

(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2007-507790

(P2007-507790A)

(43) 公表日 平成19年3月29日(2007.3.29)

(51) Int.CI.	F 1	テーマコード (参考)
G06F 17/14 (2006.01)	G06F 17/14	S 5B056
H03M 7/30 (2006.01)	G06F 17/14 H03M 7/30	A 5J064

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 32 頁)

(21) 出願番号	特願2006-532243 (P2006-532243)	(71) 出願人	503231882 エージェンシー フォー サイエンス, テ クノロジー アンド リサーチ シンガポール国シンガポール、セントロス 、ナンバーO 7-O 1、ビオポリス、ウェ イ、20
(86) (22) 出願日	平成16年5月6日 (2004.5.6)	(74) 代理人	100094318 弁理士 山田 行一
(85) 翻訳文提出日	平成18年5月29日 (2006.5.29)	(74) 代理人	100123995 弁理士 野田 雅一
(86) 國際出願番号	PCT/SG2004/000121	(72) 発明者	ファン, ハイбин シンガポール 752354, ナンバー O 6-244, アドミラルティ ドライ ヴ, ピーエルケー 354ビー
(87) 國際公開番号	W02005/031596		
(87) 國際公開日	平成17年4月7日 (2005.4.7)		
(31) 優先権主張番号	60/507, 440		
(32) 優先日	平成15年9月29日 (2003.9.29)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		
(31) 優先権主張番号	60/507, 210		
(32) 優先日	平成15年9月29日 (2003.9.29)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

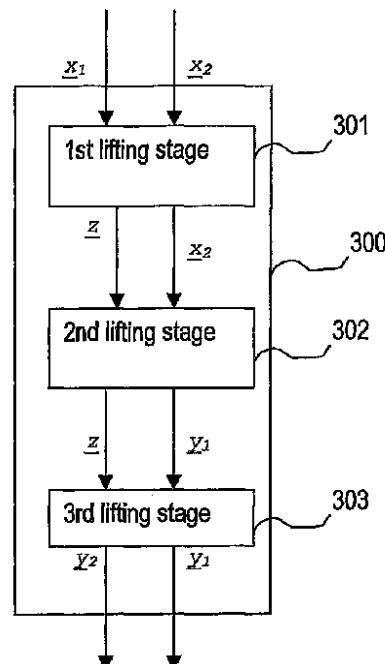
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】時間ドメインから周波数ドメインへ及びそれとは逆にデジタル信号を変換する方法

(57) 【要約】

変換マトリクスを含む変換関数を使用して時間ドメインから周波数ドメインへ及びそれとは逆にデジタル信号を変換する方法であって、デジタル信号は、複数のブロックへとグループ分けされるデータ記号で構成され、各ブロックが所定数のデータ記号を含むような方法。この方法は、デジタル信号の2つのブロックを1つの変換エレメントにより変換するプロセスを備え、変換エレメントは、2つのサブマトリクスを含むブロック対角マトリクスに対応し、各サブマトリクスは、変換マトリクスを備え、且つ変換エレメントは、複数のリフトステージを備え、更に、各リフトステージは、補助的な変換及び丸めユニットによるデジタル信号のブロックの処理を含む。

【選択図】図3



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

変換マトリクスを含む変換関数を使用して時間ドメインから周波数ドメインへ及びそれとは逆にデジタル信号を変換する方法であって、デジタル信号は、複数のブロックへとグループ分けされるデータ記号で構成され、各ブロックが所定数のデータ記号を含むような方法において、

前記デジタル信号の2つのブロックを1つの変換エレメントにより変換するステップを備え、前記変換エレメントは、2つのサブマトリクスを含むブロック対角マトリクスに対応し、各サブマトリクスは、前記変換マトリクスを備え、且つ前記変換エレメントは、複数のリフトステージを備え、更に、各リフトステージは、補助的な変換及び丸めユニットによる前記デジタル信号のブロックの処理を含むようにした方法。
10

【請求項 2】

前記変換関数は、DCT-I変換関数、DCT-I V変換関数、DFT-I変換関数、DFT-I V変換関数、DST-I変換関数、DST-I V変換関数、DWT-I変換関数、又はDWT-I V変換関数である、請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

各リフトステージはリフトマトリクスに対応し、該リフトマトリクスは、4つのサブマトリクスと、これらサブマトリクスの2つとして2つの可逆整数マトリクスを一方の対角方向に、且つこれらサブマトリクスの他の2つとして変換マトリクス及びゼロを他方の対角方向に伴うようなブロック三角形マトリクスである、請求項1又は2に記載の方法。
20

【請求項 4】

各リフトマトリクスにおける前記可逆整数マトリクスは、恒等マトリクス又は負の恒等マトリクスである、請求項3に記載の方法。

【請求項 5】

前記変換エレメントは、3つのリフトステージを備える、請求項1から4のいずれかに記載の方法。

【請求項 6】

オーディオ信号又はビデオ信号が前記デジタル信号として使用される、請求項1から5のいずれかに記載の方法。

【請求項 7】

変換マトリクスを含む変換関数を使用して時間ドメインから周波数ドメインへ及びそれとは逆にデジタル信号を変換する装置であって、デジタル信号は、データ記号で構成されて、複数のブロックへと分割され、各ブロックが所定数のデータ記号を含むような装置において、
30

前記デジタル信号の2つのブロックを1つの変換エレメントにより変換するための変換ユニットを備え、前記変換エレメントは、2つのサブマトリクスを含むブロック対角マトリクスに対応し、各サブブロックは、前記変換マトリクスを備え、且つ前記変換エレメントが複数のリフトステージを備えるようにした装置。

【請求項 8】

前記変換ユニットは、前記デジタル信号のブロックを処理するために各リフトステージに対する補助的な変換ユニットを備える、請求項7に記載の装置。
40

【請求項 9】

前記変換ユニットは、前記デジタル信号のブロックを処理するために各リフトステージに対する丸めユニットを備える、請求項7又は8に記載の装置。

【請求項 10】

前記変換ユニットは、
複数のデータブロックを受け取るように結合されると共に、各データブロックをMDC T係数へとドメイン変換するように構成された変更型離散的コサイン変換装置と、

前記MDC T係数の各々を受け取るように結合された量子化装置であって、それに応答して、量子化されたMDC T係数を発生するように動作できる量子化装置と、
50

前記量子化されたM D C T係数を受け取るように結合されたビットストリームエンコーダであって、それに応答して、知覚的にコード化されたビットストリームを発生するビットストリームエンコーダと、

前記量子化されたM D C T係数を受け取るように結合された逆量子化装置であって、前記M D C T係数を非量子化状態に回復せしめるように動作できる逆量子化装置と、

前記回復されたM D C T係数を受け取るように結合されると共に、整数値のM D C T係数を発生するように動作できる丸めユニットと、

を備える請求項7から9のいずれかに記載の装置。

【請求項11】

前記変換ユニットは、更に、

前記データブロックを受け取るように結合されると共に、それに応答して、I n t M D C T係数を発生するように動作できる逆変更型離散的コサイン変換装置と、

各I n t M D C T係数と整数値のM D C T係数との間の差を計算して、各残余M D C T係数を発生するための手段と、

前記残余M D C T係数を受け取るように結合されると共に、それに応答して、ロスなしの改善ビットストリームを発生するように動作できるエントロピーコーダと、
を備える請求項10に記載の装置。

【請求項12】

前記変換ユニットは、更に、

前記知覚コード化ビットストリームを受け取るように結合されると共に、それに応答して、デコードされたビットストリームを出力するように動作できるビットストリームデコーダと、

前記デコードされたビットストリームを受け取るように結合され、それに応答して、回復されたM D C T係数を発生するための逆量子化装置と、

前記回復されたM D C T係数を受け取るように結合されると共に、各M D C T係数を整数値へと丸めるように動作できる丸めユニットと、

前記回復されたM D C Tストリームを受け取るように結合され、それに応答して、前記知覚コード化信号の再構成されたコピーを発生するための逆M D C T装置と、
を備える請求項11に記載の装置。

【請求項13】

前記変換ユニットは、更に、

前記ロスなしのビットストリームを受け取るように結合されると共に、それに応答して、残余I n t M D C T係数を発生するように動作できるエントロピーデコーダと、

前記残余I n t M D C T係数を整数値のM D C T係数に加算して、I n t M D C T係数を発生するための手段と、

前記整数値のM D C T係数及び前記I n t M D C T係数の加算を受け取るように結合されて、ロスなしにコード化されたオーディオ信号の再構成されたコピーを発生するための逆I n t M D C T装置と、
を備える請求項12に記載の装置。

【請求項14】

プログラムが記録されたコンピュータ読み取り可能な媒体であって、前記プログラムは、変換マトリクスを含む変換関数を使用して時間ドメインから周波数ドメインへ及びそれとは逆にデジタル信号を変換する方法をコンピュータで実行せしめるように適応され、前記デジタル信号は、データ記号で構成されて、複数のブロックへと分割され、各ブロックが所定数のデータ記号を含むようなコンピュータ読み取り可能な媒体において、

前記デジタル信号の2つのブロックを1つの変換エレメントにより変換するためのコードを備え、前記変換エレメントは、2つのサブマトリクスを含むブロック対角マトリクスに対応し、各サブブロックは、前記変換マトリクスを備え、且つ前記変換エレメントは、複数のリフトステージを備え、更に、各リフトステージは、補助的な変換及び丸めユニットによる前記デジタル信号のサブブロックの処理を含むようにしたコンピュータ読み取り

10

20

30

40

50

可能な媒体。

【発明の詳細な説明】

【関連出願へのクロスレファレンス】

【0001】

本出願は、2003年9月29日に出願された米国プロビジョナル特許出願第60/507,210号、及び2003年9月29に出願された米国プロビジョナル特許出願第60/507,440号の優先権の利益を請求するもので、これら各自の内容は、その全体を全ての目的で参考としてここに援用する。

【0002】

更に、以下の共通に所有する特許出願は、本出願と同日に出願されたもので、その全体をここに援用する。 10

【0003】

「Method for Performing a Domain Transformation of a Digital Signal from the Time Domain into the Frequency Domain and Vice Versa」、代理人ドケット第P100442号；及び

【0004】

「Process and Device for Determining a Transforming Element for a Given Transformation Function, Method and Device for Transforming a Digital Signal from the Time Domain into the Frequency Domain and Vice Versa and Computer Readable Medium」、代理人ドケット第P100452号。 20

【背景】

【0005】

本発明は、時間ドメインから周波数ドメインへ及びそれとは逆にデジタル信号を変換する方法に係る。

【0006】

ドメイン変換、例えば、離散的コサイン変換（DCT）は、近代的な信号処理産業において広く使用されている。近年、DCTの変形で、整数DCTと称されるものが、ロスのないコード化アプリケーションにおいて重要な役割を果たすことから、多大な研究上の関心を集めている。「ロスのない」という語は、デコーダが、エンコードされたビットストリームからソース信号の厳密なコピーを発生できることを意味する。 30

【0007】

DCTは、実数値型ブロック変換である。入力ブロックが整数のみで構成されても、DCTの出力ブロックは、非整数成分を含むことができる。便宜上、入力ブロックは、入力ベクトルと称され、出力ブロックは、出力ベクトルと称される。ベクトルが整数成分しか含まない場合には、それが整数ベクトルと称される。DCTとは対照的に、整数DCTは、整数入力ベクトルから整数出力ベクトルを発生する。同じ整数入力ベクトルに対して、整数DCTの整数出力ベクトルは、DCTの実数出力ベクトルを厳密に近似する。従って、整数DCTは、スペクトル分析においてDCTの全ての良好なプロパティを保持する。

【0008】

整数DCTの重要なプロパティは、可逆性である。可逆性とは、整数逆DCT（IDCT）が存在し、整数DCTが入力ベクトル x から出力ベクトル y を発生する場合に、整数IDCTがベクトル y からベクトル x を回復できることを意味する。時々、整数DCTは、順方向変換とも称され、一方、整数IDCTは、逆方向又は逆変換とも称される。 40

【0009】

整数変更型離散的コサイン変換（IntMDCT）と称される変換が近年提案されて、ISO/IEC MPEG-4オーディオ圧縮に使用されている。このIntMDCTは、そのプロパティ、即ち変更型離散的コサイン変換（MDCT）から導出することができる。「Signal Processing with Lapped Transforms」、Artech House、1992年におけるH. S. Malvar著の開示は、ギブンズ(Givens)回転の列をDCT-IDVブロックと共にカスケード構成とすることでMDCTの効率的な実現を与える。ギブンズ回転は、整数対整 50

数のマッピングを行うための3つのリフトステップへと因数分解できることが良く知られている。例えば、R. Geiger, T. Sporer, J. Koller, K. Brandenburg著の「Audio Coding based on Integer Transforms」、AES第111回コンベンション、米国、ニューヨーク、2001年9月、を参照されたい。

【0010】

それ故、IntMDCTの実現は、整数DCT-IVの効率的な実施に依存する。整数変換は、各ギブンズ回転を3つのリフトステップに置き換えることによりそれらのプロートタイプから直接コンバートすることができる。各リフトステップには1つの丸め演算があるので、整数変換の全丸め回数は、プロートタイプ変換のギブンズ回転回数の3倍である。離散的三角法変換（例えば、離散的フーリエ変換（DFT）又は離散的コサイン変換（DCT））の場合に、それに伴うギブンズ回転の回数は、通常、 $N \log_2 N$ レベルにあり、ここで、Nは、ブロックのサイズであり、即ちデジタル信号が分割される各ブロックに含まれるデータ記号の量である。従って、全丸め回数も、直接コンバートされる整数変換のファミリーに対して、 $N \log_2 N$ レベルにある。丸めのために、整数変換は、そのフローティングポイントプロートタイプしか近似しない。丸めの回数と共に近似エラーが増加する。

【0011】

それ故、デジタル信号をより効率的な仕方でドメイン変換するためのシステム及び方法が要望される。

【発明の概要】

【0012】

本発明は、デジタル信号をドメイン変換するためのシステム及び方法であって、入力データの2つのブロックが同じオペレーションにおいて同時にドメイン変換されるようなシステム及び方法を提供する。この構成は、有効な丸め演算の回数、ひいては、近似エラーを減少させる。

【0013】

本発明の一実施形態において、変換関数を使用してデジタル信号を時間ドメインから周波数ドメインへ及びそれとは逆に変換するための方法が提供される。変換関数は、変換マトリクスを含み、デジタル信号は、複数のブロックへとグループ分けされたデータ記号を含み、各ブロックは所定数のデータ記号を含む。この方法は、デジタル信号の2つのブロックを1つの変換エレメントで変換することを備え、この変換エレメントは、2つのサブマトリクスを含むブロック対角マトリクスに対応し、各サブマトリクスは、変換マトリクスを含むと共に、変換エレメントは、複数のリフトステージを含み、更に、各リフトステージは、補助的な変換及び丸めユニットによるデジタル信号のブロックの処理を含む。

【0014】

本発明のこれら及び他の特徴は、添付図面及び特定実施形態の詳細な説明から良好に理解されよう。

【特定の実施形態の詳細説明】

【0015】

図1は、本発明の実施形態によるオーディオエンコーダ100の構成を示す図である。このオーディオエンコーダ100は、変更型離散的コサイン変換（MDCT）に基づく従来の知覚ベースレイヤーコーダと、整数変更型離散的コサイン変換（IntMDCT）に基づくロスなし改善コーダとを備えている。

【0016】

例えば、マイクロホン110により発生されてアナログ/デジタルコンバータ111によりデジタル化されたオーディオ信号109が、オーディオエンコーダ100へ供給される。このオーディオ信号109は、複数のデータ記号を含む。このオーディオ信号109は、複数のブロックに分割され、各ブロックは、デジタル信号の複数のデータ記号を含み、又、各ブロックは、変更型離散的コサイン変換（MDCT）装置101により変換される。MDCT係数は、知覚モジュール102の助けで量子化装置103により量子化され

10

20

30

40

50

る。知覚モデルは、量子化工エラーにより生じる可聴歪が低くなるように量子化装置 103 を制御する。量子化された M D C T 係数は、その後、ビットストリームエンコーダ 104 によりエンコードされ、このエンコーダは、ロスのある知覚コード化出力ビットストリーム 112 を発生する。

【0017】

ビットストリームエンコーダ 104 は、その入力を、ハフマンコード化又はランレンジスコード化のような標準的な方法により、ロスのないように圧縮して、その入力より平均ビットレートが低い出力を発生する。又、入力オーディオ信号 109 は、Int M D C T 装置 105 にも供給され、この装置は、Int M D C T 係数を発生する。量子化装置 103 の出力である量子化された M D C T 係数は、Int M D C T 係数を予想するのに使用される。量子化された M D C T 係数は、逆量子化装置 106 へ供給され、その出力（回復され又は非量子化の M D C T 係数）は、丸めユニット 107 へ供給される。

【0018】

丸めユニットは、供給された M D C T 係数を整数値へ丸め、整数値 M D C T と Int M D C T 係数との間の差である残余 Int M D C T 係数は、エントロピーコーダ 108 によりエントロピーコード化される。このエントロピーエンコーダは、ビットストリームエンコーダ 104 と同様のもので、その入力の平均ビットレートをロスなしに減少して、ロスなしの改善ビットストリーム 113 を発生する。このロスなしの改善ビットストリーム 113 は、知覚コード化ビットストリーム 112 と一緒に、入力オーディオ信号 109 を再構成するに必要な情報を最小限のエラーで搬送する。

【0019】

図 2 は、図 1 に示すオーディオコーダ 100 に対応する本発明の実施形態によるオーディオデコーダ 200 の構成を示す。知覚コード化ビットストリーム 207 は、ビットストリームデコーダ 201 へ供給され、このデコーダは、図 1 のビットストリームエンコーダ 104 の動作に対して逆の動作を実行して、デコードされたビットストリームを発生する。デコードされたビットストリームは、逆量子化装置 202 へ供給され、その出力（回復された M D C T 係数）は、逆 M D C T 装置 203 へ供給される。従って、再構成された知覚コード化オーディオ信号 209 が得られる。

【0020】

ロスなしの改善ビットストリーム 208 は、エントロピーデコーダ 204 へ供給され、このデコーダは、図 1 のエントロピーエンコーダ 108 の動作とは逆の動作を実行し、対応する残余 Int M D C T 係数を発生する。逆量子化装置 202 の出力は、丸め装置 205 によって丸められて、整数値 M D C T 係数を発生する。この整数値 M D C T 係数は、残余 Int M D C T 係数に加算されて、Int M D C T 係数を発生する。最終的に、逆 Int M D C T は、逆 Int M D C T 装置 206 により Int M D C T 係数に適用されて、再構成されたロスなしのコード化オーディオ信号 210 を発生する。

【0021】

図 3 は、D C T - I V を変換として使用すると共に、3つのリフトステージ、即ち第 1 リフトステージ 301、第 2 リフトステージ 302 及び第 3 リフトステージ 303 を使用する本発明による方法の実施形態を示すフローチャート 300 である。この方法は、好ましくは、図 1 の Int M D C T 装置 105 及び図 2 の逆 Int M D C T 装置 206 に使用されて、各々、Int M D C T 及び逆 Int M D C T を実施する。図 3において、x₁ 及び x₂ は、各々、デジタル信号の第 1 及び第 2 ブロックである。z は、中間信号であり、そして y₁ 及び y₂ は、各々、デジタル信号の第 1 及び第 2 ブロックに対応する出力信号である。

【0022】

上述したように、D C T - I V アルゴリズムは、ロスなしのオーディオコード化において重要な役割を演じる。

【0023】

10

20

30

40

【数1】

DCT-IVの変換関数は、変換マトリクス \underline{C}_N^{IV} を備えている。本発明のこの実施形態によれば、変換エレメントは、2つのブロックを含むブロック対角マトリクスに対応し、各ブロックは、変換マトリクス \underline{C}_N^{IV} を含む。

【0024】

従って、この実施形態では、本発明による変換エレメントに対応する変換マトリクスは、次の通りである。10

【数2】

$$\begin{bmatrix} & \underline{C}_N^{IV} \\ \underline{C}_N^{IV} & \end{bmatrix}$$

この実施形態の状況において、 \underline{C}_N^{IV} は、以下、変換マトリクスと称する。

【0025】

リフトマトリクスの数、ひいては、変換エレメントにおけるリフトステージの数は、DCT-IVが変換関数である本発明のこの実施形態では、3である。20

【0026】

Nポイント実数入力シーケンス $\times (n)$ のDCT-IVは、次のように定義される。

【数3】

$$y(m) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos\left(\frac{(m+1/2)(n+1/2)\pi}{N}\right) \quad m, n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

\underline{C}_N^{IV} をDCT-IVの変換マトリクスとする。即ち、

$$\underline{C}_N^{IV} = \sqrt{\frac{2}{N}} \left[\cos\left(\frac{(m+1/2)(n+1/2)\pi}{N}\right) \right]_{m,n=0,1,\dots,N-1} \quad (2) \quad \text{30}$$

次の関係式は、逆DCT-IVマトリクスに対して保たれる。

$$\left(\underline{C}_N^{IV}\right)^{-1} = \underline{C}_N^{IV} \quad (3)$$

特に、マトリクス \underline{C}_N^{IV} は、伸開線的(involutory)である。

$\underline{x} = [x(n)]_{n=0, 1, \dots, N-1}$ 及び $\underline{y} = [y(m)]_{m=0, 1, \dots, N-1}$ の状態では、式(1)は、次のように表わされる。40

$$\underline{y} = \underline{C}_N^{IV} \underline{x} \quad (4)$$

【0027】

ここで、 \underline{x}_1 、 \underline{x}_2 を2つの整数 $N \times 1$ 列ベクトルとする。これら列ベクトル \underline{x}_1 、 \underline{x}_2 は、本発明では1つの変換エレメントにより変換されるデジタル信号の2つのブロックに対応する。 \underline{x}_1 、 \underline{x}_2 のDCT-IV変換は、各々、 \underline{y}_1 、 \underline{y}_2 である。

【数4】

$$\underline{y_1} = \underline{C_N^{\text{IV}} x_1} \quad (5)$$

$$\underline{y_2} = \underline{C_N^{\text{IV}} x_2} \quad (6)$$

【0 0 2 8】

(5) 及び (6) を合成すると、次のようになる。

【数5】

$$\begin{bmatrix} \underline{y_1} \\ \underline{y_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{C_N^{\text{IV}}} & \\ & \underline{C_N^{\text{IV}}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{x_1} \\ \underline{x_2} \end{bmatrix} \quad (7)$$

【0 0 2 9】

前記対角マトリクスは、変換エレメントが、本発明により、対応しているブロック対角マトリクスである。

【0 0 3 0】

これは、前記式が次のような簡単な代数変更により変化された場合にも、本発明の範囲内である。

【数6】

$$\begin{bmatrix} \underline{y_1} \\ \underline{y_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{C_N^{\text{IV}}} & \\ & \underline{C_N^{\text{IV}}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{x_2} \\ \underline{x_1} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$\underline{T_{2N}}$ を (8) における対抗対角マトリクスとする。即ち、

$$\underline{T_{2N}} = \begin{bmatrix} \underline{C_N^{\text{IV}}} \\ \underline{C_N^{\text{IV}}} \end{bmatrix} \quad (9)$$

マトリクス $\underline{T_{2N}}$ は、次のように因数分解することができる。

$$\underline{T_{2N}} = \begin{bmatrix} \underline{C_N^{\text{IV}}} \\ \underline{C_N^{\text{IV}}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{I_N} & \\ -\underline{I_N} & \underline{I_N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\underline{I_N} & \underline{C_N^{\text{IV}}} \\ \underline{C_N^{\text{IV}}} & \underline{I_N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{I_N} \\ \underline{C_N^{\text{IV}}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{I_N} \\ \underline{I_N} \end{bmatrix} \quad (10)$$

但し、 $\underline{I_N}$ は、 $N \times N$ 恒等マトリクスである。

【0 0 3 1】

式(10)は、(3)におけるDCT-IVプロパティを使用して容易に照合することができる。式(10)を用いると、式(8)は、次のように表わすことができる。

【数7】

$$\begin{bmatrix} \underline{y_1} \\ \underline{y_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{I_N} & \\ -\underline{C_N^{\text{IV}}} & \underline{I_N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\underline{I_N} & \underline{C_N^{\text{IV}}} \\ \underline{C_N^{\text{IV}}} & \underline{I_N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{I_N} \\ \underline{C_N^{\text{IV}}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{x_2} \\ \underline{x_1} \end{bmatrix} \quad (11)$$

【0 0 3 2】

式(11)における3つのリフトマトリクスは、図3に示す3つのリフトステージに対応する。

10

20

30

40

50

【0033】

式(11)から、1つの変換エレメントで2つの整数DCT-IVを計算する次の整数DCT-IVアルゴリズムが導出される。

【0034】

図4は、DCT-IVを変換関数として使用する本発明による方法の実施形態を示す。この実施形態は、IntMDCTを実施するために図1に示すオーディオコーダ100に使用される。図3と同様に、x₁及びx₂は、入力デジタル信号の2つのブロックであり、zは、中間信号であり、そしてy₁及びy₂は、出力信号の対応ブロックである。

【0035】

図4に示す3つのリフトステージは、式(11)における3つのリフトマトリクスに対応する。

【0036】

図4に示すように、時間対周波数ドメインの整数変換は、次のように決定される。

【0037】

第1ステージ401において、x₂がDCT-IV変換402により変換され、次いで、DCT-IV係数が丸められる(403)。丸められたDCT-IV係数は、次いで、x₁404に加算される。従って、中間信号zが発生される。従って、中間信号zは、次の式を満足する。

【数8】

$$\underline{z} = \left\lfloor C_N^{IV} \underline{x}_2 \right\rfloor + \underline{x}_1 \quad (12a)$$

20

【0038】

第2ステージ405において、zがDCT-IV変換406により変換され、DCT-IV係数が丸められる(407)。次いで、丸められたDCT-IV係数から、x₁が減算される。従って、出力信号y₁が発生される。従って、出力信号y₁は、次の式を満足する。

【数9】

$$\underline{y}_1 = \left\lfloor C_N^{IV} \underline{z} \right\rfloor - \underline{x}_2 \quad (12b)$$

30

【0039】

第3ステージ409において、y₁がDCT-IV変換410により変換され、次いで、DCT-IV係数が丸められる(411)。丸められたDCT-IV係数が、次いで、zから減算される。従って、出力信号y₂が発生される。従って、出力信号y₂は、次の式を満足する。

【数10】

$$\underline{y}_2 = -\left\lfloor C_N^{IV} \underline{y}_1 \right\rfloor + \underline{z} \quad (12c)$$

40

但し、[*]は、丸め演算を表わす。

【0040】

図5は、DCT-IVを変換関数として使用する本発明の方法の実施形態に基づいて逆変換を行うためのアルゴリズムを示す。この実施形態は、逆IntMDCTを実施するために図2に示すオーディオデコーダ200に使用される。図5に示すアルゴリズムは、図4に示すアルゴリズムの逆である。異なる信号y₁、y₂、x₁、x₂、zに対する表示は、図4の表示に対応して選択されたものである。

50

【0041】

図5に示すように、周波数対時間ドメインの整数変換は、次のように決定される。

【0042】

第1ステージ501において、 \underline{y}_1 がDCT-IV変換502により変換され、DCT-IV係数が丸められる(503)。丸められたDCT-IV係数は、次いで、 \underline{y}_2 に加算される(504)。従って、中間信号 \underline{z} が発生される。従って、中間信号 \underline{z} は、次の式を満足する。

【数11】

$$\underline{z} = \left\lfloor C_N^{IV} \underline{y}_1 \right\rfloor + \underline{y}_2 \quad (13a) \quad 10$$

【0043】

第2ステージ505において、 \underline{z} がDCT-IV変換506により変換され、DCT-IV係数が丸められる。次いで、その丸められたDCT-IV係数から、 \underline{y}_1 が減算される。従って、信号 \underline{x}_2 が発生される。従って、信号 \underline{x}_2 は、次の式を満足する。

【数12】

$$\underline{x}_2 = \left\lfloor C_N^{IV} \underline{z} \right\rfloor - \underline{y}_1 \quad (13b) \quad 20$$

【0044】

第3ステージ509において、 \underline{x}_2 がDCT-IV変換510により変換され、DCT-IV係数が丸められる(511)。この丸められたDCT-IV係数が、次いで、 \underline{z} から減算される。従って、信号 \underline{x}_1 が発生される。従って、 \underline{x}_1 は、次の式を満足する。

【数13】

$$\underline{x}_1 = -\left\lfloor C_N^{IV} \underline{x}_2 \right\rfloor + \underline{z} \quad (13c) \quad 30$$

【0045】

式(13a)から(13c)に基づくアルゴリズムは、式(12a)から(12c)に基づくアルゴリズムに対して逆であることが明らかである。従って、図1及び2に示すエンコーダ及びデコーダに使用した場合には、これらアルゴリズムは、ロスのないオーディオコード化のための方法及び装置をもたらす。

【0046】

以下に述べる本発明の実施形態では、上述した方法がイメージアーカイブシステムに使用される。

【0047】

式(12a)から(12c)及び(13a)から(13c)は、更に、2つのN×N整数DCT-IVを比較するために、3つのN×N DCT-IV、3つのN×1丸め、及び3つのN×1加算が必要であることを示している。それ故、1つのN×N整数DCT-IVについては、平均が次のようになる。

【数14】

$$RC(N) = 1.5N \quad (14) \quad 40$$

$$AC(N) = 1.5AC(C_N^{IV}) + 1.5N \quad (15)$$

但し、RC()は、全丸め回数であり、AC()は、全演算回数である。直接コンバートされる整数DCT-IVアルゴリズムに比して、ここに提案する整数DCT-IVア

ルゴリズムは、 R_C をレベル $N \log_2 N$ から N へ減少する。

【0048】

式(15)で示されたように、ここに提案する整数 DCT - IV アルゴリズムの演算の複雑さは、DCT - IV アルゴリズムより約 50% も高い。しかしながら、 R_C も考慮した場合には、ここに提案するアルゴリズムの合成複雑さ ($A_C + R_C$) は、直接コンバート式の整数アルゴリズムを著しく越えることはない。アルゴリズムの複雑さの厳密な分析は、使用する DCT - IV アルゴリズムに依存する。

【0049】

図 4 及び 5 に示すように、ここに提案する整数 DCT - IV アルゴリズムは、構造が簡単でモジュール状である。これは、何らかの既存の DCT - IV アルゴリズムをその DCT - IV 計算ブロックに使用することができる。ここに提案するアルゴリズムは、Int MDC を要求するアプリケーション、例えば、MPEG - 4 オーディオ拡張 3 参照モデル 0 に適している。

【0050】

図 6 は、本発明の実施形態によるイメージアーカイブシステムの構成を示す。

【0051】

図 6において、イメージソース 601、例えば、カメラは、アナログイメージ信号を発生する。このイメージ信号は、アナログ / デジタルコンバータ 602 により処理されて、それに対応するデジタルイメージ信号を発生する。このデジタルイメージ信号は、時間ドメインから周波数ドメインへの変換を含むロスなしのイメージエンコーダ 603 によりロスなしにエンコードされる。この実施形態では、時間ドメインは、イメージの座標スペースに対応する。ロスなしのコード化イメージ信号が、記憶装置 604、例えば、ハードディスク又は DVD に記憶される。イメージが必要とされるときには、ロスなしのコード化イメージ信号が、記憶装置 604 からフェッチされて、ロスなしのイメージデコーダ 605 へ送られ、このデコーダは、ロスなしのイメージエンコーダ 603 に対応するもので、ロスなしのコード化イメージ信号をデコードして、データロスを伴わずに元のイメージ信号を再構成する。

【0052】

イメージ信号のこのようなロスなしのアーカイブは、例えば、イメージが半導体ウェハのエラーマップであって、後で分析するためにこれを記憶しなければならない場合に、重要である。

【0053】

本発明のこの実施形態において、図 3 から 5 に示す方法の実施形態は、ロスなしのイメージエンコーダ 603 及びロスなしのイメージデコーダ 605 に使用される。上述したように、図 3 から 5 に示す方法の実施形態は、可逆の変換を提供し、従って、特に、ロスなしのイメージコード化方法を提供する。

【0054】

本発明による方法は、オーディオ及びイメージ信号に限定されない。他のデジタル信号、例えば、ビデオ信号も、本発明の方法により変換することができる。

【0055】

以下、本発明により時間ドメインから周波数ドメインへ及びそれとは逆にデジタル信号を変換する方法の更に別の実施形態を説明する。

【0056】

本発明のこの実施形態では、ドメイン変換が DCT 変換であり、従って、ブロックサイズ N は、何らかの整数である。一実施形態では、 N が 2 の累乗である。

【0057】

【数15】

C_N^{II} をDCT（タイプI IのDCTとも称される）のN x N変換マトリクスとする。

$$C_N^{II} = \sqrt{2/N} [k_m \cos(m(n+1/2)\pi/N)] \quad (16)$$

$$m, n = 0, 1, \dots, N-1$$

$$\text{但し、 } k_m = \begin{cases} 1/\sqrt{2} & m = 0 \text{ の場合} \\ 1 & m \neq 0 \text{ の場合} \end{cases} \quad (17)$$

10

そしてNは、変換サイズである。m及びnは、マトリクス指数である。

【0058】

【数16】

前記で既に定義したように、 C_N^{IV} を、タイプI VのDCTのN x N変換マトリクスとする。

$$C_N^{IV} = \sqrt{2/N} [\cos((m+1/2)(n+1/2)\pi/N)] \quad (18)$$

$$m, n = 0, 1, \dots, N-1$$

20

上述したように、複数のリフトマトリクスが使用され、これらリフトマトリクスは、この実施形態では、次の式の2N x 2Nマトリクスである。

$$L_{2N} = \begin{bmatrix} \pm I_N & A_N \\ O_N & \pm I_N \end{bmatrix} \quad (19)$$

但し、 I_N は、N x Nの恒等マトリクスであり、 O_N は、N x Nのゼロマトリクスであり、 A_N は、任意のN x Nマトリクスである。

30

【0059】

各リフトマトリクス L_{2N} に対して、リフトステージの可逆の整数対整数マッピングは、ここに援用する参考文献「Factoring Wavelet Transforms into Lifting Steps」、Tech. Report、I. Daubechies及びW. Sweldens著、Bell Laboratories, Lucent Technologies、1996年、に説明された 2×2 リフトステップと同様に実現される。唯一の相違は、単一の変数ではなく、ベクトルに丸め演算が適用されることである。

【0060】

他の実施形態の前記説明において、リフトマトリクスに対してリフトステージをいかに実現するかは既に述べた。従って、リフトマトリクスに対応するリフトステージの説明は、以下では省略する。

40

【0061】

【数17】

L_{2N} の転置、 L_{2N}^T も、リフトマトリクスであることが明らかである。

この実施形態では、変換エレメントは、マトリクス T_{2N} に対応し、これは、次のように $2N \times 2N$ マトリクスとして定義される。

$$T_{2N} = \begin{bmatrix} C_N^{IV} & O_N \\ O_N & C_N^{IV} \end{bmatrix} \quad (20)$$

マトリクス T_{2N} の、リフトマトリクスへの分解は、次の式となる。 10

$$T_{2N} = P3 \cdot L8 \cdot L7 \cdot L6 \cdot P2 \cdot L5 \cdot L4 \cdot L3 \cdot L2 \cdot L1 \cdot P1 \quad (21)$$

【0062】

前記式の右側を構成しているマトリクスは、次のように説明される。

【0063】

P_1 は、次式で与えられる第1の置換マトリクスである。

【数18】

$$P1 = \begin{bmatrix} O_N & D_N \\ J_N & O_N \end{bmatrix} \quad (22) \quad 20$$

但し、 J_N は、次式で与えられる $N \times N$ 対抗指数マトリクスである。

$$J_N = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (23)$$

そして D_N は、対角エレメントが交互に 1 及び -1 である $N \times N$ 対角マトリクスである。

$$D_N = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (24) \quad 30$$

【0064】

P_2 は、第2の置換マトリクスであり、その一例が、次の MATLAB スクリプトにより発生される。 40

【数19】

```
=====
Pd = eye(2*N);
For i = 2:2:N,
    Pd(i, i) = 0; Pd(N+i, N+i) = 0;
    Pd(i, N+i) = 1; Pd(N+i, i) = 1;
end
Peo = zeros (2*N);
For i= 1:N,
    Peo (i, 2*i-1) = 1;
    Peo (i+N, 2*i) = 1;
end
P2 = (Pd*Peo)';
=====
```

10

20

30

【0065】

一例として、Nが4であるときには、P2が次のような 8×8 マトリクスである。

【数20】

$$P_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad N=4 \text{の場合} \quad (25)$$

【0066】

P3は、第3の置換マトリクスであり、その一例が、次のMATLABスクリプトにより発生される。

【数21】

```
=====
P3 = zeros (2*N);
For i = 1:N,
    P3 (i, 2*i-1) = 1;
    P3 (N2-i+1, 2*i) = 1;
end
=====
```

40

【0067】

一例として、Nが4であるときには、P3が次のような 8×8 マトリクスである。

【数22】

$$P_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad N=4 \text{ の場合} \quad (26)$$

10

【0068】

【数23】

L1は、第1リフトマトリクスである。

$$L1 = \begin{bmatrix} I_N & O_N \\ Z1_N & I_N \end{bmatrix} \quad (27)$$

20

但し、Z1_Nは、次のようなN x N対抗対角マトリクスである。

$$Z1_N = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -\tan(\pi/8N) \\ 0 & 0 & -\tan(3\pi/8N) & 0 \\ 0 & \ddots & 0 & 0 \\ -\tan((2N-1)\pi/8N) & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (28)$$

【0069】

【数24】

30

L2は、第2リフトマトリクスである。

$$L2 = \begin{bmatrix} I_N & Z2_N \\ O_N & I_N \end{bmatrix} \quad (29)$$

但し、Z2_Nは、次のようなN x N対抗対角マトリクスである。

$$Z2_N = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \sin((2N-1)\pi/4N) \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & \sin(3\pi/4N) & 0 & 0 \\ \sin(\pi/4N) & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (30)$$

40

【0070】

【数25】

L3は、第3リフトマトリクスである。

$$L3 = \begin{bmatrix} I_N & O_N \\ Z3_N & I_N \end{bmatrix} \quad (31)$$

但し、

$$Z3_N = \sqrt{2}C_N^{\text{IV}} + I_N + Z1_N \quad (32)$$

10

【0071】

【数26】

L4は、第4リフトマトリクスである。

$$L4 = \begin{bmatrix} -I_N & Z4_N \\ O_N & I_N \end{bmatrix} \quad (33)$$

但し、

$$Z4_N = C_N^{\text{IV}} / \sqrt{2} \quad (34)$$

20

【0072】

【数27】

L5は、第5リフトマトリクスである。

$$L5 = \begin{bmatrix} I_N & O_N \\ Z5_N & I_N \end{bmatrix} \quad (35)$$

但し、

$$Z5_N = -(\sqrt{2}C_N^{\text{IV}} + I_N) \quad (36)$$

30

【0073】

【数28】

L6は、第6リフトマトリクスである。

$$L6 = \begin{bmatrix} I_N & O_N \\ Z6_N & I_N \end{bmatrix} \quad (37)$$

但し、Z6Nは、次のようなN x N対抗対角マトリクスである。

$$Z6_N = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \tan(\pi/8) \\ 0 & 0 & \tan(\pi/8) & 0 \\ 0 & \ddots & 0 & 0 \\ \tan(\pi/8) & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (38)$$

40

【0074】

【数29】

L_7 は、第7リフトマトリクスである。

$$L_7 = \begin{bmatrix} I_N & Z7_N \\ O_N & I_N \end{bmatrix} \quad (39)$$

但し、 $Z7_N$ は、次のような $N \times N$ 対抗対角マトリクスである。

$$Z7_N = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -\sin(\pi/4) \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & -\sin(\pi/4) & 0 & 0 \\ -\sin(\pi/4) & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (40) \quad 10$$

【0075】

【数30】

L_8 は、第8リフトマトリクスである。

$$L_8 = L_6 \quad (41)$$

従って、(42)で示すような因数分解を生じる。

$$T_{2N} = P3 \cdot L8 \cdot L7 \cdot L6 \cdot P2 \cdot L5 \cdot L4 \cdot L3 \cdot L2 \cdot L1 \cdot P1 \quad (42) \quad 20$$

但し、 P_1 、 P_2 及び P_3 は、3つの置換マトリクスである。 L_j は、 j を1から8とすれば、8つのリフトマトリクスである。

リフトマトリクス L_3 、 L_4 及び L_5 は、補助的な変換マトリクスを備え、

これは、このケースでは、変換マトリクス C_N^{IV} それ自体である。

【0076】

式(42)から、次元 $N \times 1$ の2つの入力信号に対して整数DCTを計算することができる。 30

【0077】

式(42)は、DCT-IV変換ドメインを記述するリフトマトリクス因数分解を与えるので、そのリフトマトリクスを、ここに示すように使用して、与えられた入力信号のドメイン変換を計算することができる。

【0078】

式(42)は、次のようにして導出することができる。

【0079】

次の分解は、Wang、Zhongde著の「On Computing the Discrete Fourier and Cosine Transforms」、IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing、第AS-33巻、第4号、1985年10月、からの開示を使用して導出することができる。 40

【数31】

次の式が知られており、

$$\begin{aligned} C_N^{IV} &= (B_N)^T \cdot (P_N)^T \cdot \begin{bmatrix} C_{N/2}^H & \\ & \overline{S_{N/2}^H} \end{bmatrix} \cdot T_N \\ &= (B_N)^T \cdot (P_N)^T \cdot \begin{bmatrix} C_{N/2}^H & \\ & C_{N/2}^H \end{bmatrix} \cdot P_{DJ} \cdot T_N \end{aligned} \quad (43)$$

ここで、 $S_{N/2}^H$ は、タイプ2の離散的サイン変換の変換マトリクスを示す。

$$P_{DJ} = \begin{bmatrix} I & \\ & D \cdot J \end{bmatrix}$$

【0 0 8 0】

【数3 2】

\underline{P}_N は、次式で与えられる $N \times N$ 置換マトリクスである。

$$\underline{P}_N = \begin{bmatrix} I_{N/2} & \\ & J_{N/2} \end{bmatrix} \quad (44)$$

$$\underline{T}_N = \begin{bmatrix} \cos \frac{\pi}{4N} & & & & \sin \frac{\pi}{4N} \\ & \cos \frac{3\pi}{4N} & & & \sin \frac{3\pi}{4N} \\ & & \ddots & & \ddots \\ & & & \cos \frac{(N-1)\pi}{4N} & \sin \frac{(N-1)\pi}{4N} \\ & & & -\sin \frac{(N-1)\pi}{4N} & \cos \frac{(N-1)\pi}{4N} \\ & & & & \ddots \\ & -\sin \frac{3\pi}{4N} & & & \cos \frac{3\pi}{4N} \\ -\sin \frac{\pi}{4N} & & & & \cos \frac{\pi}{4N} \end{bmatrix}$$

及び

$$\underline{B}_N = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} \sqrt{2} & & & & \\ 1 & -1 & & & \\ 1 & 1 & & & \\ & & \ddots & & \\ & & & 1 & -1 \\ & & & 1 & 1 \\ & & & & \sqrt{2} \end{bmatrix}$$

【0 0 8 1】

10

20

30

【数3 3】

式(85)は、次の式と結合することができる。

$$C_N^{\text{IV}} = R_{PO} \cdot \begin{bmatrix} C_{N/2}^{\text{IV}} & \\ & C_{N/2}^{\text{IV}} \end{bmatrix} \cdot R_{PR} \cdot P_D \cdot P_{EO} \quad (45)$$

ここで、 P_{EO} は、偶数一奇数置換マトリクスである。

$$\underline{R}_{\text{Pr}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} I_{N/2} & I_{N/2} \\ I_{N/2} & -I_{N/2} \end{bmatrix}$$

R_{PO} は、 T_N に等しい。

$$\underline{P}_D = \begin{bmatrix} I_{\frac{N}{2}} & & \\ -\frac{2}{2} & D_{\frac{N}{2}} & \\ & & -\frac{2}{2} \end{bmatrix}$$

【0 0 8 2】

【数3 4】

10

20

転置の後に、式(45)は、次のようにコンバートされる。

$$\begin{aligned} C_N^{\text{IV}} &= (P_{EO})^T \cdot (P_D)^T \cdot R_{PR} \cdot \begin{bmatrix} C_{N/2}^{\text{IV}} & \\ & C_{N/2}^{\text{IV}} \end{bmatrix} \cdot (R_{PO})^T \\ &= (P_{EO})^T \cdot (P_D)^T \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} C_{N/2}^{\text{IV}} & C_{N/2}^{\text{IV}} \\ C_{N/2}^{\text{IV}} & -C_{N/2}^{\text{IV}} \end{bmatrix} \cdot (R_{PO})^T \end{aligned} \quad (46)$$

【0 0 8 3】

30

【数3 5】

式(43)と(46)を結合すると、次のようになる。

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} C_{N/2}^{\text{II}} & \\ & C_{N/2}^{\text{II}} \end{bmatrix} &= P_N \cdot B_N \cdot (P_{EO})^T \cdot (P_D)^T \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} C_{N/2}^{\text{IV}} & C_{N/2}^{\text{IV}} \\ C_{N/2}^{\text{IV}} & -C_{N/2}^{\text{IV}} \end{bmatrix} \cdot (R_{PO})^T \cdot T_N \cdot (P_{DJ})^T \\ &= P_3 \cdot R_2 \cdot P_2 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} C_{N/2}^{\text{IV}} & C_{N/2}^{\text{IV}} \\ C_{N/2}^{\text{IV}} & -C_{N/2}^{\text{IV}} \end{bmatrix} \cdot R_1 \cdot P_1 \end{aligned} \quad (47)$$

但し、

$$P_1 = (P_{DJ})^T$$

40

$$P_2 = (P_{EO})^T \cdot (P_D)^T = (P_D \cdot P_{EO})^T$$

$$P_3 = P_N$$

$$R_1 = (R_{PO})^T \cdot T_N$$

$$R_2 = B_N$$

式(47)から、式(42)を容易に導出することができる。

【0 0 8 4】

この実施形態では、ドメイン変換を計算するときに、 $4N$ 回の丸め演算しか必要とされ

50

ず、これについて、以下に述べる。

【0085】

ここで、各々、 $(*)$ を実数加算の回数とし、 $\mu(*)$ を実数乗算の回数とし、 $(*)$ を実数丸めの回数とする。ここに提案するInt DCTアルゴリズムの場合、次のようになる。

$$\begin{aligned}(\text{Int DCT}) &= 11N + 3 \quad (\text{DCT - IV}) \\ \mu(\text{Int DCT}) &= 9N + 3 \mu(\text{DCT - IV}) \\ (\text{Int DCT}) &= 8N\end{aligned}$$

【0086】

前記結果は、データサンプルの2つのブロックに対するものである。というのは、ここに提案するInt DCTアルゴリズムは、それらと一緒に処理するからである。従って、データサンプルの1つのブロックに対して、計算の回数が半減し、次のようになる。
10

$$\begin{aligned}_1(\text{Int DCT}) &= 5.5N + 1.5 \quad (\text{DCT - IV}) \\ \mu_1(\text{Int DCT}) &= 4.5N + 1.5 \mu(\text{DCT - IV}) \\ _1(\text{Int DCT}) &= 4N\end{aligned}$$

但し、 $_1$ 、 μ_1 及び $_1$ は、各々、1つのサンプルブロックに対する実数加算の回数、実数乗算の回数、及び実数丸めの回数である。

【0087】

DCT - IV 計算の場合には、ここに援用する参考文献「Signal Processing with Lapped Transforms」、H. S. Malvar著、マサチューセッツ州ノルウッド、アーテック・ハウス、1992年、第199-201ページ、に掲載されたFFTベースのアルゴリズムを使用することができ、これについては、
20

$$\begin{aligned}(\text{DCT - IV}) &= 1.5N \log_2 N \\ \mu(\text{DCT - IV}) &= 0.5N \log_2 N + N\end{aligned}$$

その結果、次のようになる。

$$\begin{aligned}_1(\text{Int DCT}) &= 2.25N \log_2 N + 5.5N \\ \mu_1(\text{Int DCT}) &= 0.75N \log_2 N + 6N\end{aligned}$$

【0088】

以下、時間ドメインから周波数ドメインへ及びそれとは逆にデジタル信号を変換する方法の更に別の実施形態を説明する。
30

【0089】

この実施形態では、離散的高速フーリエ変換(FFT)がドメイン変換として使用される。

【0090】

Fを、正規化されたFFTの $N \times N$ 変換マトリクスとする。

【数36】

$$\begin{aligned}F = \sqrt{\frac{1}{N}} \left[\exp\left(\frac{-j2\pi mn}{N}\right) \right] \\ m, n = 0, 1, \dots, N-1\end{aligned}\tag{48}$$

但し、Nは、変換サイズであり、m及びnは、マトリクス指數である。

【0091】

この実施形態のもとでは、次元 $N \times N$ の置換マトリクスPは、指数0又は1を含むマトリクスである。これに $N \times 1$ ベクトル(入力信号のマトリクス表示)を乗算した後、ベクトルにおけるエレメントの順序が変更される。

【0092】

この実施形態では、リフトマトリクスは、次の式の $2N \times 2N$ マトリクスとして定義される。

10

20

30

40

50

【数37】

$$L = \begin{bmatrix} P_1 & A \\ O & P_2 \end{bmatrix} \quad (49)$$

但し、 P_1 及び P_2 は、2つの置換マトリクスであり、 O は、 $N \times N$ のゼロマトリクスであり、 A は、任意の $N \times N$ マトリクスである。リフトマトリクス L については、I. ダウベッチーズ氏のここに援用する前記参照文献における 2×2 リフトステップと同様に実現される。しかしながら、上述したように、単一の変数ではなく、丸めがベクトルに適用される。 L の転置、 L^T も、リフトマトリクスであることが明らかであろう。

10

【0093】

更に、 T を $2N \times 2N$ 変換マトリクスとする。

【数38】

$$T = \begin{bmatrix} O & F \\ F & O \end{bmatrix} \quad (50)$$

【0094】

従って、変更型変換マトリクス T （従って、ドメイン変換それ自体）は、リフトマトリクス因数分解として表現することができる。

20

【数39】

$$T = \begin{bmatrix} I & O \\ -Q \cdot F & I \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -Q & F \\ O & I \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I & O \\ F & I \end{bmatrix} \quad (51)$$

但し、 I は、 $N \times N$ 恒等マトリクスであり、そして Q は、次のような $N \times N$ 置換マトリクスである。

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & O_{1 \times N-1} \\ O_{N-1 \times 1} & J \end{bmatrix} \quad (52)$$

30

そして $O_{1 \times N-1}$ 及び $O_{N-1 \times 1}$ は、各々、 $N-1$ 個のゼロの行及び列ベクトルである。

J は、次式で与えられる $(N-1) \times (N-1)$ 対抗指数マトリクスである。

$$J = \begin{bmatrix} & & 1 \\ & \ddots & 1 \\ 1 & & \end{bmatrix} \quad (53)$$

40

【0095】

式(53)において、かぎカッコ内のプランクスペースは、全てゼロのマトリクスエレメントを表わす。

【0096】

式(51)から明らかなように、リフトマトリクスの因数分解は、ここに述べる方法を使用して 2 つの $N \times 1$ 複素数ベクトルに対する整数 F F T を計算するのに使用できる。

【0097】

この実施形態のもとでは、ドメイン変換の計算は、 $3N$ 回の丸め演算しか必要とせず、これについて、以下に述べる。

(*) を実数加算の回数とする。

50

μ (*) を実数乗算の回数とする。

(*) を実数丸め演算の回数とする。

【0098】

ここに提案する Int FFT アルゴリズムの場合に、次のものが得られる。

$$(IntFFT) = 6N + 3 \quad (FFT)$$

$$\mu (IntFFT) = 3\mu (FFT)$$

$$(IntFFT) = 6N$$

【0099】

前記結果は、データサンプルの2つのブロックに対するものである。というのは、ここに提案する Int FFT アルゴリズムは、それらと一緒に処理するからである。従って、データサンプルの1つのブロックに対して、計算の回数が半減し、次のようになる。
10

$$_1 (IntFFT) = 3N + 1.5 \quad (FFT)$$

$$\mu _1 (IntFFT) = 1.5\mu (FFT)$$

$$_1 (IntFFT) = 3N$$

但し、 $_1$ 、 $\mu _1$ 及び 1 は、各々、1つのサンプルブロックに対する実数加算の回数、実数乗算の回数、及び実数丸め演算の回数である。

【0100】

FFT 計算に対して、スプリット - ラディックス FFT (SRFFT) アルゴリズムを使用することができ、これについては、
20

$$(SRFFT) = 3N \log_2 N - 3N + 4$$

$$\mu (SRFFT) = N \log_2 N - 3N + 4$$

その結果、次のようになる。

$$_1 (IntFFT) = 4.5N \log_2 N - 1.5N + 6$$

$$\mu _1 (IntFFT) = 1.5N \log_2 N - 4.5N + 6$$

【0101】

図7は、上述した DCT 変換技術及び上述した FFT ドメイン変換の変換精度を評価するのに使用される順方向及び逆方向変換コードを示す。テストは、ここに援用する「Coding of Moving Pictures and Audio: Work plan for Evaluation of Integer MDCT for FGS to Lossless Experimentation Framework」、ISO / IEC JTC 1 / SC 29 / WG 11 N 5578、Pattaya、Thailand、2003年3月、に記載された MPE G - 4 口スなしオーディオコードグループにより提案された評価規格に基づいて変換の平均2乗エラー (MSE) を測定することを含む。
30

【0102】

より詳細には、IntDCT 及び整数逆 DCT (IntIDCT) に対する MSE は、次のように表わされる。

【数40】

$$MSE = \frac{1}{K} \sum_{j=0}^{K-1} \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} e_i^2 \quad (54)$$

40

但し、エラー信号 e は、図1の場合と同様に、IntDCT については e_f 、及び IntIDCT については e_t である。Kは、評価に使用されるサンプルブロックの合計数である。

【0103】

IntFFT 及び整数逆 FFT (IntIFFT) に対する MSE は、次のように表わされる。

【数41】

$$MSE = \frac{1}{K} \sum_{j=0}^{K-1} \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \|e_i\|^2 \quad (55)$$

但し、エラー信号 e は、図1の場合と同様に、IntFFTについては e_f 、及び
IntIFFTについては e_t である。 $\|\cdot\|$ は、複素数値の規範を表わす。
評価に使用されるサンプルブロックの合計数である。

10

【0104】

両ドメイン変換の場合に、15個の異なるタイプの音楽ファイルで合計450秒が48 kHz / 16ビットテストセットに使用された。表1は、テスト結果を示す。

【0105】

表1から明らかなように、本発明のシステム及び方法を使用して生じたMSEは、非常に僅かであり、そして従来のシステムとは異なり、処理部とくサイズとは実質的に独立したものである。DCT-IVドメイン変換を参照すれば、MSEは、4096ビットまでのブロックサイズNの増加と共に僅かに増加するだけである。FFTのMSEは、いっそう良好で、4096ビットまでのブロックサイズに対して0.4の一定MSEを示す。本発明の実証された性能を、より長いブロックサイズに対する現在の能力及び増加するニーズの観点から見ると、本発明の効果が明らかとなろう。

20

【表1】

N	IntDCT-IV	IntIDCT-IV	IntFFT	IntIFFT
8	0.537	0.537	0.456	0.371
16	0.546	0.546	0.480	0.412
32	0.549	0.548	0.461	0.391
64	0.550	0.550	0.462	0.393
128	0.551	0.551	0.461	0.391
256	0.552	0.552	0.461	0.391
512	0.552	0.552	0.461	0.391
1024	0.552	0.552	0.460	0.391
2048	0.552	0.552	0.461	0.391
4096	0.553	0.552	0.461	0.391

30

【0106】

援用する参考文献

以下の文書を、参考としてここに援用する。

H.S. Malvar著、「Signal Processing with Lapped Transforms」、Artech House、1992年；

R. Geiger, T. Sporer, J. Koller, K. Brandenburg著、「Audio Coding based on Integer Transforms」、AES第111回コンベンション、米国、ニューヨーク、2001年9月；

Wang, Zhongde著、「On Computing the Discrete Fourier and Cosine Transforms」、IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing、第ASSP-33巻、第4号、1985年10月；

I. Daubechies及びW. Sweldens著、「Factoring wavelet transforms into lifting steps」、Tech. Report, Bell Laboratories, Lucent Technologies、1996年；

S. Oraintara, Y. J. Chen及びT. Q. Nguyen著、「Integer fast Fourier transform」、IEEE Trans. Signal Processing、第50巻、第3号、2002年3月、第607-618ページ；

40

50

P.Hao及びQ. Shi著、「Matrix factorization for reversible integer mapping」、IEE E Trans. Signal Processing、第49巻、第10号、2001年10月、第2314-2324ページ；

G.Plonka及びM.Tasch著、「Invertible integer DCT algorithms」、Appl.Comput. Harmon. Anal. 12: 70-88、2003年；

Y.H. Zeng、L. Z.Cheng、G. A. Bi及びAlex C. Kot著、「Integer DCTs and fast algorithms」、IEEE Trans. Signal Processing、第49巻、第11号、2001年11月、第2774-2782ページ；

J.Wang, J. Sun及びS.Yu著、「1-D and 2-D transforms from integers to integers」、in Proc. Int. Conf. Acoustics, Speech and Signal Processing、香港、2003年10月、第II卷、第549-552ページ；及び

「Coding of Moving Pictures and Audio: Work plan for Evaluation of Integer MDCT for FGSto Lossless Experimentation Framework」、ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11 N5578, Pattaya, Thailand、2003年3月。

【図面の簡単な説明】

【0107】

【図1】本発明の実施形態によるオーディオエンコーダの構成を示す図である。

【図2】図1に示すオーディオコーダに対応する、本発明の実施形態によるオーディオデコーダの構成を示す図である。

【図3】本発明による方法の実施形態を示すフローチャートである。

【図4】DCT-IVを変換関数として使用する本発明による方法の実施形態を示す図である。

【図5】図4に示す本発明の方法の実施形態に基づく逆変換のアルゴリズムを示す図である。

【図6】本発明の実施形態によるイメージアーカイブシステムの構成を示す図である。

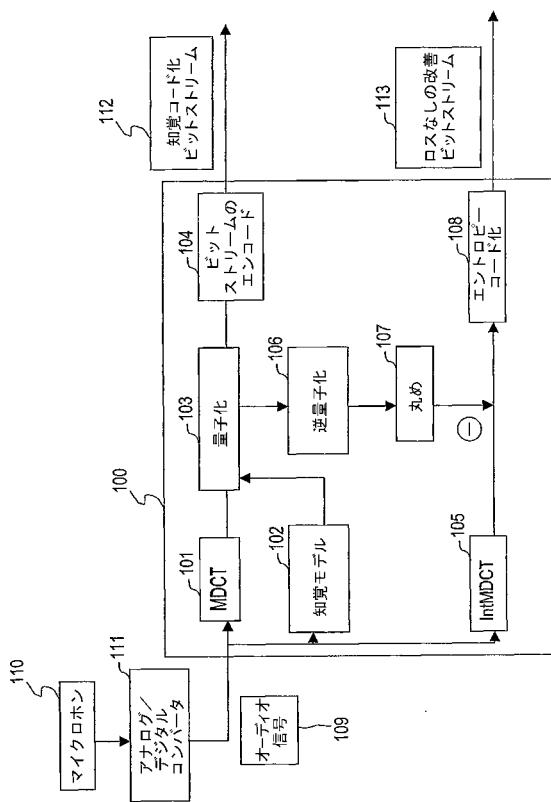
【図7】ここに提案するシステム及び方法の性能を評価するのに使用される順方向及び逆方向変換コーダを示す図である。

【符号の説明】

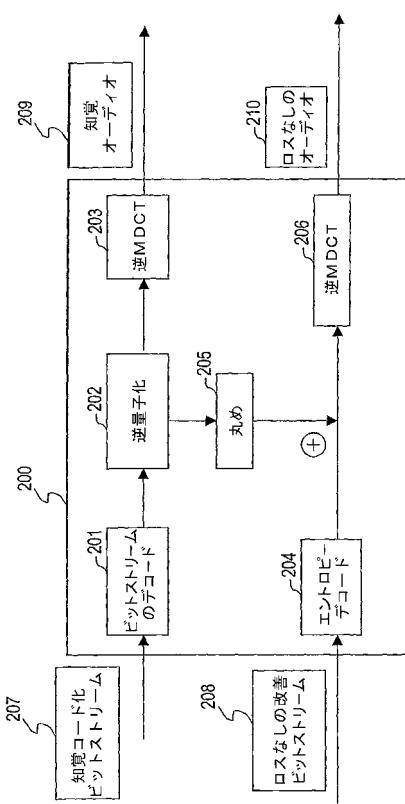
【0108】

100 . . . オーディオエンコーダ、101 . . . 変更型離散的コサイン変換(MDCT)、102 . . . 知覚モジュール、103 . . . 量子化装置、104 . . . ビットストリームエンコーダ、105 . . . IntMDCT装置、106 . . . 逆量子化装置、107 . . . 丸めユニット、108 . . . エントロピーコーダ、109 . . . オーディオ信号、110 . . . マイクロホン、111 . . . アナログ/デジタルコンバータ、112 . . . 知覚コード化出力ビットストリーム、113 . . . ロスなしの改善ビットストリーム、200 . . . オーディオでコーダ、201 . . . ビットストリームデコーダ、202 . . . 逆量子化装置、203 . . . 逆MDCT装置、204 . . . エントロピーデコーダ、205 . . . 丸め装置、206 . . . 逆IntMDCT装置、207 . . . 知覚コード化ビットストリーム、208 . . . ロスなしの改善ビットストリーム、209 . . . 再構成された知覚コード化オーディオ信号、301 . . . 第1リフトステージ、302 . . . 第2リフトステージ、303 . . . 第3リフトステージ

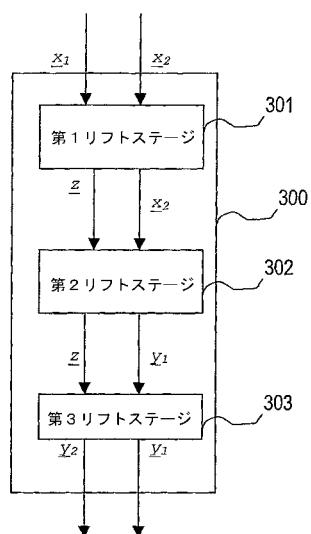
【図1】



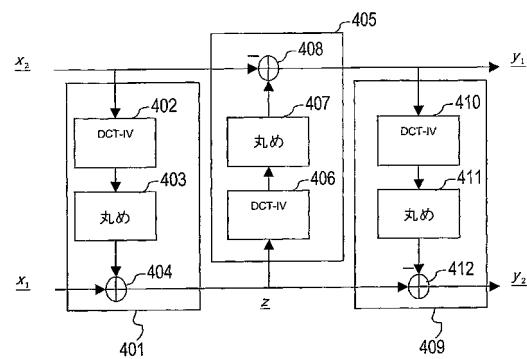
【図2】



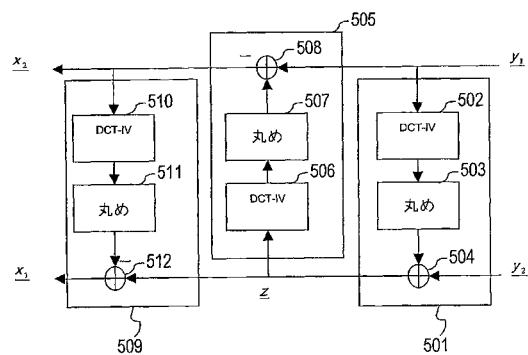
【図3】



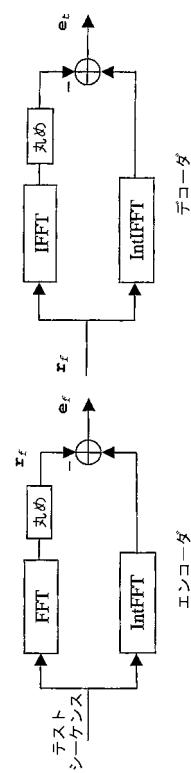
【図4】



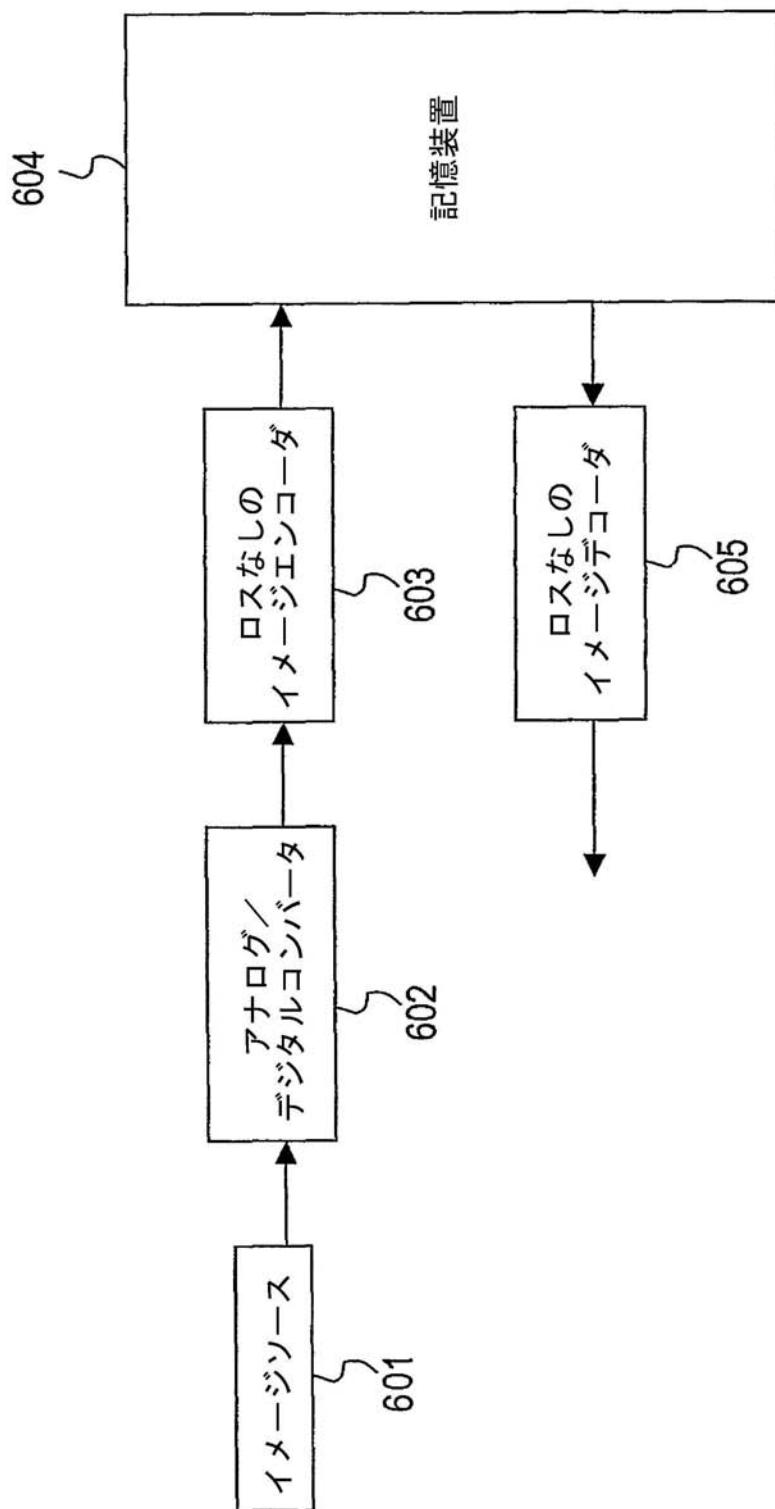
【図5】



【図7】



【図6】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/SG2004/000121
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
Int. Cl. ⁷ : G06F 17/14		
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)		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) WPAT, ESP@CE, USPTO, INTERNET and Keywords (DCT, DWT, DFT, DST, matrix) and similar terms.		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
E, A	EP 1406179 A1 (TECHNO MATHEMATICAL CO., LTD.) 7 APRIL 2004 See whole document	1 - 14
A	US 2003/0014136 A1 (WANG et al.) 16 January 2003 See whole document	1 - 14
A	DARLINGTON D. et al., DIGITAL AUDIO EFFECTS IN THE WAVELET DOMAIN [online], Proc. of the 5 th Int. Conference on Digital Audio Effects (DAFX-02), Hamburg, Germany, September 26-28 2002, [Retrieved on 7 June 2004]. Retrieved from The Internet:<URL: http://www.unibw-hamburg.de/EWEB/ANT/dafx2002/papers/DAFX02_Darlington_Daudet_Sandler_wavelet.pdf See whole document	1 - 14
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C <input checked="" type="checkbox"/> 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 "B" 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 another 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		
Date of the actual completion of the international search 28 June 2004	Date of mailing of the international search report 8 JUL 2004	
Name and mailing address of the ISA/AU AUSTRALIAN PATENT OFFICE PO BOX 200, WODEN ACT 2606, AUSTRALIA E-mail address: pct@ipaustralia.gov.au Facsimile No. (02) 6285 3929	Authorized officer R.W.J. FINZI Telephone No : (02) 6283 2213	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/SG2004/000121
C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2002/0012470 A1 (LUNA et al.) 31 January 2002 See whole document	1 - 14
A	WO 2000/055757 A1 (THE JOHNS HOPKINS UNIVERSITY) 21 September 2000 See whole document	1 - 14
A	US 5999656 A (ZANDI et al.) 7 December 1999 See whole document	1 - 14
A	GB 2325368 A (RICOH CO., LTD.) 18 November 1998 See whole document	1 - 14
A	US 5523847 (FEIG et al.) 4 June 1996 See whole document	1 - 14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/SG2004/000121

This Annex lists the known "A" publication level patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned international search report. The Australian Patent Office is in no way liable for these particulars which are merely given for the purpose of information.

Patent Document Cited in Search Report				Patent Family Member								
EP	1406179	JP	2003030174	WO	03009167							
US	2002014136	CA	2354487	CN	1335214	GB 2365417						
		HK	1041247									
US	2002012470											
WO	0055757	AU	37519/00	EP	1311975	FR 2801013						
US	5999656	US	6216145	US	6219458							
GB	2325368	DE	19819198	JP	10322219	US 6058215						
		US	6195466	US	2001031096	US 2002009235						
US	5523847											
Due to data integration issues this family listing may not include 10 digit Australian applications filed since May 2001.												
END OF ANNEX												

フロントページの続き

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

(72)発明者 リン , シャオ
シンガポール 650117 , ナンバー 18 - 238 , バト バトック ウエスト アヴェニ
ュー 6 , ビーエルケー 117

(72)発明者 ラハルジヤ , スザント
シンガポール 579720 , ナンバー 22 - 02 , ブラッデル ヒル 10エー

(72)発明者 ユー , ロンシャン
シンガポール 640168 , ナンバー 07 - 621 , ブーン レイ ドライヴ , ビーエル
ケー 168

F ターム(参考) 5B056 BB11 BB13 BB82
5J064 BA09 BA16 BC02 BC16