 (2010.5.28)        |           | アルテラ コーポレーション       |
| (65) 公表番号     | 特表2012-528685 (P2012-528685A) |           | アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95 |
| (43) 公表日      | 平成24年11月15日 (2012.11.15)      |           | 134 サン ホセ イノベーション   |
| (86) 国際出願番号   | PCT/US2010/036672             |           | ドライヴ 101            |
| (87) 国際公開番号   | W02010/141370                 | (74) 代理人  | 100092093           |
| (87) 国際公開日    | 平成22年12月9日 (2010.12.9)        |           | 弁理士 辻居 幸一           |
| 審査請求日         | 平成25年5月28日 (2013.5.28)        | (74) 代理人  | 100082005           |
| (31) 優先権主張番号  | 12/477,062                    |           | 弁理士 熊倉 禎男           |
| (32) 優先日      | 平成21年6月2日 (2009.6.2)          | (74) 代理人  | 100067013           |
| (33) 優先権主張国   | 米国 (US)                       |           | 弁理士 大塚 文昭           |
|               |                               | (74) 代理人  | 100086771           |
|               |                               |           | 弁理士 西島 孝喜           |
|               |                               | (74) 代理人  | 100109070           |
|               |                               |           | 弁理士 須田 洋之           |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波信号の圧縮

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

サンプリング窓間に複数のアナログ超音波信号を出力する超音波トランスジューサ素子のアレイを備えた超音波画像形成システムにおいて、

1つのバンクのアナログ/デジタルコンバータを使用して複数のアナログ超音波信号をデジタルサンプリングして信号サンプルの複数のシーケンスを発生する段階であって、前記バンクのアナログ/デジタルコンバータのアナログ/デジタルコンバータにより発生された信号サンプルの各シーケンスがサンプリング窓間に前記超音波トランスジューサ素子のアレイの対応するトランスジューサ素子により出力されるアナログ超音波信号を表すような段階と、

複数の圧縮ユニットを用いて信号サンプルの複数のシーケンスを圧縮して、圧縮サンプルの複数の対応シーケンスを形成する段階であって、前記複数の圧縮ユニットの各圧縮ユニットは前記バンクのアナログ/デジタルコンバータの対応するアナログ/デジタルコンバータによって信号サンプル出力の1つのシーケンスから圧縮サンプルの対応するシーケンスを形成するようになっており、信号サンプルの複数のシーケンスにおける信号サンプルの特定のシーケンスを、前記サンプリング窓間に他のトランスジューサ素子から出力されるアナログ超音波信号を表す信号サンプルとは独立して圧縮して、前記特定のシーケンスよりも少ないビット数を含む、圧縮サンプルの対応シーケンスを形成することを含むような段階と、

マルチプレクサを用いて圧縮されたサンプルの前記複数の対応するシーケンスを多重化

10

20

する段階であって、

多重化された信号サンプルの前記複数のシーケンスにおけるほうが圧縮サンプルの前記対応する複数のシーケンスにおけるよりも少ないシーケンスになっている、段階と、

前記多重化された信号サンプルの前記複数のシーケンスの多重化された信号サンプルの各シーケンスを複数のデータポートの対応するデータポートを介して転送するためにシリアル化する段階と、

を備えた方法。

【請求項 2】

前記データ転送インターフェイスから受け取られた圧縮サンプルの少なくとも一部分を解凍して、解凍サンプルを形成する段階であって、その解凍サンプルに前記信号プロセッサがビーム成形オペレーションを適用するような段階を更に備えた、請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 3】

前記データ転送インターフェイスから受け取られた圧縮サンプルの少なくとも一部分を解凍して、解凍サンプルを形成する段階であって、その解凍サンプルを前記信号プロセッサがダウン変換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】

前記信号サンプルのシーケンスを、前記圧縮段階の前に中間周波数又は基本帯域ヘダウン変換する段階を更に備えた、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

20

前記圧縮段階は、圧縮サンプルの複数の対応シーケンスをリアルタイムで発生する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

サンプリング窓間に複数のアナログ超音波信号を出力する超音波トランスジューサ素子のアレイを備えた超音波画像形成システムにおいて、

複数のアナログ超音波信号を受信するための複数のアナログ入力と、デジタルインターフェイスにおける複数のデータポートとを有する集積回路デバイスを備え、この集積回路デバイスは、

アナログ入力に受信される複数のアナログ超音波信号をデジタルサンプリングして、サンプリング窓の間に信号サンプルの複数のシーケンスを発生するように結合される複数のアナログ/デジタルコンバータ (ADC) であって、各 ADC が、対応するトランスジューサ素子により出力される対応するアナログ超音波信号をサンプリングして、信号サンプルの対応シーケンスを形成するような複数の ADC と、

30

信号サンプルの複数のシーケンスを受信するように結合された複数の入力を有しそして圧縮サンプルの複数のシーケンスを発生する圧縮器であって、この圧縮器は、複数の圧縮ユニットを含み、対応する圧縮ユニットが、信号サンプルの対応シーケンスを、前記サンプリング窓の間に他のトランスジューサ素子から出力されるアナログ超音波信号を表す信号サンプルとは独立して圧縮して、前記特定のシーケンスよりも少ないビット数を含む、圧縮サンプルの対応シーケンスを形成する圧縮器と、

圧縮されたサンプルの前記複数の対応するシーケンスを受信するように結合された複数の入力を有し、多重化された信号サンプルの複数のシーケンスを発生させるマルチプレクサであって、前記多重化された信号サンプルの前記複数のシーケンスにおけるほうが圧縮サンプルの前記対応する複数のシーケンスにおけるよりも少ないシーケンスになっている、マルチプレクサと、

40

前記多重化された信号サンプルの前記複数のシーケンスを受信するように結合された複数の入力を有し、信号プロセッサへ複数のデータポート用いて前記多重化された信号サンプルの複数のシーケンスを転送するためにシリアル化するシリアルライザと、

を備える装置。

【請求項 7】

前記データ転送インターフェイスから圧縮サンプルの複数のシーケンスを受け取りそし

50

て解凍サンプルを前記信号プロセッサへ与えるように結合された解凍器を更に備えた、請求項 6 に記載の装置。

【請求項 8】

前記信号プロセッサは、前記解凍サンプルにビーム成形オペレーションを適用する、請求項 7 に記載の装置。

【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圧縮サンプルを記憶するように結合されたメモリと、

前記メモリに結合され、前記記憶された圧縮サンプルを検索しそして解凍サンプルを前記信号プロセッサに与える解凍器と、

を更に備えた請求項 6 に記載の装置。

【請求項 10】

複数のアナログ/デジタルコンバータ (ADC) と圧縮器との間に結合された複数のダウンコンバータを更に備え、各ダウンコンバータは、対応する ADC から信号サンプルのシーケンスを受け取り、そしてその信号サンプルのシーケンスを中間周波数又は基本帯域へ変換して、対応する圧縮ユニットに与えられるダウン変換信号サンプルのシーケンスを形成する請求項 6 に記載の装置。

【請求項 11】

前記圧縮器は、圧縮サンプルの複数のシーケンスをリアルタイムで発生する、請求項 6 に記載の装置。

【請求項 12】

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 7 に記載の装置。

【請求項 13】

前記解凍器は、グラフィック処理ユニット (GPU) で少なくとも部分的に具現化される、請求項 7 に記載の装置。

【請求項 14】

サンプリング窓の間に N 個のアナログ超音波信号を出力する N 個の超音波トランスジューサ素子のアレイを含む超音波画像形成システムにおいて、

N 個のアナログ超音波信号を受信するための N 個のアナログ入力と、デジタルインターフェイスにおける N 個のデータポートとを有する集積回路デバイスを備え、この集積回路デバイスは、

アナログ入力に受信される N 個のアナログ超音波信号をデジタルサンプリングして、サンプリング窓の間に信号サンプルの N 個のシーケンスを発生するように結合される N 個のアナログ/デジタルコンバータ (ADC) であって、各 ADC が、対応するアナログ超音波信号をサンプリングして、信号サンプルの対応シーケンスを形成し、各信号サンプルがサンプル当たりあるビット数で表されるような ADC と、

M が N より小さいとすれば、信号サンプルの N 個のシーケンスを受信するように結合された N 個の入力を有しそして多重化された信号サンプルの M 個のシーケンスを発生するマルチプレクサであって、このマルチプレクサは、各サンプル周期中の N 個の信号サンプルのビットを M 個のビットサブセットへとマッピングし、その各ビットサブセットは、デジタルインターフェイスにおける N 個のデータポートのうちの M 個を経て信号プロセッサへ転送するために前記 M 個のシーケンスの対応する 1 つに与えられるようなマルチプレクサと、  
を備えるようにされた装置。

【請求項 15】

前記データ転送インターフェイスから前記マルチプレクスされた信号サンプルの M 個のチャンネルを受け取るように結合されたデマルチプレクサを更に備え、このデマルチプレクサは、M 個のビットサブセットをデマッピングして、各サンプル周期中の N 個の信号サンプルを再生し、そして信号サンプルの N 個の再生シーケンスを前記信号プロセッサに与

10

20

30

40

50

える、請求項 14 に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波トランスジューサにより受信された超音波信号データの圧縮に係り、より詳細には、超音波信号サンプルを、アナログ/デジタル変換の後であって且つビーム成形、検出及び画像形成の前に圧縮することに係る。

【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を遅延し及び合成して、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、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き、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

10

20

30

40

50

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。

#### 【 0 0 0 6 】

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。

#### 【 0 0 0 7 】

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

10

20

30

40

50

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。

【 0 0 0 8 】

“Transducer Array Imaging System”と題する米国特許公告 2 0 0 8 / 0 1 1 4 2 4 6 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 ( R O I ) 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。

【 0 0 0 9 】

2 0 0 0 年 3 月 2 8 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 , 0 4 2 , 5 4 5 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、A D C の前のアナログビーム成形、又は A D C 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 ( R F ) サンプルを発生する。二次元 ( 2 D ) 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、ロスレス又はロッシーである。D C T 又は離散的ウェーブレット変換 ( D W T ) 、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、J P E G 圧縮は、データのフレームをデータの 2 D ブロックへ分割し、各ブロックに 2 D D C T 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 D C ( 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 2 D 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。J P E G 圧縮アルゴリズムは、ロッシー又はロスレスとして構成することができる。( J P E G 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 2 D フィルタリングは、2 D 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、2 D 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。

【 0 0 1 0 】

2 0 0 5 年 2 月 1 5 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 , 8 5 5 , 1 1 3 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 J P E G 圧縮、又

10

20

30

40

50

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WO 97/09930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。

【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。

【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。

【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

10

20

30

40

50

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。128×512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. 23<sup>rd</sup> 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JPEG2000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、ストリンツイス氏等は、一連の超音波画像にMPG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MPG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述べている。2007年8月8日付の“Enhanced Data Converters Using Compression and Decompression”と題する共通所有の米国特許第7,088,276号(‘276特許)は、単一の集積回路において具現化されたADCから出力された信号サンプルにロスレス又はロッシー圧縮を適用することを述べている。2008年5月15日に出願された“Digital Interface for Data Converters”と題する共通所有の同時係争中の米国特許出願第12/120988号(‘988出願)は、複数のADCから出力されたデータをマルチプレクスして、デジタルインターフェイスにおけるアクティブなデータポートの数を減少することを述べている。

#### 【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信号データを効率的にデータ転送及び記憶する必要がある。又、システムの複雑さへの影響を最少にしてデータ転送及び記憶容量を改善するために超音波信号データ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】

## 【 0 0 1 8 】

本発明の実施形態は、以上の従来の問題を考慮してなされたものである。本発明の目的は、超音波画像形成システムにおいてアナログ／デジタル変換後に超音波信号サンプルを圧縮することである。超音波画像形成システムは、サンプリング窓の間に複数のアナログ超音波信号を出力する超音波トランスジューサ素子のアレイを備えている。方法は、

アナログ／デジタルコンバータを使用して複数のアナログ超音波信号をデジタルサンプリングして信号サンプルの複数のシーケンスを発生する段階であって、信号サンプルの各シーケンスがサンプリング窓の間に対応するトランスジューサ素子により出力されるアナログ超音波信号を表すような段階と、

信号サンプルの複数のシーケンスを圧縮して、圧縮サンプルの複数の対応シーケンスを形成する段階であって、信号サンプルの複数のシーケンスにおける信号サンプルの特定のシーケンスを、前記サンプリング窓の間に他のトランスジューサ素子から出力されるアナログ超音波信号を表す信号サンプルとは独立して圧縮して、圧縮サンプルの対応シーケンスを形成することを含むような段階と、

圧縮サンプルの複数の対応シーケンスを、データ転送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段階と、

を備えている。

## 【 0 0 1 9 】

圧縮サンプルは、ビーム成形又は他の超音波信号処理オペレーションの前に解凍される。

## 【 0 0 2 0 】

本発明の別の目的は、超音波画像形成システムにおいてアナログ超音波信号のアナログ／デジタル変換の後に超音波信号サンプルを圧縮するための装置を提供することである。超音波画像形成システムは、サンプリング窓の間に複数のアナログ超音波信号を出力する超音波トランスジューサ素子のアレイを備えている。この装置は、複数のアナログ超音波信号を受信するための複数のアナログ入力と、デジタルインターフェイスにおける複数のデータポートとを有する集積回路デバイスを備え、この集積回路デバイスは、

アナログ入力に受信される複数のアナログ超音波信号をデジタルサンプリングして、サンプリング窓の間に信号サンプルの複数のシーケンスを発生するように結合される複数のADCであって、各ADCが、対応するトランスジューサ素子により出力される対応するアナログ超音波信号をサンプリングして、信号サンプルの対応シーケンスを形成するような複数のADCと、

信号サンプルの複数のシーケンスを受信するように結合された複数の入力を有しそして圧縮サンプルの複数のシーケンスを発生する圧縮器であって、この圧縮器は、複数の圧縮ユニットを含み、対応する圧縮ユニットが、信号サンプルの対応シーケンスを、前記サンプリング窓の間に他のトランスジューサ素子から出力されるアナログ超音波信号を表す信号サンプルとは独立して圧縮して、圧縮サンプルの対応シーケンスを形成し、更に、圧縮サンプルの複数のシーケンスが、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ために複数のデータポートに与えられるような圧縮器と、

## 【 0 0 2 1 】

本発明の別の態様は、データポートの過剰なデータ転送帯域巾を利用し、少数のデータポートを使用して、デジタルインターフェイスを経て圧縮サンプルを転送する。圧縮サンプルのシーケンスをマルチプレクスし、少数のデータポートを使用して転送できる少数のシーケンスを形成することができる。

## 【 0 0 2 2 】

本発明の別の態様は、データポートの過剰なデータ転送帯域巾を利用し、少数のデータポートを使用して、デジタルインターフェイスを経て解凍した超音波信号サンプルを転送する。複数のADCから出力される信号サンプルのビットレートがデータポートの最大データ転送帯域巾より充分小さいときには、解凍信号サンプルのシーケンスをマルチプレク

10

20

30

40

50

スして、少数のデータポートを使用して転送できる少数のシーケンスを形成することができる。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【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】好ましい実施形態によりADCのバンクから出力される信号サンプルを圧縮することを含む超音波システムのブロック図である。 10

【図6】別の構成により超音波信号サンプルを圧縮しそしてその圧縮したサンプルをキャプチャメモリに記憶することを含む超音波システムのブロック図である。

【図7】別の構成により圧縮サンプルがビーム成形器メモリに記憶される超音波システムのブロック図である。

【図8】圧縮サンプルを、少数のデータポートを横切って転送するために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。

【図9】ADC出力にポートコンセントレーションを適用する超音波システムのブロック図である。

【図10A】16個のADCからデータを転送するために12個のデータポートを含むポートコンセントレーション構成のブロック図である。 20

【図10B】図10Aの構成に対して1つのサンプル周期中にデータポート270に与えられるビットの配列を示す。

【図11】信号サンプルの元のシーケンスを回復するためにポートコンセントレーションから生じる受信されマルチプレクスされたビットストリームを再順序付けするブロック図である。

【図12】 $N\_GROUP = 4$ 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13】エンコーディングのための信号サンプルの $n\_bit$ を選択する一例を示す。

【図14】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。 30

【図15】 $n\_exp$ 、 $n\_LSB$ 及び $m\_exp$ の規範的な値のテーブルである。

【図16】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17】差の演算を含む圧縮ユニット210iのブロック図である。

【図18】解凍器のブロック図である。

【図19】異なる中心周波数をもつ信号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20】信号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21】中心周波数に基づき変更サンプルを発生するオペレーションを示す。

【図22】図19の例に対する信号サンプル $x(i)$ 及び $x(i-j)$ の和又は差を示す。 40

【図23】図20を参照して述べた圧縮器に対して解凍器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24】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。

【図25】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】

【0024】

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 50

。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。

#### 【0025】

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。

#### 【0026】

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

10

20

30

40

50

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、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、補間を隣接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。

#### 【0027】

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。

#### 【0028】

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。

#### 【0029】

図 5 は、好ましい実施形態により、ADC 120 のバンクから出力される超音波信号サンプルを圧縮することを含む超音波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 210 i を備えている。複数の圧縮ユニット 210 i は、各トランスジューサ素子（例えば、図 1 の 110 i）から出力されるアナログ超音波信号を表す信号サンプルの複数のシーケンスを圧縮して、圧縮サンプルの複数のシーケンスを圧縮器出力 211 i に形成する。圧縮ユニット 210 i は、サンプリング窓の間に対応トランスジューサ素子 110 i から出力されるアナログ超音波信号を表す対応 ADC 120 i の ADC 出力

1 2 1 i からの信号サンプルのシーケンスを受信し、ここで、サンプリング窓は、アナログ超音波信号が、対象物の対応深さ範囲から反射されるエコーを表すところの時間インターバルである。圧縮ユニット 2 1 0 i は、その入力における信号サンプルの特定のシーケンスに、同じサンプリング窓の間に他のトランスジューサ素子から出力されるアナログ超音波信号を表す信号サンプルとは独立して圧縮オペレーションを適用して、圧縮サンプルの対応シーケンスを圧縮器出力 2 1 1 i に発生する。或いは又、圧縮ユニット 2 1 0 i は、2 つ以上の A D C からのサンプルを圧縮してもよく、この場合、特定の A D C 1 2 0 i からの信号サンプルは、同じサンプリング窓の間に他のトランスジューサ素子から出力されるアナログ超音波信号を表す信号サンプルとは独立して圧縮される。ここでの説明は、各 A D C 1 2 0 i が実数値サンプルのシーケンスを発生することを仮定している。或いは又、A D C 1 2 0 i が直角位相サンプリングを遂行して、I 及び Q サンプルのシーケンスを各 A D C 出力 1 2 1 i に発生する場合には、I、Q サンプルの各シーケンスが独立して圧縮される。圧縮は、ビーム成形の前に、超音波信号サンプルに適用される。圧縮されたサンプルは、デジタルインターフェイス 2 2 0 を横切って超音波信号プロセッサ 1 3 0 へ転送され、そこで、超音波処理オペレーションのために解凍される。圧縮サンプルを転送するためにデジタルインターフェイス 2 2 0 に必要とされるデータ転送帯域巾は、非圧縮の超音波信号サンプルのストリームを転送するための帯域巾に比して減少される。

#### 【 0 0 3 0 】

図 6 は、別の構成により超音波信号サンプルを圧縮しそしてその圧縮したサンプルをキャプチャメモリに記憶することを含む超音波システムのブロック図である。デジタルインターフェイス 2 2 0 を横切って転送された後に、圧縮サンプルは、キャプチャメモリ 2 3 0 に記憶される。圧縮サンプルを記憶するのに十分なキャプチャメモリ 2 3 0 の容量が減少され、従って、システムリソースが保存される。解凍器 2 4 0 は、キャプチャメモリから検索された圧縮サンプルを解凍する。受信ビーム成形器 1 6 0 は、解凍されたサンプルにビーム成形オペレーションを適用して、ビーム成形されたサンプルのシーケンスを各ビーム成形出力チャンネル 1 6 1 i に形成する。図 2 を参照して述べたように、解凍されたサンプルには、ビーム成形オペレーションの前に、デジタルダウン変換及び / 又はフィルタリングを適用することができる。

#### 【 0 0 3 1 】

図 7 は、別の構成により圧縮サンプルがビーム成形器メモリに記憶される超音波システムのブロック図である。受信ビーム成形器 1 6 0 は、ビーム成形器 ( B F ) メモリ 1 6 2 に圧縮サンプルを記憶し、そしてビーム成形オペレーションのために必要に応じて圧縮サンプルを検索する。解凍器 2 4 0 は、B F メモリから検索された圧縮サンプルを処理し、そして解凍したサンプルを B F 計算器 1 6 4 に与える。B F 計算器 1 6 4 は、ビーム成形オペレーションを解凍サンプルに適用する。又、B F 計算器 1 6 4 は、図 2 を参照して述べたように、空間的フィルタリングのために解凍サンプルに対して付加的なオペレーションを遂行することもできる。

#### 【 0 0 3 2 】

圧縮サンプルは、サンプル当たりのビットが元の超音波信号サンプルより少ないので、圧縮サンプルは、非圧縮サンプルより少数のデータポートを使用してデジタルインターフェイス 2 2 0 を横切って転送することができる。図 8 は、圧縮サンプルを、少数のデータポートを横切って転送するために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。この例では、A D C バンク 1 2 0 は、N 個の A D C 1 2 0 i、A D C 1 から A D C N を含み、N 個の A D C 出力チャンネル 1 2 0 i、 $X_1$  から  $X_N$  に信号サンプルのストリームを発生する。圧縮ユニット 2 1 0 i は、N 個の圧縮器出力 2 1 1 i、 $Y_1$  から  $Y_N$  に圧縮サンプルの対応ストリームを発生する。圧縮サンプルは、減少ビットレートを有し、データポート 2 7 0 i に与えられる。好ましくは、データポート 2 7 0 i は、低電圧の差動シグナリング ( L V D S ) データ送信を与える。或いは又、データポート 2 7 0 i は、データ送信のためにシリアルライザ / デシリアルライザ ( S e r D e s ) インターフェイスを使用することもできる。ナショナルセミコンダクタ社により 2 0 0 8 年 1 月に出版され

10

20

30

40

50

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、3.125 Gbps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あたりに要求し、これは、LVDS対と称される。データポート270iは、圧縮器出力 $Y_i$ における圧縮サンプル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270iを経て転送するために圧縮サンプルの複数のストリ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、 $M < N$ とすれば、圧縮サンプルのN個のシーケンスを合成して、M個のデータポート270iを経て転送するためのマルチプレクスされた圧縮サンプルのM個のシーケンスを形成する。合成することのできる圧縮サンプルストリームの数は、データ転送ポート270iの帯域巾により制限される。例えば、 $N = 16$  ADCで、各ADCが、50メガサンプル/秒(Msps)のサンプルレートにおいてサンプル当たり12ビットで超音波信号サンプルを発生する場合に、各ADC出力チャンネル121iのビットレートは、600 Mbpsとなる。データポート270iは、データ転送レートが800 Mbpsまでであり、そして圧縮器210は、3:1の圧縮比を発生すると仮定する。圧縮器出力121iにおける圧縮サンプルシーケンス $Y_i$ は、ビットレートが200 Mbpsである。このケースでは、1つのデータポート270iは、4つの圧縮器出力から800 Mbpsのデータ転送レートで圧縮サンプルを転送するのに十分な帯域巾を有する。この例では、マルチプレクサ250は、4つの圧縮シーケンス $Y_i$ 、 $Y_{i+1}$ 、 $Y_{i+2}$ 及び $Y_{i+3}$ のグループからの圧縮サンプルを合成して、マルチプレクスされた圧縮サンプル $Z_j$ の対応シーケンスを1つのマルチプレクサ出力251iに形成する。この例では、マルチプレクスされた圧縮サンプルのシーケンス及びそれに対応するアクティブなデータポートの数は、 $M = N / 4 = 4$ 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270iに与える。

#### 【0033】

圧縮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270iに対して固定数のマルチプレクサ出力251iを有する。或いは又、融通性のあるアーキテクチャは、圧縮サンプルのビットレートに基づいて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サンプルを与える。圧縮コントローラ(図8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210iに与える。圧縮コントローラは、マルチプレクサ出力251iに発生すべきマルチプレクスされた圧縮サンプルのシーケンスの数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ตอบสนองして、インアクティブなデータポートを電源オフにし、電力を更に保存することができる。

#### 【0034】

又、データポート270iが、信号サンプルを圧縮しなくても、サンプルレート及びビット/サンプルのある値に対して過剰な帯域巾をもつことも考えられる。データポート270iは、サンプルレートとビット/サンプルの数値との積が、データポート270iの最大データ転送レートより低いビットレートをADC出力121iに生じるときに、過剰帯域巾を有する。例えば、ADCのクロック周波数が、50 Mspsに対応する50メガヘルツ(MHz)であり、そしてサンプル巾が12ビット/サンプルであって、各ADC120iが600メガビット/秒(Mbps)を発生すると仮定する。データ転送レートは、各データポート270iに対して600 Mbpsとなる。800 Mbpsの最大デー

10

20

30

40

50

タ転送レートを有するLVDSポートでは、各ポートに対して200Mbpsの未使用帯域巾がある。データポート270iは、LVDSインターフェイスが一定電流（従って、一定電力）リンクであるから、600Mbpsでデータを転送するのに、800Mbpsの全容量でデータを転送する場合と同じ量の電力を消費する。ポートコンセンレーションは、複数のADC出力からのビットを合成しそしてその合成したデータを、より少数のポートを経てより速いレートで送信することにより、過剰なデータ転送容量を利用する。各データポートは、その合成データを、ADCビットレートより高く且つ各データポート270iレートの最大データ転送レートまでのレートで送信する。

#### 【0035】

図9は、ADC出力121iにポートコンセンレーションを適用する超音波システムのブロック図である。N個のADC出力 $X_1$ から $X_N$ における超音波信号サンプルのN個のシーケンスがマルチプレクサ252へ入力される。マルチプレクサ252は、 $M < N$ とすれば、ADC出力のグループからのサンプルを合成して、マルチプレクスされた信号サンプル $R_1$ から $R_M$ のM個のチャンネルを形成する。各チャンネル $R_i$ は、そのビットレートが、ADC出力121iにおけるADCビットレートより高いが、データポート270iの最大データ転送レート（ビット/秒）以下である。マルチプレクサ250は、各サンプル周期に対するN個の信号サンプルのビットをM個のビットサブセットへとマップすることによりサンプルを合成する。シリアルライザ262は、対応するデータポート270iにより転送するためのビットのサブセットの各々をシリアル化する。更に、ADCの数Nが16である前記例について考える。600MbpsのADCビットレートで16個のADC120iから出力される信号サンプルは、各々800Mbpsのビットレートの12ビットストリームへと合成することができる。12個のアクティブなデータポート270iは、12ビットストリームを各々800Mbpsのデータ転送レート（ $800\text{Mbps} \times 12 = 600\text{Mbps} \times 16$ ）で転送する。サンプルレート、ビット/サンプルの数値、及び最大データ転送レートに基づいて、多数の構成が考えられる。

#### 【0036】

図10Aは、16個のADCからデータを転送するために12個のデータポートを含むポートコンセンレーション構成のブロック図である。この構成は、50MHzまでのADCクロック周波数に対応する50Mbpsまでのサンプルレートを受け入れることができる。ADC入力クロック118は、周波数がADCサンプルレートに対応するクロック信号を搬送する。ADC120は、ADC入力クロック118にตอบสนองして、入力アナログ信号をサンプルレートでサンプリングする。マルチプレクサ252は、ADCのバンク120から出力される信号サンプルを受け取る。4つのADC120h、120i、120j及び120kは、1つのマルチプレクサ252iに信号サンプルを与える。マルチプレクサ252iは、3つの出力253i、253j及び253kを含む。マルチプレクサ252iは、各サンプル周期中にそれが受信したサンプルの48ビットを再順序付けし、そしてその再順序付けしたビットを3つのシリアルライザ261i、262j及び262kに分配する。各シリアルライザ261i、262j及び262kは、48の再順序付けされたビット、この場合は、16ビットのサブセットを受け取り、そして対応するポート270i、270j及び270kにより転送するためのそれをシリアル化する。位相固定ループ（PLL）280は、ADCクロック周波数の16倍の周波数を有するデータクロック281を発生する。PLL280は、ADC入力クロックに対して動作して、シリアルライザ262及びデータポート270のためのデータクロック281を発生する。データクロック周波数は、各シリアルライザ262iから出力されるビットのデータ転送レートに対応する。データクロック周波数は、ADCクロック周波数に、サンプル周期当たりのマルチプレクスされたビット数を乗算したものである。12のデータポート270は、シリアル化されたビットを、サンプルレートの16倍のデータ転送レートで転送する。

#### 【0037】

図10Bは、図10Aの構成に対して1つのサンプル周期中にデータポート270に与えられるビットの配列を示す。テーブル290は、1つのサンプル周期中に16個のAD

10

20

30

40

50

C から出力されるサンプルビットのビットマッピングを示す。4つのマルチプレクサ 2 5 2 及び 3つのシリアルライザ 2 6 2を有する構成では、マルチプレクサ 2 5 2は、各信号サンプルのビットを4ビットのブロックへとグループ編成する。マルチプレクサ 2 5 2 iは、ビットの第1ブロックをシリアルライザ 2 6 2 iへ向け、ビットの第2ブロックをシリアルライザ 2 6 2 jへ向け、そしてビットの第3ブロックをシリアルライザ 2 6 2 kへ向ける。行 2 9 0 i、2 9 0 j 及び 2 9 0 kは、各々、シリアルライザ 2 6 2 i、2 6 2 j 及び 2 6 2 kのビットマッピングを表す。各シリアルライザ 2 6 2が1つのサンプル周期中に16個のマッピングされたビットを出力するならば、異なるビット順序を生じる他のビットマッピングを使用することもできる。デジタルインターフェイス 2 2 0を横切って転送された後、受信されマルチプレクスされたビットは、信号サンプルの元のシーケンスを回復するために、逆のビットマッピングに基づいて再順序付けされる。

10

#### 【 0 0 3 8 】

図 1 1は、信号サンプルの元のシーケンスを回復するためにポートコンセントレーションから生じる受信されマルチプレクスされたビットストリームを再順序付けするブロック図である。ポートコンセントレーションモードにおいて、受信器は、より少数の入力データポート 3 1 0を必要とするだけであり、電力節約及び複雑さの減少となる。入力データポート 3 1 0は、LVDS受信器である。各LVDS受信器は、LVDS送信により発生される差動信号を受信し、そしてそれに対応する受信ビットを再生するロジック状態を発生する。デシリアルライザ 3 1 5は、受信されたシリアルビットを、マルチプレクスされた信号サンプルRからRのM個の平行チャンネルへ変換する。デマルチプレクサ 3 2 0は、マルチプレクスされた信号サンプルのビットを、信号サンプルの元のシーケンス  $X_1$  から  $X_N$ の順序へ再アレンジする。次いで、超音波信号プロセッサ 1 3 0は、信号サンプルの再生されたシーケンスにビーム成形又はデジタルダウン変換のようなオペレーションを適用する。' 9 8 8特許出願には、ポートコンセントレーションモードに対する付加的な別の形態が述べられている。

20

#### 【 0 0 3 9 】

圧縮ユニット 2 1 0 iにより適用される圧縮方法は、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、そして信号サンプルの第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。

30

#### 【 0 0 4 0 】

圧縮ユニット 2 1 0 iの好ましい実施形態は、ADC出力 1 2 1 iからの連続的信号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。

40

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

50

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。

#### 【0041】

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)

10

#### 【0042】

$i$  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

20

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。

#### 【0043】

図12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ブロック図である。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13は、エンコーディングのための信号サンプルの  $n\_bit$  を選択する一例を示す。入力信号サンプル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12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210iは、連続する圧縮グループを連結して、圧縮器出力211i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。

30

40

#### 【0044】

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

50

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。

#### 【 0 0 4 5 】

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。図 14 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 15 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 16 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。圧縮サンプルのシーケンスは、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。

#### 【 0 0 4 6 】

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ตอบสนอง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。

#### 【 0 0 4 7 】

圧縮されたサンプルは、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。ADC 120 i によってデジタル化された

10

20

30

40

50

受信パルスに対応する圧縮サンプルのシーケンスは、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9を参照して述べたように、複数のADC120iからの圧縮サンプルのシーケンスを合成して、所与のデータポート270i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。

#### 【0048】

解凍については、解凍器240は、圧縮サンプルのシーケンス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。N\_GROUP圧縮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て、それらビットを解凍ビットへとマッピングすることにより、N\_GROUP仮数が再構成される。解凍されたサンプルは、超音波信号プロセッサ130のダウンストリーム処理要求に基づいてサンプル当たりの元のビット数又は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、元のサンプル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。

#### 【0049】

533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、超音波信号サンプルに関する533特許のアルゴリズムの変更である。

#### 【0050】

超音波信号サンプルを圧縮するための別の態様は、差を計算した後に、エンコードすることである。超音波信号サンプルの第1又はそれより高次の差を計算することで、元の信号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、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。ADC出力121iの連続サンプルの差を計算するのに続いて、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行うことができる。この場合は、差のサンプルが、ADC出力121iの信号サンプルではなく、ブロックフローティングポイントエンコーダに入力される。或いは又、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差のサンプルに適用することができる。

#### 【0051】

図17は、差の演算を含む圧縮ユニット210iのブロック図である。圧縮ユニット210iは、ADC120iから超音波信号サンプルを受け取る。圧縮コントローラ340は、各圧縮ユニット210iの差の演算器330i及びエンコーダ332i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330i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330i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332iが差のサンプルではなく信号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332i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210iに対して同じものでも、異なるものでもよい。

#### 【0052】

図18は、解凍器240のブロック図である。解凍器は、システムアーキテクチャに

10

20

30

40

50

基づいて、デジタルインターフェイス 220、キャプチャーメモリ 230 又はビーム成形器メモリ 162 から圧縮サンプルを受け取る。デコーダ 352 は、エンコーダ 332 i のオペレーションを逆に行い、デコードされたサンプルを形成する。例えば、デコーダ 352 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 354 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う。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 354 がバイパスされる。解凍コントローラ 350 は、デコーダ 352 及び積分演算器 354 にコントロールパラメータを与える。解凍コントローラ 350 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。

10

#### 【0053】

圧縮のための別の態様では、中心周波数及びサンプルレートに基づいて超音波信号サンプルに算術演算を適用する。図 19 は、異なる中心周波数をもつ信号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 19 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 (0 Hz) 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 17 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。

20

#### 【0054】

又、図 19 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)、(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。

30

#### 【0055】

図 19 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。

40

#### 【0056】

図 19 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

50

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。

#### 【0057】

図19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 $180^\circ$ である。第5のフェーザ図750は、 $180^\circ$ 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。

10

#### 【0058】

図19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信号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、元の信号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。

#### 【0059】

20

図20は、信号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。ADC120iは、再順序付けデマルチプレクサ810に超音波信号サンプルを与える。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を形成するように信号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、圧縮信号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。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、ADC出力121iの信号サンプルではなく、ブロックフローティングポイントエンコーダに変更サンプル832が与えられる。

30

#### 【0060】

圧縮コントローラ860は、信号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ตอบสนองして、適当なオペレーションを遂行する。図21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、 $x(i-j)$ 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、又は他のエンコーディング技術のためのパラメー

40

50

タを示すことができる。

【 0 0 6 1 】

図 2 2 は、異なる中心周波数について図 1 5 及び図 1 6 を参照して述べたように計算される図 1 9 の例に対する信号サンプル  $x(i)$  及び  $x(i-j)$  の和又は差を示す。信号サンプルの規範的なシーケンスは、図 1 9 と同じである。規範的シーケンス 9 1 2 及び 9 4 2 における D I F F ( 差 ) の行、並びに規範的シーケンス 9 2 2、9 3 2 及び 9 5 2 における S U M ( 和 ) の行のサンプルは、それに対応する信号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 2 0 のエンコーダ 8 4 0 へ入力される変更サンプル 9 3 2 の例である。

【 0 0 6 2 】

図 2 3 は、図 2 0 を参照して述べた圧縮器 2 1 0 に対して解凍器 2 4 0 により遂行されるオペレーションのブロック図である。圧縮サンプルは、デコーダ 9 1 0 により、システムアーキテクチャに基づいて、デジタルインターフェイス 2 2 0、キャプチャメモリ 2 3 0 又はビーム成形メモリ 1 6 2 から受け取られる。デコーダ 9 1 0 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 9 2 0 は、算術演算器 8 3 0 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信号サンプルを再構成する。マルチプレクサ 9 3 0 は、解凍された信号サンプルに対して元の順序を回復して、超音波信号サンプルのシーケンスを再構成する。解凍コントローラ 9 4 0 は、デコーダ 9 1 0、逆演算器 9 2 0 及びマルチプレクサ 9 3 0 にコントロールパラメータを与える。解凍コントローラ 9 4 0 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。

【 0 0 6 3 】

圧縮器 2 1 0 の実施形態は、A D C から出力されるサンプルをリアルタイムで又は少なくともサンプルレートと同程度に速いレートで圧縮できる単純なオペレーションを適用する。差の演算器 3 3 0 i ( 図 1 7 ) 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 1 3 及び図 1 6 ) 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 2 0 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 2 4 0 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 2 4 0 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 3 5 4 ( 図 1 8 ) 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 2 3 の解凍器 2 4 0 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。

【 0 0 6 4 】

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 2 1 0 及び A D C 1 2 0 のバンクを単一の特定用途向け集積回路 ( A S I C ) デバイスに一体化する。図 5 のブロック図を参照すれば、A D C 1 2 0 のバンクは、圧縮器 2 1 0 と共に、アナログ入力及びデジタル出力を有する混合信号集積回路デバイスに一体化される。複数の N 個の独立した A D C 1 2 0 i は、N 個の入力アナログ超音波信号を N 個のデジタル超音波信号へとパラレルに変換する。A D C 1 2 0 i は、複数段のフラッシュコンバータ又は他の A D C アーキテクチャを含むパイプラインデータコンバータにより具現化することができる。A S I C 具現化のために、A D C の知的プロパティ ( I P ) が商業的に利用可能である。圧縮器 2 1 0 を具現化するデジタルロジックに A D C の出力チャンネル 1 2 1 i が結合される。圧縮器 2 1 0 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、A D C 1 2 0 i の 1 つに結合され、1 つの圧縮ユニット 2 1 0 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、2 つ以上の A D C 1 2 0 i からの信号サンプルを圧縮するように複数の圧縮ユニット 2 1 0 i を具現化することもできる。この別の態様

10

20

30

40

50

では、圧縮コアは、異なるADC120iからの信号サンプルを、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。圧縮されたサンプルは、図8、9及び10に示すように、LVDSポート270i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。別の具現化では、パラレルADC装置の出力に結合される個別の装置に圧縮オペレーションが含まれる。圧縮オペレーションは、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

#### 【0065】

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、超音波信号プロセッサ130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、解凍サンプルに対する超音波信号プロセッサ130のビーム成形オペレーションのような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、解凍サンプルは、超音波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

#### 【0066】

図24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 GTX 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Larrabee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24に示す具現化では、GPU装置1000は、解凍器240、超音波信号プロセッサ130(ビーム成形、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DRAM1002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。CPU1012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。DRAM1016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DRAM1002又はDRAM1016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

#### 【0067】

50

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 DRAM 1002 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 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。

#### 【0068】

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 x86 CPU 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。

#### 【0069】

図 25 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、超音波信号プロセッサ 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。

#### 【0070】

ADC バンク 120 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。

#### 【0071】

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、置き換え及び等效物が明らかとなる。

#### 【符号の説明】

#### 【0072】

- 120 : ADC バンク
- 130 : 超音波信号プロセッサ
- 140 : スキャンコンバータ
- 160 : 受信ビーム成形器
- 162 : BF メモリ

10

20

30

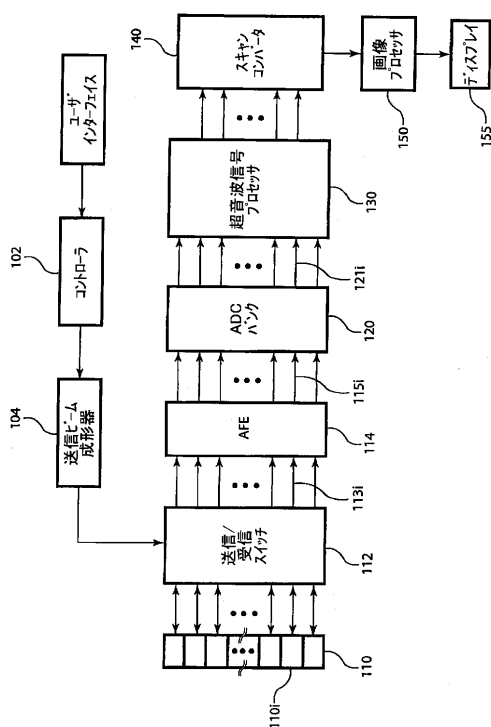
40

50

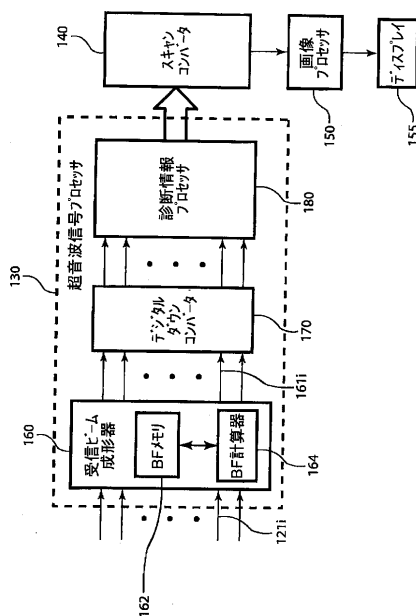
- 164 : B F 計算器
- 210 : 圧縮器
- 210 i : 圧縮ユニット
- 220 : デジタルインターフェイス
- 230 : キャプチャメモリ
- 240 : 解凍器
- 250 : マルチプレクサ
- 260 : シリアライザ
- 270 i : データポート
- 280 : 位相固定ループ ( P L L )

10

【 図 1 】

Figure 1  
従来技術

【 図 2 】

Figure 2  
従来技術

【図 3】

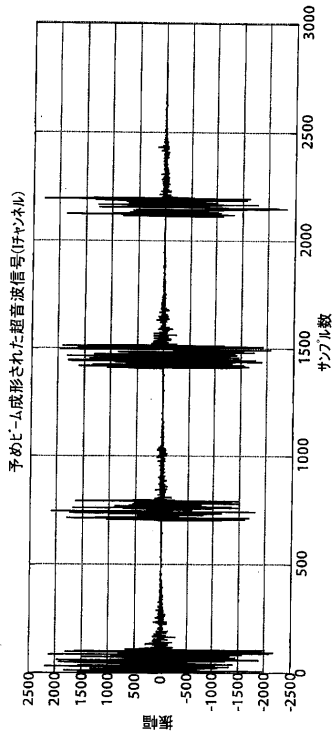


Figure 3  
従来技術

【図 4】

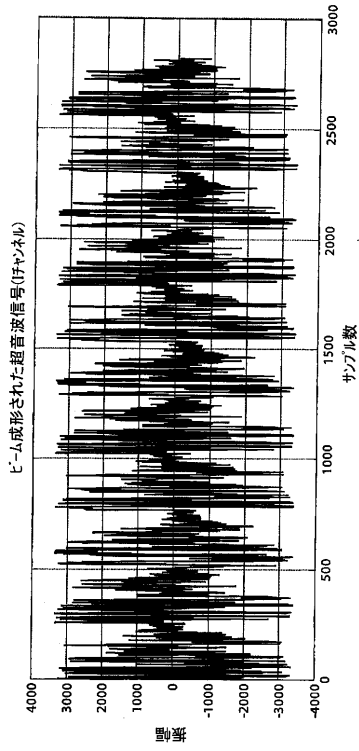


Figure 4  
従来技術

【図 5】

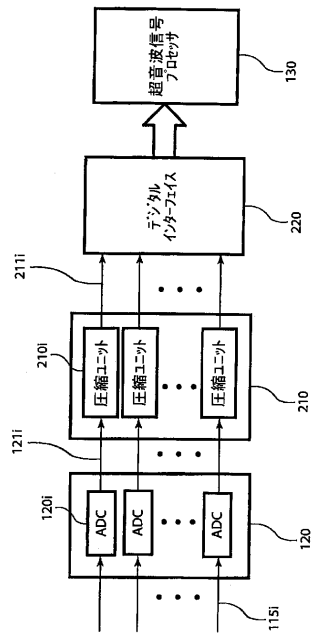


Figure 5

【図 6】

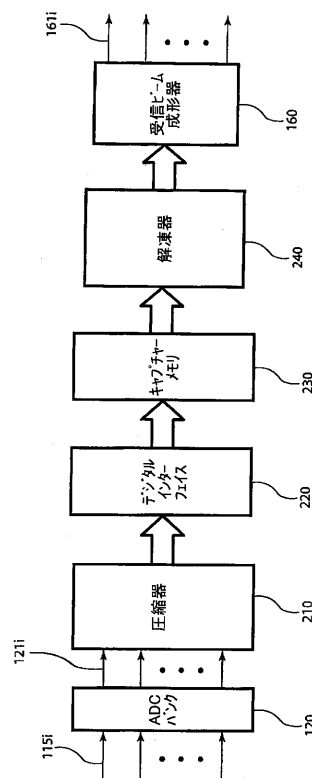


Figure 6

【図 7】

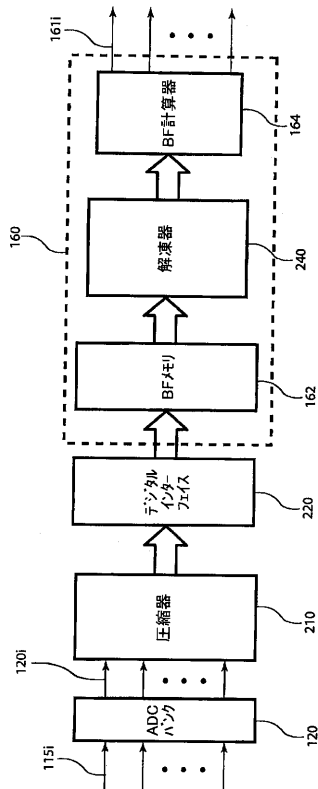


Figure 7

【図 8】

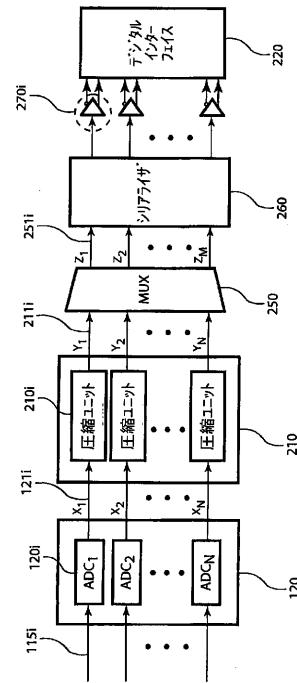


Figure 8

【図 9】

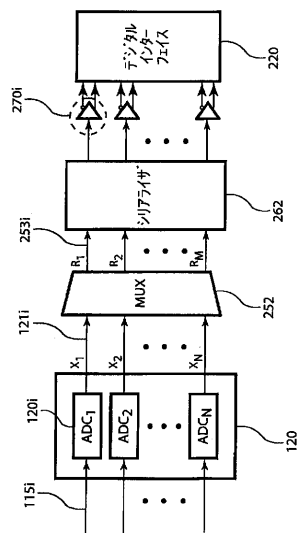


Figure 9

【図 10 A】

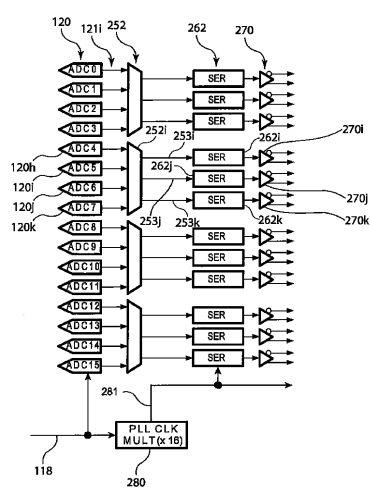


Figure 10A

【図10B】

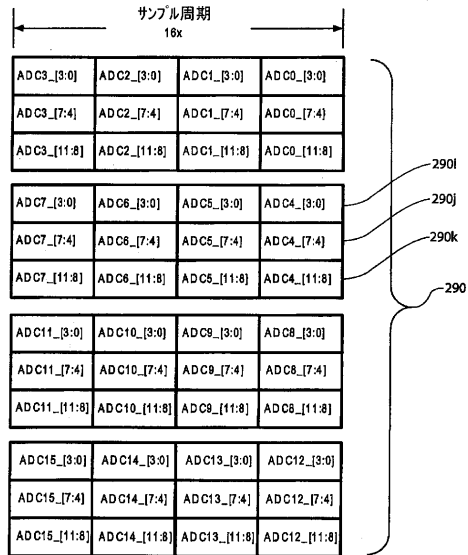


Figure 10B

【図11】

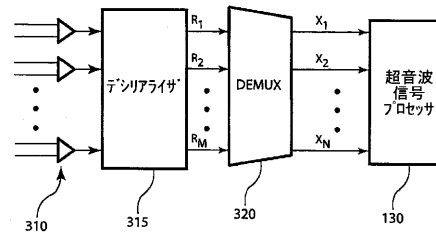


Figure 11

【図12】

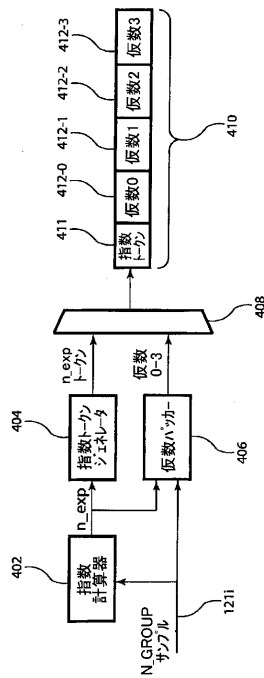


Figure 12

【図13】

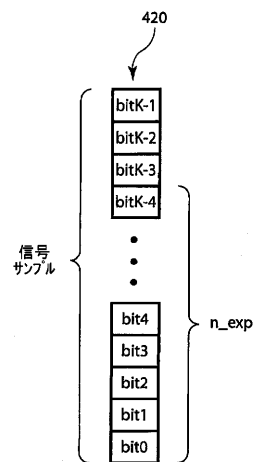


Figure 13

【図14】

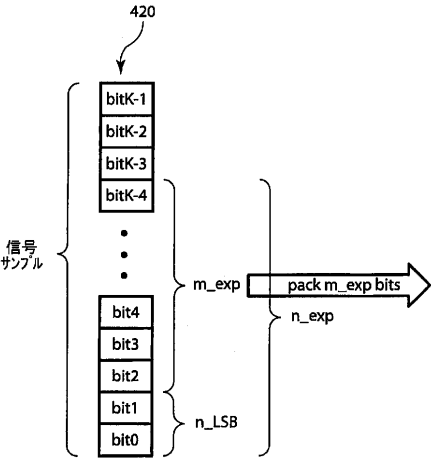


Figure 14

【図15】

| $n\_exp$ | $n\_LSB$ | $m\_exp$ |
|----------|----------|----------|
| 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 15

【図16】

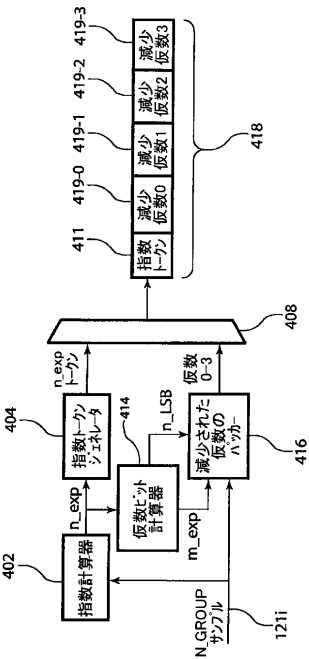


Figure 16

【図17】

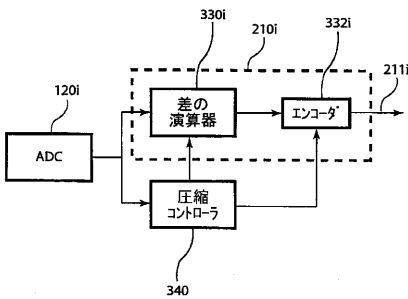
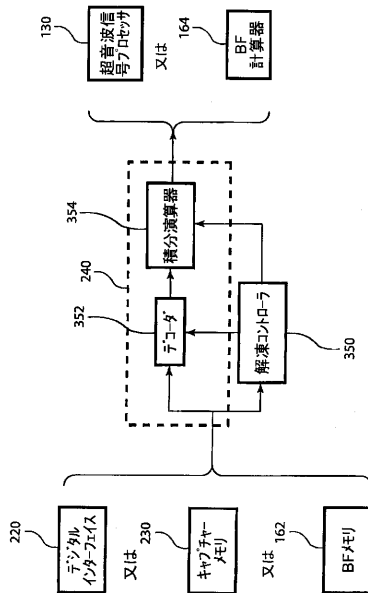


Figure 17

【図 18】



【図 20】

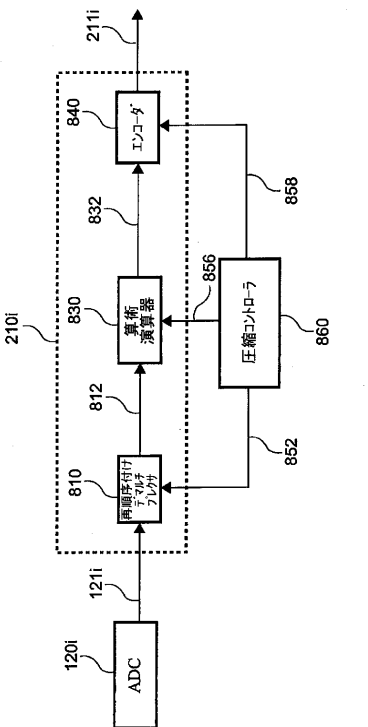


Figure 20

【図 19】

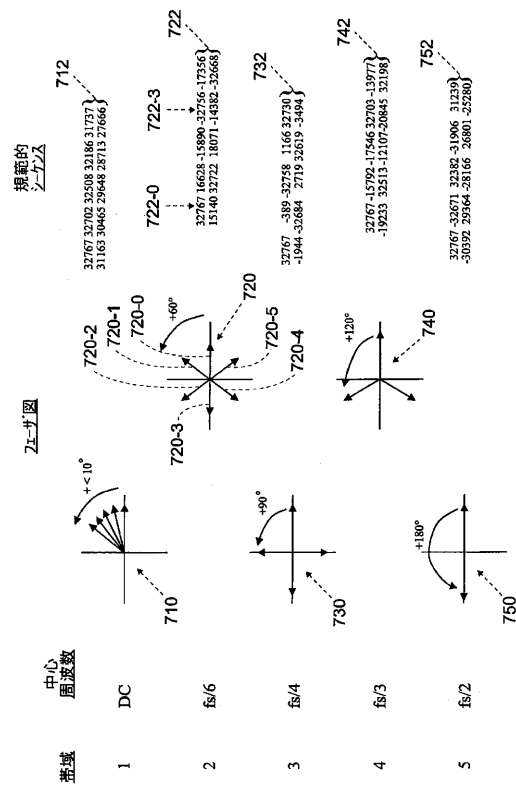


Figure 19

【図 21】

| 中心<br>周波数 | 周波数<br>帯域指示子 | フィルタ<br>コントローラ<br>$x(i)$ , $x(i-1)$ | インバータ<br>コントローラ | 変数<br>ゲイン              |
|-----------|--------------|-------------------------------------|-----------------|------------------------|
| 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 21



---

フロントページの続き

(74)代理人 100109335

弁理士 上杉 浩

(74)代理人 100120525

弁理士 近藤 直樹

(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 9 5 0 7 6 アプトス ヒルズ プラヤ デ ニノス 2 2  
5

(72)発明者 ナネヴィクト マイケル ヴィ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 3 0 6 パロ アルト ロス ロブレス アベニュー  
9 7 0

審査官 富永 昌彦

(56)参考文献 特開2007-260129(JP,A)

特開2005-081082(JP,A)

特開2000-279413(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A 6 1 B 8 / 0 0 - 8 / 1 5