

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4208382号
(P4208382)

(45) 発行日 平成21年1月14日(2009.1.14)

(24) 登録日 平成20年10月31日(2008.10.31)

(51) Int.Cl.	F 1			
H04N 1/387	(2006.01)	H04N	1/387	
G06T 1/00	(2006.01)	G06T	1/00	500B
H04N 7/30	(2006.01)	H04N	7/133	Z

請求項の数 5 外国語出願 (全 38 頁)

(21) 出願番号	特願2000-106377 (P2000-106377)
(22) 出願日	平成12年4月7日 (2000.4.7)
(65) 公開番号	特開2000-350014 (P2000-350014A)
(43) 公開日	平成12年12月15日 (2000.12.15)
審査請求日	平成19年4月6日 (2007.4.6)
(31) 優先権主張番号	9904461
(32) 優先日	平成11年4月9日 (1999.4.9)
(33) 優先権主張国	フランス (FR)
(31) 優先権主張番号	9904462
(32) 優先日	平成11年4月9日 (1999.4.9)
(33) 優先権主張国	フランス (FR)
(31) 優先権主張番号	9908187
(32) 優先日	平成11年6月25日 (1999.6.25)
(33) 優先権主張国	フランス (FR)

(73) 特許権者	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(74) 代理人	100076428 弁理士 大塚 康徳
(74) 代理人	100112508 弁理士 高柳 司郎
(74) 代理人	100116894 弁理士 木村 秀二
(74) 代理人	100115071 弁理士 大塚 康弘

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】画像処理方法及び画像処理装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

分割手段が、画像を分割して分割領域を設定する分割ステップと、
決定手段が、前記分割ステップで分割した前記分割領域の数により、前記画像の画像データに挿入される透かし情報により表現される情報の最大ビット数を決定する決定ステップと、
を含み、

前記分割ステップでは、

透かし情報を前記分割領域毎に挿入した上で圧縮による歪みを印加したデータについて
、挿入した各透かし情報の検出可能性が規定値以上となる範囲で、前記画像を4分木分割
することを特徴とする画像処理方法。

【請求項 2】

更に、表示手段が、前記決定ステップにおいて決定された最大ビット数を表示するステップを含むことを特徴とする請求項1に記載の画像処理方法。

【請求項 3】

画像を分割して分割領域を設定する分割手段と、
前記分割手段が分割した前記分割領域の数により、前記画像の画像データに挿入される
透かし情報により表現される情報の最大ビット数を決定する決定手段と、
を備え、

前記分割手段は、

透かし情報を前記分割領域毎に挿入した上で圧縮による歪みを印加したデータについて、挿入した各透かし情報の検出可能性が規定値以上となる範囲で、前記画像を4分木分割することを特徴とする画像処理装置。

【請求項4】

更に、前記決定手段によって決定された最大ビット数を表示する手段を有することを特徴とする請求項3に記載の画像処理装置。

【請求項5】

請求項1または2のいずれかに記載の画像処理方法をコンピュータに実行させるプログラムを記憶した記憶媒体。

【発明の詳細な説明】

10

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は画像に透かし情報を挿入する技術に関する。

【0002】

【従来の技術】

デジタルデータに透かしを入れることは、例えばデータと著作権情報を関連付けることによって、これらのデータを保護することを可能にする。原則として、透かしを入れることは、追加情報をデータとして符号化することに例えられる消えない透かしをデジタルデータに挿入することから成る。この追加情報を復号することは、挿入されている著作権情報をチェックすることを可能にする。

20

【0003】

この挿入される透かしは、結果的に、デジタル画像に印加される特定の歪みに対して非感知的かつ堅固であり、しかも高い信頼度で検出可能でなくてはならない。従来、デジタル画像に透かし信号を挿入する通常の技法は、デジタル画像を表す係数の少なくとも1つの部分集合が、重み付け係数を使用したこの線形モデルに従って変調される線形変調モデルを使用することから成る。

【0004】

デジタル画像の少なくとも一部分を表す係数の集合を $X = \{ X_i, 1 \leq i \leq N \}$ で表し、サイズ $P \times N$ の透かしを $w = \{ w_j, 1 \leq j \leq P \}$ で表すことにより、分布が既知であつて平均がゼロの疑似ランダム信号の線形の挿入式を次に示す：

30

$$X'_j = X_j + b_j w_j, \text{ 但し, } 1 \leq j \leq P$$

ここに、 $\{ X_j, 1 \leq j \leq P \}$ は係数 X の集合の部分集合であり、 b は1個の情報ビットであり、 b_j は変調振幅とも呼ばれる重み付け係数である。

【0005】

従つて、透かしの検出は、疑似ランダム数列 w が係数の集合内に挿入されているかどうかを検出することにある。この検出は、元の画像を用いずに実行され、正しい検出の確率算定を可能にする標準化された統計的テストに基づくことが可能である。ディテクタからの応答はバイナリ（イエス／ノー）であるので、この種の挿入技法は透かしの挿入により1つの単一情報を挿入することを可能にする。

【0006】

40

比較的多数の情報ビットをデジタル画像に挿入するためには、特に、例えば当該画像の所有者または著者の名前またはアドレスを表示するQビットのコード1つが必要とされる場合には、挿入されるべき情報ビットが存在する度毎に、既に述べた挿入方法を繰り返すことが必要である。一般に、2進信号を挿入するには、 b_1 か b_{-1} のいずれかが用いられる。

【0007】

他の方法において、Q個の係数部分集合を選定し、これらの部分集合の変調がQ個の透かしを選択することによって実行されなければならないものとする。係数の個別部分集合は、変調操作が相互に重なることのないように選定されることが好ましい。この場合、変調操作が相互に重なると、検出を妨害するか、或いは、面倒な視覚的効果を引き起こすこと

50

があり得る。従って、前記の選択は、デジタル画像を表す係数をQ個の個別部分集合へ分割する方法を選定する問題を意味する。ここに、各部分集合が1つの情報ビットを担持する。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

既知の多数の方法は、スペクトル拡張によって所与のサイズの透かし信号を挿入する技法を使用する。これらの方法については、例えば、I.J.COXらによる「Secure spread spectrum watermarking for multimedia」(議事録、I C I P、243 - 246頁、1996年9月)、F.HARTUNGらによる「Digital watermarking of raw and compressed video」(議事録、S P I E 2952)、「Digital Compression Technologies and Systems for Video Communication」(205 - 213頁、1996年10月)に記載済みである。これらの方法の欠点は、各々のブロックに実施される変調の検出可能性については一切保証なしに、画像を固定サイズのブロックへ随意に分割する技法が用いられることである。

【0009】

本発明の目的は、画像に挿入する透かし情報の検出可能性を保証することにある。

【0060】

【課題を解決するための手段】

本発明の画像処理方法は、分割手段が、画像を分割して分割領域を設定する分割ステップと、決定手段が、前記分割ステップで分割した前記分割領域の数により、前記画像の画像データに挿入される透かし情報により表現される情報の最大ビット数を決定する決定ステップと、を含み、前記分割ステップでは、透かし情報を前記分割領域毎に挿入した上で圧縮による歪みを印加したデータについて、挿入した各透かし情報の検出可能性が規定値以上となる範囲で、前記画像を4分木分割することを特徴とする。

【0063】

また、本発明の画像処理装置は、画像を分割して分割領域を設定する分割手段と、前記分割手段が分割した前記分割領域の数により、前記画像の画像データに挿入される透かし情報により表現される情報の最大ビット数を決定する決定手段と、を備え、前記分割手段は、透かし情報を前記分割領域毎に挿入した上で圧縮による歪みを印加したデータについて、挿入した各透かし情報の検出可能性が規定値以上となる範囲で、前記画像を4分木分割することを特徴とする。

【0096】

また、本発明によれば、上記画像処理方法をコンピュータに実行させるプログラムを記憶した記憶媒体が提供される。

【0097】

また、本発明の他の特殊性および利点は本発明に関する以下の記述からも明らかになるはずである。添付図面において、限定的意味をもつことのない例を示すこととする。

【0098】

【発明の実施の形態】

先ずデジタル画像Iを表す1組の係数への透かし挿入に関する図1を参照して説明する。

【0099】

このデジタル画像Iは、空間ドメイン或いは変換ドメインのどちらかにおける1組の係数で表すことができる。後者の場合における係数はハイブリッド係数、即ち、空間ドメインおよび周波数ドメインの両方に所在する係数である。この種の画像表現は、例えば離散型ウェーブレット分解のような画像の空間 周波数分解から生じるサブバンドを用いて求められる。

【0100】

この場合、透かしの挿入は、デジタル画像Iの空間 周波数変換によって得られる画像の空間 周波数表現の係数の変調により、拡張スペクトル挿入技法を介して達成される。

【0101】

一例として、図2において図式的に表される離散型ウェーブレット分解Sを用いることが

10

20

30

40

50

できる。この空間周波数分解は、画像処理の分野ではよく知られているので、その原理だけを以下に復習する。前記分解は、画像を周波数のサブバンドに分割し、ハイブリッド係数、即ち、この場合の平面内である空間内に同様に位置するスペクトル係数を得ることを可能にする。

【0102】

画像 I は一連のデジタルサンプルから成る。画像 I は、例えば一連のバイトによって表され、各バイト値は、256個のグレーレベルをもつ黑白画像であっても差し支えない画像 I の1つの画素を表す。

【0103】

多重解像度スペクトル分解手段は、それぞれ2によるディバイダと関連する1組の分析フィルタによって形成されるサブバンド分解回路または分析回路から成る。この分解回路は、2つの方向における画像信号 I を、高空間周波数および低周波数のサブバンドに濾波する。回路は、幾つかの解像度レベルに従って画像 I をサブバンドへ分類する幾つかの連続した分析ブロックを含む。10

【0104】

一例として、この場合、画像 I は、分解レベル d が3に等しいサブバンドに分類されるものとする。

【0105】

第1分析ブロックは、画像信号 I を受け取り、2つのそれぞれローパス及びハイパスデジタルフィルタを経て当該信号を第1方向、例えば水平方向に濾波する。 2 によるディバイダを経てパスした後で、結果として得られる濾波済み信号は、次に、2つのそれぞれローパス及びハイパスフィルタにより、第2方向、例えば垂直方向に濾波される。各信号は、再び、 2 によるディバイダを経てパスされる。従って、4つのサブバンド $L_L 1$ 、 $L_H 1$ 、 $H_L 1$ 、 $H_H 1$ が、分解における最高解像度をもってこの第1分析ブロックの出力で得られる。20

【0106】

サブバンド $L_L 1$ は、画像信号 I の2つの方向における低周波成分を含む。サブバンド $L_H 1$ は、画像信号 I の第1方向に沿った低周波成分および第2方向に沿った高周波成分を含む。サブバンド $H_L 1$ は、第1方向に沿った高周波成分および第2方向に沿った低周波成分を含む。最後に、サブバンド $H_H 1$ は、2つの方向に沿った高周波成分を含む。30

【0107】

次に、第2分析ブロックは、同じ方法で、分解における中間レベル解像度もつ4つのサブバンド $L_L 2$ 、 $L_H 2$ 、 $H_L 2$ 、 $H_H 2$ を供給するように低周波 $L_L 1$ のサブバンドを濾波する。次に第3分析ブロックは、4つのサブバンド $L_L 3$ 、 $L_H 3$ 、 $H_L 3$ 、 $H_H 3$ を供給するように低周波 $L_L 2$ のサブバンドを濾波する。この例においては、最後に、この分解における最低解像度をもつ4つのサブバンド $L_L 4$ 、 $L_H 4$ 、 $H_L 4$ 、 $H_H 4$ を供給するために、サブバンド $L_L 3$ が第4分析ユニットによって分析される。

【0108】

従って、13のサブバンドと4つの解像度レベルが得られる。明らかなように、解像度レベルの個数、従ってサブバンドの個数は異なるように選択可能である。明らかなように、例えば離散型フーリエ変換、離散型コサイン変換、または、フーリエ - メリーン変換のような他のタイプのスペクトル変換も使用できる。40

【0109】

一般的な方法において、その中に透かしを挿入可能な1組のスペクトル係数を形成することによって周波数サブバンドが得られる。ここでは、透かしを挿入するために、最高解像度 $H_H 1$ の高周波サブバンドを考察することができる。従って、このサブバンド $H_H 1$ は、例えば、サイズが N に等しい1組の係数 X を供給する。

【0110】

デジタル画像 I を表す係数の集合を $X = \{ X_i, 1 \leq i \leq N \}$ とする。明らかなように、デジタル画像 I の一部のみを表すこの集合 X の係数の部分集合を考察することが可能なは50

ずである。

【0111】

この係数 X の集合に透かしを挿入するための一技法は、この疑似ランダム信号をスペクトル分析または統計的分析によって検出不可能にするように、そのスペクトルを拡大することによって、疑似ランダム信号を挿入することである。

【0112】

$w = \{ w_j, 1 \leq j \leq P \}$ を、サイズ $P - N$ の透かし、即ち、超関数が既知であって平均がゼロの疑似ランダム信号であるものとする。最も広範囲にわたる超関数は2進超関数 $\{-1, 1\}$ 、 $[-1, 1]$ 全域に渡る超関数、および、中心正規化ガウス超関数 $N(0, 1)$ である。

10

【0113】

線形挿入式を次に示す。

【0114】

$X'_j = X_j + b_j w_j$ 、但し、 $1 \leq j \leq P$

ここに、 $\{ X_j, 1 \leq j \leq P \}$ は係数 X の集合の部分集合であり、 b は情報ビットであり、 b_j は、変調振幅振幅とも呼ばれる重み付け係数である。集合 $\{ j, 1 \leq j \leq P \}$ も同様に情報ビット挿入キャリヤである。

【0115】

幾つかの情報ビットから形成可能な信号を挿入するために、領域の個数またはこの集合内の利用可能な挿入キャリヤの個数を決定するように係数の集合を分割することは価値あることである。それを実施するために、本発明にしたがった挿入デバイス10は分割11および挿入手段12を決定するデバイスを含む。

20

【0116】

分割11を決定するためのデバイスは、挿入された透かしの検出可能性の関数として、係数の集合の適応分割を実施するために適する。適応分割を実施するこの方法は、不可視性およびおよび適正検出確率に関してそれぞれ設定された判定基準を同時に満足させるように、当該透かしの情報ビットを挿入するために変調される係数の個数を変化させることにある。

【0117】

先ず、第図3を参照しながら、画像に挿入される情報ビットの個数を最大化するように求めた領域の個数を最大化することを可能にするデジタル画像の区分けされた領域への分割を決定する方法について説明することとする。

30

【0118】

空間領域または変換領域のどちらであっても、すなわち、空間領域および周波数領域の両方における係数の集合によるデジタル画像の表現について考察する。尤も、変換領域の場合には当該係数はハイブリッドである。この種の画像表現は、例えば、画像の空間と周波数分解から発散するサブバンドを用いることによって、既に述べた離散型ウェーブレット分解として求められる。

【0119】

画像の分割は各領域の係数の変調によって透かし信号を挿入するために実施される。本発明によれば、この領域への分割は、この領域へ挿入される情報ビットの検出可能性の判定基準の関数として適応分割することによって実施される。検出可能性の判定基準の拘束条件下において求められる領域の個数は、デジタル画像の最大容量を定義することを可能にする。この最大容量は、検出可能性の判定基準に適合するという条件付きでデジタル画像へ挿入可能な情報ビットの個数に対応する。

40

【0120】

初めに、ステップE100において、この容量 Q は0に初期化され、開始点は、ここではサイズ P の単一領域 R に制限される初期分割である。当然のことながら、初期分割は異なることが可能であり、サイズが異なる可能性のある幾つかの区分けられた領域を既に含んでいる。この初期領域 R のサイズ P は、係数の統計的に有意なサンプルの最小サイズに対

50

応する P_{start} で表される最小サイズよりも大きいと仮定する。一般に、この最小のサイズは 100 に固定できる。この初期領域 R は、検討中の係数表現の集合、または、この表現の部分集合で構成可能である。

【0121】

次に、テストステップ E101 は、初期領域 R に挿入された透かし信号の検出可能性を検査する。この検出可能性検査は初期領域 R の係数に関する実際の変調および検出操作によって実施される。実際には、画像に直接透かししないように、初期領域 R の全ての係数がワーキングメモリにコピーされる。

【0122】

次に、初期領域 R の全ての係数が、透かし信号を挿入することによって変調される。この変調を実施するためには、従来と同様に、次の手順に従う：

初期領域が 1 つの係数集合から成る場合：

$$X : \{ X_i, i = 1, \dots, P \}$$

通常、次に示すタイプの線形変調が用いられる：

$$X_i^* = X_i \pm v_i W_i, \text{ 但し, } i = 1, \dots, P$$

ここに、 $W : \{ W_i, i = 1, \dots, P \}$ は、既知分布と平均ゼロの疑似ランダム数列として選ばれた透かし信号である。

【0123】

変調の \pm 符号値は、挿入されるべき 2 進値に依存する：例えば、 \pm 符号値は値 0 に対応し、+ 符号値は値 1 に対応する。一例として、インタバ尔斯 [-1, 1] をもつ均一則に従う疑似ランダム数列を選定することが可能である。

【0124】

当然のことながら、既知分布と平均ゼロのあらゆる疑似ランダム透かし付けが適当であり得る。透かし信号 W として最も一般的な分布は、前述の均一分布 [-1, 1] は別として、2 進分布 { -1, 1 }、及び、中心標準化ガウス分布 $N(0, 1)$ である。変調は、例えば、疑似ランダム数列 W を再現するための核を特徴付けるシークレットキーによって随意に保護可能である。

【0125】

v_i 項は係数 X_i へ適用された変調振幅または重み付け係数である。一定の重み付け係数は、領域 R の全ての係数に対して、例えば、あらゆる i に対して $v_i = v$ のように使用可能である。この場合、重み付け係数 v の値は、前記デジタル画像を表す係数の集合の変調に対する透かし信号の非感知性を保証する最大値に等しい。

【0126】

この最大値 v （最小可知差異、または、JND 振幅と称する）は、実際に、透かし信号 W の数列の長さと共に、従って、変調可能な係数の個数と共に減少する。デジタル画像表現の全ての係数が変調用に用いられる場合に容量 Q が最大化されるものとすれば、画像を表す係数の集合数に等しい個数の変調可能な係数に関する変調 JND 振幅を決定することが賢明である。

【0127】

この最大の値 v 、または、JND 振幅は、これを超過すると復元された透かし入りの画像における変化を観察者が視覚的に検出可能であるような前述の線形挿入モデルにおいて使用可能な最大変調振幅に対応する。

【0128】

この JND 振幅を決定するためには、異なるパラメータ、即ち、用いられる空間 周波数変換 S を介する号の表現、挿入のために考察されるサブバンド、透かし信号数列 W の分布のタイプ、および、数列 W の長さ P に基づいて透かし操作の可視性を予測することを可能にする可視性のモデルを使用することが可能である。

【0129】

WATSON によって開発され、「Visibility of wavelet quantization noise」(A. B. WATSON 等著、IEEE Transaction Image Process 6 (8))

10

20

30

40

50

、 1 1 6 4 - 1 1 7 5 、 1 9 9 7 年) と題する論文に記載の単純モデルは、 1 つの単一被変調係数の測定値から変調済み係数の集合の可視性予測を可能にする。このモデルの詳細な記述に関してこの文書を有利に参照することができる。

【 0 1 3 0 】

従って、透かし信号 W の長さ P 、使用する変換 S のタイプ、及び、挿入に関して考慮されるべき (基底) サブバンドに依存するが、透かしを入れるべき全ての係数 X から独立した関数を利用する。

【 0 1 3 1 】

用いられるこの計算関数を次に示す :

【 0 1 3 2 】

【 数 8 】

$$\alpha_v(P, S, w) = \frac{\alpha_{base}(S)}{P^{1/\beta} (E[|w|^\beta])^{1/\beta}}$$

ここに、 $\alpha_{base}(S)$ は、このサブバンドの 1 つの単一係数の変調に際して非感知性を保証する最大重み付け係数の使用する変換 S および挿入に関して考慮されるべき (基底) サブバンドに依存する基底値であり、

は 2 より厳密に大きく、 $E[|w|]$ は、関数 $|w|$ の数学的期待値である。

【 0 1 3 3 】

基底値 $\alpha_{base}(S)$ は、ウェーブレット分解における係数の各サブバンドに対して、 1 つの単一精神視覚測定から一度だけ全てに関して測定可能であり、視覚的振幅表内に記憶可能である。 α はミンコフスキーやの累乗の指數であり、例えば 5 に選定可能である。数学的期待 $E[|w|]$ は関数 $|w|$ の平均推定に対応する。

【 0 1 3 4 】

この可視性モデルは、それ自体に透かしが入れられる画像 I を考慮せず、従って、それから独立している。これは、画像 I が均一であると見なすことに等価である。これは、画像信号の存在がそれ自体の変調を視覚的にマスクすることを可能にするので、「最悪状態」モデルの問題である。

【 0 1 3 5 】

従って、検討中のサブバンドの全ての変調可能係数の集合数に等しい透かし信号 W の長さ P に関して JND 振幅が算定可能である。ただし、画像信号自体が変調をマスクすることを可能にするという事実を利用することは賢明である。

【 0 1 3 6 】

従って、この例において、変調されるべき各係数 X_i に関して、式 $x_i = k_i \cdot v$ の法則に従った重み付け係数が用いられる。ここに、 k_i は領域 R 上で考察される係数の近くに位置する係数に依存する変調係数であり、 v は重み付け係数の最大 JND 値に等しい。

【 0 1 3 7 】

従って、各係数は局所内容に従って変調され、検出可能性の利益が得られる程度まで変調振幅を局所的に増大することを可能にする。

【 0 1 3 8 】

次に、検査ステップ E 1 0 1 において検出可能性を検査するために、検出可能性の範囲が検出可能性の判定基準から算定され、検出可能性の範囲と、 Tc で表される所定のしきい値とを比較することによって、この検出可能性の判定基準が検査される。

【 0 1 3 9 】

全ての変調された係数 X^* とマーキング信号 W との間の相関関係 C (X^* , W) が一般的に算定され、相関関係 (X^* , W) 算定結果が所定のしきい値 Tc より大きい場合に、画像の透かし入れが実際に実施されたかどうかが決定される。

【 0 1 4 0 】

例えば、I.PITASによる「A method for signature casting on digital images」(議事

10

20

30

40

50

録：I C I P、215 - 218頁、1996年9月)に記載されている標準化された統計的検査を検出のために使用できる。次に、検出は確率に関して特徴付けられる。従って、固定した検出確率レベル、例えば99.95%に対応するしきい値Tcを選定することが可能である。

【0141】

従って、固定した重み付け係数 α をもつサイズPの係数X集合を定義する所与領域Rに関して検出可能性の範囲を算定し、この領域R上の検出可能性の判定基準が妥当であるかどうかを検査するために算定結果としきい値Tcとを比較する。

【0142】

検出可能性の判定基準は、実際には、領域RのサイズP、必要とされる検出確率に関する検出しきい値Tc、透かし信号W、領域Rにおいて変調されるべき係数Xの分散 σ_x^2 および、上述の線形モデルに基づいて係数Xを変調するために使用する重み付け係数 α に依存する理論上の関数である。10

【0143】

従って、例えば、標準化された仮説テスト及び領域Rの全ての係数 X_i に関する α に等しく、一定である値の重み付け係数 α による検出に関して、最小長さ $P_{min}(X)$ は、次の関数によって定義される。

【0144】

【数9】

$$P_{min}(X) = \left(\frac{2Tc}{a\alpha} \right)^2 [b\sigma_x^2 + c\alpha^2 + d]$$

20

ここに、a、b、c、dは定数に一致させることが可能である。信号が非静止的、即ち、分散 σ_x^2 が空間の関数であり、透かし信号によって生成された変調長さPを画像信号に適応させることはが実際に必要である。

【0145】

復号に際して、係数Xの集合は変調され、この関数も、挿入された透かしの分散 σ_w^2 に依存する。

【0146】

更に、変調の後で画像に生じる可能性のある、例えば画像の圧縮に起因するあらゆる歪に対処することが必要である。30

【0147】

このノイズが加法的であって係数と相関性がないと見なされる場合には、変調後の前記係数へ適応されるあらゆる歪みをモデル化するこの加法的ノイズの分散 σ_q^2 に依存するモデルを使用することが可能である。

【0148】

従って、所与の重み付け係数 α に対して、挿入される透かし信号、復号に際して必要な検出確率の関数として固定された検出しきい値Td、および、選定された係数Xの一集合の非可視性を保証することを可能にすることは、この場合にも挿入される透かし信号の検出可能性を保証することを可能にする最小変調長さ $P_{min}(X)$ に対応する。40

【0149】

復号に際し、標準化された仮説検査による検出に関して、この最小長さ $P_{min}(X)$ は、次のように関数によって定義される

【0150】

【数10】

$$P_{min}(X) = \left(\frac{2Td}{a\alpha} \right)^2 [b(\sigma_x^2 + \alpha^2\sigma_w^2 + \sigma_q^2) + c\alpha^2 + d]$$

40

50

ここに、a、b、c、dは定数に同一化され得る。

【0151】

従って、符号化と復号に際して同じ検出可能性検査が用いられる場合には、当該画像の復号に際して同じ分割を見付けることが出来るようにするために復号時に使用するTdより大きい符号化時のしきい値Tcを選定することが必要である。

【0152】

実際には、復号に際して用いようとするしきい値Tdは、例えば、検出が標準化された仮説検査によって行われる場合に必要とされる検出確率レベルに固定され、透かし信号Wにおける分散、および、画像が受ける後続処理の影響を予測するように演繹的に固定された加法的ノイズの分散を考慮するために、符号化に際して一層高いしきい値Tcが選定される。10

【0153】

従って、この条件は、透かし信号Wの挿入時に実施される分割をデコーダに伝達することなしに、デジタル画像の分割を拘束する同じ検出可能性の判定基準を見付けることを可能にする。

【0154】

一例としてこの実施形態においては、デジタル画像の反復的分割による分割が実施される。従って、ステップE101においては、算定された検出振幅が所定のしきい値Tc以上である場合に、検出可能性の判定基準が満足させられることが考察される。20

【0155】

検出可能性の判定基準が満足させられない場合には、一般に検出確率は領域のサイズと共に減少するので、サイズが更に小さい初期領域Rの小領域(サブリージョン)においても検出可能性の判定基準が満足させられない可能性が大きいはずである。分割を決定する方法を停止するステップE102は、画像の反復的分割過程の停止を可能にする。

【0156】

初期領域Rにおける挿入が可能であると判断されない場合には、従って、画像の容量Qはゼロである。一方、検出可能性の判定基準が満足させられている、即ち、検出振幅がしきい値Tc以上である場合には、初期領域Rの小領域に対しても検出可能性の判定基準が満足させられていることが可能である。30

【0157】

従って、検出可能性の判定基準が満足させられている限り、容量Qを増大するために領域Rの分割を試行することは賢明である。勿論、領域RのサイズPjの小領域Rjへの空間的分割を実施することが可能な幾つかの手段がある。ここに、j=1, . . . , Kである。この例においては、図4に示すような、4分木が選定されている。この区分方法は各領域を同一サイズの4個の小領域に分割することから成る。

【0158】

従って、一例として図2に示すように、初期サイズNのデジタル画像は、サイズN/4の2個の小領域R5とR6、サイズN/16の7個の小領域R1、R2、R3、R4、R7、R8、R9、及び、サイズN/64の4個の小領域R10、R11、R12、R13に分割される。40

【0159】

従って、区分ステップE103において、領域RはサイズPjの小領域Rj、j=1, . . . , Kに分割される。4分木に区分する場合には、K=4及びPj=P/4である。

【0160】

ステップE104において、指数j(例えばj=1)の第1小領域が考察され、Gqで表される容量における潜在的利得の値は-1に初期化される。分割決定方法は、領域RjのサイズPjを、既に述べたように前記領域に挿入される透かし信号の検出に関して統計的に有意なサンプルの最小サイズに対応する最小サイズPstartと比較する前のステップE105を含む。

【0161】

ステップ E 108において領域 R_j のサイズ P_j がこの最小サイズ P_{start} 未満である場合には、後続小領域 R_{j+1} を処理するために、指数 $J = J + 1$ がインクリメントされる。

【0162】

そうでない場合には、ステップ E 101に関して既に述べた方法と同じ方法で、小領域 R_j における検出可能性の判定基準がチェックされる。

【0163】

実際には、透かし信号は、前記領域 R_j の係数に挿入され、検出振幅が算定され、この検出可能性の範囲がしきい値 T_c と比較される。検出振幅は変調信号 X^* と透かし信号 W のキャリヤまたは標準化済み仮説検査の結果との間の相関値であり得る。検出可能性の判定基準が確認される場合には、容量 G_Q における潜在利得の値は、ステップ E 107において、1単位だけ増大される。10

【0164】

次に、ステップ E 108において、小領域の指数 j がインクリメントされ、この指数 j が K の数以下であることが、検査ステップ E 109においてチェックされる。肯定的である場合には、ステップ E 105から E 109までが、その次の小領域上で繰り返される。

【0165】

そうでない場合には、指数 $j = K + 1$ であれば、容量値 G_Q における潜在利得が厳密に正であるかどうか、すなわち、それに関して検出可能性の判定基準が確認された初期領域 R の少なくとも 2つの領域 R_j が存在するかどうかが検査ステップ E 110においてチェックされる。20

【0166】

否定的である場合には、初期領域 R 上で実施される更に高いランクの分割は確認されず、この領域 R は保存される。これは、任意の小領域 R_j または 1つの單一小領域 R_j に関して検出可能性の判定基準が確認されなかった場合である。

【0167】

後者の場合、サイズ P は確認された單一小領域 R_j のサイズより大きいので、透かし信号の挿入用として領域 R を保持することが好ましい。

【0168】

次に、ステップ E 112において、容量 Q の値は 1 単位だけ増大され、分割におけるサイズ P の領域 R が保持される。30

【0169】

次に、領域 R の係数の変調による実際の挿入ステップ E 113 は、既に述べた線形挿入モデルを用いる通常の仕方において、実行される。

【0170】

次に、除去ステップ E 114 は、処理されるべき領域のスタックから領域 R を除去することを可能にする。

【0171】

一方、ステップ E 110において、潜在利得容量 G_c の値が厳密に正である場合には、追加ステップ E 111において、それに関する検出可能性の判定基準が処理されるべき領域 R のスタック内で確認される全ての小領域 R_j が追加される。40

【0172】

戻りステップ E 115 は、反復的様式においてスタックの領域を処理するために、ステップ E 103から E 113までの全てのステップを繰り返すことを可能にする。

【0173】

上記の反復分割方法の終わりにおいて、透かし信号を挿入するための画像最大容量に対応する容量値 Q_m が求められ、この信号の正しい検出を保証する。この最大容量 Q_m は検出可能性の判定基準が確認された前記分割によって得られる区分けされた領域の集合数に等しい。

【0174】

更に、挿入ステップ自体 E 113 は、第 1 「パス」に際して省略可能であり、これによって、画像の最大容量 Q_m および確認済み領域のみを決定することが可能になる。一旦、最大容量 Q_m が算定され、対応する分割がメモリに記憶されると、ユーザは、最大容量 Q_m に等しい情報ビット数に対応する挿入しようとするメッセージを決定し、以前に決定した分割によって得られた異なる領域の係数を変調することにより、通常の仕方において、このメッセージを挿入することが可能である。

【0175】

さて、図 5 を参照し、画像 I 内に固定容量 Q_s のメッセージを挿入しようとする本発明の第 2 実施形態について述べることとする。当然のことながら、この固定容量 Q_s は、透かしを入れようとするデジタル画像の最大容量 Q_m 未満の値でなければならない。

10

【0176】

図 5 に示すように、この実施形態において分割を決定する方法はステップ E 100 から E 113 までを含む。これらのステップは、図 3 の実施形態の分割を決定する方法のステップと同じであり、再びここで記述することは必要でない。以前の場合のように、隣接する高い方のランクの分割が確認されない場合には、ステップ E 112 において、容量 Q の値がインクリメントされる。

【0177】

次に、本方法は、容量 Q のこの値が固定容量値 Q_s と比較される比較ステップ E 116 を含む。実際には、ステップ E 116 において、容量値 Q が固定容量値 Q_s に等しいかどうかが検査される。

20

【0178】

肯定的である場合には、挿入しようとする情報ビット O_s 数に等しい数の領域が所在するので、停止ステップ E 117 は、画像の反復的分割の停止を可能にする。そうでない場合には、除去ステップ E 114 において、ステップ E 111 において形成された処理されるべき領域 R のスタックから処理済み領域が除去される。

【0179】

この実施形態において、分割を決定する本方法は、これらの領域 R に関して算定された検出可能性の範囲値によって、スタックにおける処理されるべき領域 R を分類する分類ステップ E 118 も含む。従って、戻りステップ E 115 は、処理されるべき他の全ての領域の間の最高検出可能性の範囲を持つスタック内領域 R に関して、区分ステップ E 103 から分割を繰り返す。

30

【0180】

演繹的に一層良好な検出可能性を備えた最大領域を優先的に処理するように、サイズが小さくなる順序に従って処理されるべき領域を分類することから成る分類用の変形種も可能である。当然のことながら、デジタル画像を反復的に結合することによる分割は、例えば、同様に、4 分木分割構造を用いる同じ方法において、実施可能である。

【0181】

次に、初期分割は、以前に定義済みの最小サイズ P_{start} 以上であって、比較的小さい許容サイズの領域によって構成される。検出可能性の判定基準が確認されない分割を構成する各領域の場合、この領域は当該分割に属する他の領域と合併される。

40

【0182】

当該分割に属するこの別の領域は、可能であれば、容量を増大するようには検出可能性の判定基準が確認されない領域である。その代りに、さらに別の領域は、検出を信頼可能にるように検出可能性の判定基準を満足させる領域であり得る。

【0183】

結合されるべき領域の選択には多くの可能性がある。各領域について算定した検出振幅を結合判定基準として使用し、例えば最低検出振幅と関連した領域を結合することが可能である。

【0184】

4 分木分割構造における結合に関するこの特定の場合において、結合することは構造的に

50

拘束され、かつ4個の隣接ブロックであるかどうか、例えば図4におけるR1、R2、P3、R4が結合されなければならないかどうかを決定することによって構成される。

【0185】

図6を参照して、デジタル画像に挿入された透かし信号が抽出される場合に分割を見付けることを可能にする関連する復号方法について説明することとする。実際には、デジタル画像への分割適用があるので、この分割は、デコーダにおいて演繹的に既知ではない。

【0186】

従って、復号方法は、一般に、許容される全ての分割をテストすることによって構成される。透かしを挿入するための分割が決定された場合に使用されると同じ反復的実行技法が用いられる。

10

【0187】

従って、図3を参照して説明した実施形態の分割決定方法を用いる場合に対称な、4分木においてブロック別分割による区分の場合における一例としての実施形態について説明することとする。

【0188】

初期化ステップE200において、サイズPの単一領域Rに限定された初期分割が行われる。この領域は、透かし信号の挿入時に用いられる場合と同じデジタル画像の表現に含まれる全ての係数から成る。

【0189】

検査ステップE201は、以前に述べたように、初期領域RのサイズPが最小サイズ $P_{s_{t_a t}}$ よりも実際に大きいことを検査することを可能にする。

20

【0190】

肯定的である場合には、ステップE203において、この領域Rにおける係数の復号によって得られ、領域Rへ挿入される情報ビットの検出可能性の判定基準が確認される。実際には、領域Rの全ての係数に関して検出振幅が算定され、この検出振幅と復号に関する所定のしきい値Tdとを比較することによって検出可能性の判定基準が確認される。標準化された統計的テスト、および、その結果の所定しきい値Tdとの比較により継続可能である。

【0191】

以前に説明したように、符号化と復号に際して同じ検出可能性テストが用いられる場合には、後処理によってノイズの多い複合が実施された場合であっても、画像の復元用に同じ配分を見付けようとする場合には、復号に用いられるTdより大きい符号化用しきい値Tcを選定することが必要である。

30

【0192】

従って、この条件は、透かし信号Wが挿入された時に実施された分割をデコーダへ伝達することなしにデジタル画像の分割を拘束する同じ検出可能性の判定基準を見付けることを可能にする。

【0193】

検出可能性の判定基準がステップE203において確認されない場合には、ステップE204において、領域Rのサイズ P_j の小領域 R_j への分割が実施される。ここに、 $j = 1, \dots, K$ である。次に、符号化に際して、即ち、この例においては同じサイズの4個の小領域 R_j への領域Rの分割に際して用いられる分割構造と同じ分割構造が用いられる。

40

【0194】

次に、追加ステップE205において、処理されるべき領域Rのスタックに小領域 R_j が加えられ、戻りステップE202において、復号方法が検査ステップE201からスタックの各領域Rに回帰的に繰り返される。

【0195】

検出可能性の判定基準E203を算定するステップにおいて、領域Rに関して、後者が確認された場合には、この領域Rに挿入された情報ビットが、抽出ステップE206において

50

て、デジタル画像 I に挿入された方法のエレメントとして、抽出される。この抽出は、検出振幅を算定することにより、従来の様式において実施される。テストの結果は、復号のしきい値 T_d と比較されるべき検出振幅を絶対値で与える。この場合、符号は、挿入された情報ビットの値 0 または 1 を与える。

【0196】

この抽出は、検出ステップ E 203 期間中に、既に部分的に実施されているので、検出ステップ E 203 と抽出ステップ E 206 とは構造的に結合していることに注意されたい。

【0197】

追加ステップ E 205 において形成された処理されるべき領域のスタックから領域 R を除去するために、除去ステップ E 207 が実行され、次に、戻りステップ E 202 は、処理されるべきスタックの各領域 R に復号方法を反復的に実行することを可能にする。
10

【0198】

さて、図 7 及び 8 を参照して、本発明の特定実施形態におけるデジタル画像の分割を決定する方法の実用的な応用について説明することとする。この応用において、透かし信号は、図 2 に関して既に述べたように、デジタル画像 I の空間 周波数変換 S によって得られる画像の空間 周波数表現の係数を変調することによって、スペクトル拡張による挿入技法により挿入される。

【0199】

一般的な表現において、 $J = 1, \dots, M$ を用いて S_j サブバンドが得られる。この場合には、変換ステップ E 300 における M は 13 に等しい。
20

【0200】

次に、ステップ E 301 において考察される指標 j の各サブバンド S_j に関して、図 3 に関して既に述べた分割を決定する方法を実行することにより、分割はステップ E 302 において実施される。このように、容量 Q_j は各サブバンド S_j に関して導出される。

【0201】

次に、係数の変調による挿入ステップ E 303 は、 Q_j 情報ビットの確認済み Q_j 領域への挿入を可能にする。

【0202】

次に、ステップ E 304 及び 305 において、全てのサブバンド S_j が処理されていない限り、後続するサブバンドについて考察され、容量 Q_j の透かし信号を分割および挿入するステップ E 302 および E 303 が各サブバンド S_j に繰り返される。
30

【0203】

次に、各サブバンド S_j に関して算定した容量 Q_j の和に等しい全容量 Q の透かし入りの画像を得るために、逆変換 S - 1 を画像に適用する。

【0204】

従って、符号化および復号の両方において実施されるべき適応分割に関して、表現の各サブバンドが独立して考察される。

【0205】

図 8 に示すように、この実施形態における復号方法は、図 6 に関して記述した復号方法を用いて同様の様式において実行され、この場合、初期領域 R は毎回画像分解のサブバンドに対応する。
40

【0206】

ステップ E 300 と同じステップ E 400 は画像 I を、 $j = 1, \dots, M$ とした場合の S_j サブバンドに分割する。

【0207】

第 1 サブバンド S_j はステップ E 401 において考察される。サブバンドの処理順序は順次挿入されたメッセージを抽出するための符号化に際して用いられる順序と同じである。

【0208】

適応分割は、サブバンド S_j の容量 Q_j を算定するための分割ステップ E 402 において実行される。次に、抽出ステップ E 403 において、 Q_j 情報ビットは、分割における Q
50

_j 領域の係数を復号することによって抽出される。

【0209】

検査ステップ E 404 及び E 405において、通常の仕方において、全てのサブバンドが処理済みであることがチェックされ、反対に、復号ステップ E 402 及び E 403（分割および抽出）が残りのサブバンドに繰り返される。

【0210】

このようにして、デコーダの出力において、Q ビットのメッセージが得られる。ここに、Q は、各サブバンド S_j の容量 Q_j の和に等しい。

【0211】

図 9 に示す方法の変形種において、画像が受けるあらゆる後処理に対する透かし信号の演繹的頑強性を得るために、後処理された画像信号に分割を実施することが可能である。 10

【0212】

この変形種の原理は、この段階においては、以前に述べた分割 E 302 および挿入 E 303 ステップには結合されていない検査ステップ E 309において検出可能性検査を実施することによって構成される。

【0213】

透かし信号を領域に挿入した後において、透かし入りの画像を見つけるために、まず第一に逆変換 $S - 1$ がステップ E 306において実施される。次に、ステップ E 307において、例えばデジタル画像の圧縮のような後処理が適用される。

【0214】

次に、ステップ E 307において画像に後処理を実施することによってでき得ればノイズの多い状態に作成された透かし入り係数を見付けるために、ステップ E 308において変換 S が反復され、検出可能性の判定基準が以前に述べたように算定される。 20

【0215】

この場合には、例えば関連領域 R を 4 つに分割することによって、画像の別の許容分割に関するステップ E 300 から E 309 までが繰り返され、ステップ E 309において、4 つの小領域に関して検出可能性検査が実施される。

【0216】

この分割が容量における利得を表す場合にのみ、換言すれば、この 4 分木区分の例において、検出可能性の判定基準が少なくとも 2 つの小領域において確認された場合にのみ、この分割が採用される。この一変種実施形態は、デジタル画像へ適応される後処理を直接考慮することを可能にする。 30

【0217】

さて、図 10 を参照し、本発明の好ましい一実施形態に従って分割を決定する方法について説明することとする。デジタル画像 I に透かしを挿入する方法が採用されるものとする。本挿入方法は先ず第一にデジタル画像 I を表す係数の集合の分割を決定する方法を含む。

【0218】

この分割は挿入された情報ビットの検出可能性の判定基準の関数として分割の各領域へ適応される。実際には、透かしの挿入に関して、この画像の実際容量を確かめるように、最大数の検出可能性の判定基準を満足させる領域へのデジタル画像の分割を探索することが出来ることに注意されたい。デジタル画像のこの最大容量は、デジタル画像へ挿入可能な情報ビット数に対応し、同時に、検出可能性の判定基準に適合する。 40

【0219】

所与の透かしに関して、画像 I の最大容量未満の所与個数の情報ビットを含むことを条件に、可能な最大サイズの領域において挿入された透かしの不可視性を最も良く保証するよう所与の検出確率に対して、所与の長さの透かしの挿入を可能にする画像 I の可能な最良の分割を探索することも可能である。

【0220】

分割を決定する方法は、先ず第一に、以前に述べた（離散型ウェーブレット変換または D

50

WT) ウェーブレット分解型のスペクトル分解ステップ E 500 を含む。従って、デジタル画像 I を表すスペクトル係数 X が得られる。これらのスペクトル係数は、分解ステップ E 500 の完成に際して、図 2 に略図的に示すように周波数サブバンドへ配分される。係数 X の集合のサイズは、方形画像に関して $N = M \times M$ に等しい。明らかなように、矩形画像に対しても同じ方法が適用できる。

【0221】

本発明のこの実施形態において、本方法は、画像 I を表す係数 X 集合の集合数 N に等しいサイズ N の中心擬似ランダム数列を生成するステップ E 501 を含む。この疑似ランダム数列を $w = \{w_{m,n}, 0 \leq m, n \leq M\}$ であるものとする。

【0222】

この疑似ランダム数列 w は、中心擬似ランダムサブ数列 w^k から形成される。疑似ランダム数列は、疑似ランダムサブ数列 w^k の結合体と見なすことができる。この場合、中心擬似ランダム数列 w は、単位ブロックと呼ばれる係数 X 集合のブロックに対応する同じサイズの疑似ランダムサブ数列 w^k から形成される。明らかなように、疑似ランダムサブ数列 w^k のサイズは相互に異なる。

【0223】

この場合、これら単位ブロックのサイズは、当該領域全体に渡り検出可能性の判定基準を満足させるために統計的に有意なサイズの領域形成に適した係数の最小数に対応する。後で述べるように、標準化済み統計的検出テストが係数集合に適用される場合には、このテストが有意であるためには最小数の係数が必要である。

【0224】

疑似ランダムサブ数列 w^k のサイズは係数のこの最小数以上の $A = L \times L$ である。この最小サイズに等しいサイズの疑似ランダムサブ数列 w^k が選定されることが好ましい。画像の初期区分からのブロックをサイズ $L \times L$ の単位ブロックに組み合わせることによる反復組合せによって分割が達成される場合に、この特性は特に有利である。従って、初期区分は、適用可能な画像の最大分割に対応する。この最大分割を越えると、生成される係数のブロックは、情報ビットの挿入および検出に関して、もはや統計的に有意ではない。例えば、 $L = 8$ が選定されるものとする。この場合、疑似ランダム数列 w は、単位ブロックを形成する $N / 64$ 個の疑似ランダムサブ数列 w^k の結合体である。

【0225】

本発明に従えば、各単位ブロックに関して、シークレットキー K および各単位ブロックのインデックス k に依存する関数に基づいて事前定義済み分布（ガウス分布、均一分布、等々）の中心擬似ランダム信号が生成されなければならない。このキーは $f(K, k)$ で表示可能である。次に、実際には、各単位ブロック全体に渡る信号 w^k の平均が厳密にゼロに等しいことを保証することが必要である。

【0226】

この種の中心擬似ランダム数列を生成する第 1 の方法は、対称化による決定論的方法により数列に中心を与えることによって構成される。この方法は、偶数サイズ A の疑似ランダム数列の生成に適する。

【0227】

この場合、各々の中心擬似ランダムサブ数列 w^k は、既知の有中心分布疑似ランダム数ゼネレータを介して、サブ数列の疑似ランダムサンプルの半分 $A / 2$ を生成し、疑似ランダムサブ数列 w^k のサンプルのもう一方の半分 $A / 2$ を求めるために、このようにして生成された疑似ランダムサンプルを対称化することによって作成される。

【0228】

従って、單一次元数列の場合には、サイズ $A / 2 \{w_j, 1 \leq j \leq A / 2\}$ のサンプルの一集合が生成され、この集合は、サンプルのもう一方の半分 $\{w_j = -w_{A-j}, A / 2 < j \leq A\}$ を求めるために対称化される。

【0229】

このようにして得られた数列のランダム特性を強化するために、シークレットキーを使う

10

20

30

40

50

ことよって得られたサンプル集合 $\{w_j, 1 \leq j \leq A\}$ に置き換えを実施することができる。

【0230】

中心擬似ランダム数列を生成する第2の方法は、疑似ランダム数ゼネレータを介して疑似ランダムサンプルを生成し、各サンプル全体に亘って生成されたこれらの疑似ランダムサンプルの和を再配分することによって各々の中心擬似ランダムサブ数列 w^k を作ることによって構成される。

【0231】

従って、まず第一に、シークレットキー $f(K, k)$ を使用することにより、単位ブロックと同じサイズ A の一連の疑似ランダムサンプル、即ち $\{w_j, 1 \leq j \leq A\}$ が生成される。次に、これらサンプルの厳密な和が算定される：

【0232】

【数11】

$$S_k = \sum_{i=1}^A w_i$$

次に、この和 S_k は、中心擬似ランダム数列、すなわち、和が厳密にゼロに等しい数列が得られるようにサンプル全体に亘って再配分される。このようにして、 $w = \{w_i - S_k / A, 1 \leq i \leq A\}$ が得られる。

【0233】

従って、疑似ランダム数列 w は、中心擬似ランダム数列 w によって変調された係数の分割が、同様に中心擬似ランダムサブ数列によって変調された係数の部分集合を生じるような方法における、中心を持つサブ数列 w^k の結合によって構成される。明らかなように、中心を持つランダム数列を生成するために他の技法を使用することができる。

【0234】

次に、図10に示すように、スペクトル分解から生成される係数集合に情報ビットを挿入するために、中心擬似ランダム数列 w により係数集合を変調するステップ E 502 が実行される。実際には、画像 I に直接マークしないように、係数集合は、例えばコンピュータのランダムアクセスメモリのようなワーキングメモリにコピーされる。

【0235】

同じ情報ビットは、次に示す変調論式に基づいて、例えばこの場合には $b = 1$ である係数集合に変調される。

【0236】

$$X'_i = X_i + b_i w_i, \text{ 但し, } 0 \leq i \leq N.$$

【0237】

重み付け振幅 b_i は、挿入される情報ビットの不可視性を保証するような通常の方法で選定される。

【0238】

全ての係数に対して、例えば全ての X_i に対して $b_i = v_i$ のような、一定の重み付け係数を使用できる。この場合、重み付け係数 v_i の値は、デジタル画像を表す係数集合を変調する透かしの非感知性を保証する最大値に等しい。

【0239】

画像信号自体が変調をマスクすることを可能にするという事実を利用することは有益であり得る。

【0240】

そのためには、変調されるべき各係数 X_i に関して、式 $b_i = k_i v_i$ の法則に従って重み付け係数を使用することが可能である。ここに、 k_i は、問題の係数の近傍に位置する係数に依存する変調係数であり、 v_i は、当該係数集合の変調用透かしの非感知性を保証する重み付け係数の最大値に等しい。従って、各係数は、画像の局所内容の関数として変

10

20

30

40

50

調され、変調振幅を検出可能性の利益が得られるまで局所的に増加させることを可能にする。

【0241】

本発明のこの実施形態においては、画像 I が受けるあらゆる後処理に対する挿入された透かしの強固性を演繹的に得るために、後処理された画像信号に分割を適用することが望ましい。そうするために、歪みステップ E 503において、変調済み係数の集合に歪みがかけられる。

【0242】

分割の各レベルへ適用されるべきもう一方の所要歪みとは無関係に係数の各小領域が変調される従来の技法とは対照的に、歪みステップ E 503は、中心擬似ランダム数列に基づき单一操作における係数の変調によって、分割の決定に際してただ1度だけ実行可能である。

10

【0243】

この場合、歪みを適用するステップ E 503は、図10に示すように、次のサブステップを含むので、これは一層有利である：

透かしを入れた画像を得るために変調される係数 X_i 集合の逆スペクトル変換サブステップ E 503a、

透かしを入れた画像を適用する適用自体のサブステップ E 503b、

歪み適用後の変調済み係数集合を得るために透かし入りの画像をスペクトル変換するスペクトル変換サブステップ E 503c、を含む。

20

【0244】

適用される歪みは、例えばノイズの追加、コントラストの変更、圧縮、ローパスまたはハイパス濾波のような、当該画像のジオメトリを変えることなしに画素の値を変える歪みである。この場合、画像の圧縮は、JPEG規格 (Joint Photographic Expert Groupに関する)に従い、一般にJPEG圧縮に関するデフォルトによる $q = 75$ であるように規定された品質係数を用いて考察される。

【0245】

実際には、ここで、逆ウェーブレット変換 DWT⁻¹が適用され、次に、画像の圧縮解除が後続する圧縮が適用され、最終的に、スペクトルドメインに挿入された情報ビットの検出可能性を推定することが可能であるように、再び順方向ウェーブレット変換が適用される。

30

【0246】

次に、そに中へ挿入された各情報ビットが、固定した検出可能性似従って、適正に検出可能であるような当該係数集合の配分を探索るために、係数集合の反復的分割が適用される。従って、分割期間中に決定される領域の個数は当該画像 I の実用的な挿入容量に対応する。容量を計算することによって決定された Q ビットをユーザへディスプレイするための手段がなくてはならない。既に述べたように、区分 / 結合による反復区分のために種々の技法を使用できる。

【0247】

本発明の好ましい実施形態を実施する第1の方法について、図11を参照して節目をすることとする。この形態において、これらの領域全体に渡り検出可能性の判定基準を確認するために、係数集合の初期区分に基づいて統計的に有意なサイズの領域へ反復的に分割することによって分割が達成される。

40

【0248】

上述したように、変換 E 600、生成 E 501、変調 E 502、及び、歪み E 503の各ステップに続くステップ E 504において、分割されるべき係数集合として、第1周波数サブバンドについて考察することとする。

【0249】

この係数集合の初期分割は、既に定義済みであるように、画像 I を単位サイズのブロックへ空間分割することに対応する。その構造に起因して、疑似ランダム変調数列はこれらの

50

単位ブロックの各々に中心を置く。

【0250】

4分木モードの組合せにおいては、常に、「親ブロック」を形成する「子ブロック」と呼ばれる等しいサイズの4個のブロックが一緒にグループを形成し、この組合せが繰り返して再開始され、回帰の概念を与える。明らかなように、分割は、スペクトル分解から生じる信号の周波数サブバンド毎に行われる。

【0251】

さて、ステップE505において、例えば左から右へ、および、底部から最上部へ、サブバンドを走査する順序に従って、各単位ブロックについて考察することとする。未処理の第1単位ブロック全体に渡り有効性判定基準が適用される。

10

【0252】

計算ステップE506において、変調された係数 X_i のこの単位ブロックへ統計的検出テストが適用される。標準化された統計的テストの例を次に示す。

【0253】

疑似ランダム数列 w の挿入および予歪みの印加の後でテストされるべき係数集合を X'_i , $1 < i < P$ とする。テストはサイズ P のこの集合に関して計算することを意味する。

【0254】

【数12】

$$T = \frac{M}{\sqrt{V}} = \sqrt{P}$$

20

ここに、 M は各係数 X'_i の値と、変調 w_i の値と、これらの値の分散 V との間の相関平均値を表す。

【0255】

従って、実際には、

【0256】

【数13】

$$M = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P w_i (X'_i - M_x),$$

30

但し、

【0257】

【数14】

$$M_x = \frac{\sum X'_i}{P}$$

および、

【0258】

【数15】

$$V = \frac{1}{P-1} \sum_{i=1}^P [w_i (X'_i - M_x) - M]^2$$

40

このテスト値 T の計算には、上述した全ての生成ステップE501において1度だけ生成される疑似ランダム変調数列 w の知識を必要とする。

【0259】

検出可能性は、このテスト値 T と特定のしきい値 P_p との比較によって与えられ、テスト

50

される2つの仮説（透かしが存在するか、または、欠如する）に関して、テストTが分散1のガウスの法則に従う場合には、適正検出確率 $p\%$ に理論的に対応する。比較ステップE507は、このテスト値Tと、しきい値 P_p 、または、適正検出レートとの比較を可能にする。

【0260】

この比較の完成に際して、計算値Tが適正検出レートより高い場合には、テストされたブロックは、情報ビットの挿入に利用可能な領域として、メモリ記憶ステップE509において、記憶される。

【0261】

実際には、テストされた係数の全てのブロックに関して、当該ブロックが情報ビットの挿入に適している場合には、容量値が1単位だけ増加するような方法で容量計算ステップE510は実行可能である。10

【0262】

これとは対照的に、計算値Tが適正検出レート P_p 未満である場合には、組合せステップE508において、更に高いレベルのブロックが選定される、即ち、親ブロックは4単位ブロックの組合せに対応し、テスト値Tを計算するステップE506および適正検出レート P_p との比較ステップE507がこの新規ブロック全体に亘って繰り返される。

【0263】

親ブロックを形成するための子ブロックの組合せに際して、これらの子ブロックには、検出可能性の判定基準が満足させられていないブロックが選定されることが好ましい。20

【0264】

この検出可能性の判定基準を適用する場合の検出には、例えば次に示すような、あらゆる標準化された統計的テストを用いることができる。即ち、I.PITASによる「A method for signature casting on digital images」（議事録：I C I P、215 - 218頁、1996年9月）は、検出を確率によって特徴付けることを可能にする。検出確率の固定レベルに対応するしきい値 P_p は、例えば、99.95%に選定できる。

【0265】

従って、固定した重み付け係数 α を用いたサイズ寸Pの係数X集合を画定する所与領域に関しては、この領域全体に渡り検出可能性の判定基準の有効性を検査するために、検出可能性の範囲を計算し、しきい値 P_p と比較することが可能である。30

【0266】

一般的な方法において、検出確率は、テストされる領域のサイズと共に減少するので、例えば、透かしを挿入するために使われる係数ブロックのサイズを増大するために領域を組み合わせることによって、この新規ブロック全体に渡りテスト値Tが増大される。

【0267】

従って、適応分割E504からE508までのステップの完了に際して、画像挿入容量は、この容量Qに対応する画像の適切な分割が可能であるように、Qビットに等しく決定可能である。従って、透かしは、Qビットに等しい長さを用いて形成可能であり、分割の各種領域にビットを1つずつ挿入できる。

【0268】

明らかのように、透かし挿入ステップE520自体は、検出可能性テストE506、E507の結論に関して利用可能な各領域が、この領域の係数の変調による情報ビットの挿入によって実際に透かしを入れることができるような方法において、分割の決定と結合させることができる。

【0269】

挿入ステップE520は、上記の変調論式において係数値を $b = 1$ または $= -1$ に選定することにより、透かしの情報ビットを実際に挿入することを可能にする。この場合、+/-1ビットを交互に変えることにより、挿入されたメッセージの内容が伝達される。

【0270】

中心を持つ既知の分布の疑似ランダム数列は、分割の各領域に対して差をつけて、使用す50

ることが可能であり、図1に示すようにシークレットキーK'によって初期化可能である。このシークレットキーK'は、適切であれば、分割を決定するために疑似ランダム数列wの生成に際して用いられるシークレットキーKと同じであっても差し支えないことに注意されたい。

【0271】

更に、生成ステップE501において生成される数列と同じであるような中心擬似ランダム数列wが生成可能である。ステップE504からE508までの結論に関して画像Iの分割の一例を図10に示す。この場合、例えば25個の個別領域が作成され、25ビットの透かしを挿入可能にする。明らかなように、他の分割技法も使用できる。

【0272】

次に、本発明の好ましい実施形態を実施する第2の方法について、図12を参照しながら説明することとする。この場合、係数集合の反復分割によって分割が達成される。

【0273】

上述した変換E500、生成E501、変調E502、歪みE503の各ステップの結論に関して、分割されるべき係数集合として、ステップE511における第1周波数サブバンドについて考察する。

【0274】

ここでは、4分木モード区分について考察することとする。この場合、「親ブロック」と呼ばれる1つのブロックは常に、「子ブロック」と呼ばれる等しいサイズの4個のブロックに分割される。明らかなように、分割は、スペクトル分解から発生する信号の周波数サブバンド毎に実施される。従って、ステップE512における、第1周波数サブバンドに対応する初期ブロックについて考察する。この初期ブロックは、メモリ内の、処理されるべきブロックのリストLに記憶される。

【0275】

次に、ステップE513において処理されるべきブロックのリストLから入来する処理されるべき第1ブロックBについて考察する。検出可能性の判定基準は、チェックステップE514において、このブロックBに適用される。

【0276】

実際には、既に述べたように、変調済み係数のこのブロックに関する統計的検出テストの値Tは計算ステップE514aにおいて算定される。このステップは、図11に関して説明した計算ステップE506に類似する。

【0277】

次に、検出可能性は、このテスト値Tと特定のしきい値P_pとの比較によって求められ、テストTが分散1のガウスの法則に従う場合には、テストされた2つの仮説（透かしが存在するか、または、欠如する）に関して、理論的に適正な検出可能性p%に対応する。

【0278】

比較ステップE514bは、このテスト値Tをしきい値P_p、または適正検出レートと比較することを可能にする。この比較ステップE514bは、図11に関して記述した比較ステップE507に類似する。

【0279】

この比較の完了に際して、算定値Tが適正検出レートP_p未満であれば、テストステップE515において、処理されるべきブロックがリストL内に残っているかどうかに関してチェックが行われる。残っていない場合には、反復的分割アルゴリズムが終了する。そうでない場合には、リストL内の次のブロックBが、ステップE513において考察され、チェックステップE514が繰り返される。

【0280】

比較ステップE514bの完了に際して、テストTの算定値が適正検出レートP_pより高い場合には、チェックステップE516におけるこの親ブロックBの各子ブロック全体に渡り検出可能性がテストされる。

【0281】

10

20

30

40

50

実際には、親ブロックBは4個の子ブロックに分割され、検出可能性の判定基準が既に述べたチェックステップE514に類似のステップに従い、これらのブロックの各々についてチェックされる。テストE517は、少なくとも1つの子ブロック全体に渡り検出可能性の判定基準が妥当であるかどうかを確認することを可能にする。

【0282】

イエスであれば、実際にブロックBを4個の子ブロックに分割するために分割ステップE518が実行され、追加ステップE519はこれらの子ブロックが処理されるべきリストLに加えられることを可能にする。

【0283】

次にテスト及びチェックステップE513からE519までが、リストLのブロックの各々の全体に渡り、リストが空になるまで繰り返される。これとは対照的に、テストE517の結論に際して、検出可能性の判定基準が親ブロックBのあらゆる子ブロックにおいて満足させられない場合には、テストされたブロックBが、メモリ記憶ステップE509において、情報ビット挿入に利用可能な領域としてメモリ内に保持される。10

【0284】

実際には、容量更新ステップE510が既に述べたように、情報ビットの挿入に適したテスト済み係数ブロックの各々について、前記容量の値が1単位だけ増大するような方法で実行可能である。従って、これらの適応分割ステップE511からE519までの終了に際して、画像挿入容量が決定可能であって、Qビットに等しく、この容量Qに対応する画像の適切な分割が達成される。20

【0285】

次に、長さQビットの透かしが形成可能であり、分割の種々領域へ1ビットずつ挿入可能である。明らかなように、以前と同様に、このブロックBの係数を変調することによる情報ビットの挿入によって、検出可能性テストE507の結論について利用可能な各ブロックBに実際にウォータマイクが入れられるような方法において、透かしの挿入ステップE520自体は分割の決定と結合可能である。

【0286】

反復的な組み合わせによって分割が達成されると同様な方法で、挿入ステップE520が実施される。更に、この分割技法を反復分割によって強化した一実施形態において、子ブロックへの親ブロックBの分割は、検出可能性テストE507の完了に際して、容量における利得を表す場合に限り採用可能である。即ち、検出可能性の判定基準が少なくとも2つの子ブロックにおいて満足させられる場合に限り4分木モード分割が実施される。そうでない場合には、挿入された透かしの一層良好な不可視性を保証するために、比較的大きいサイズの親ブロックを保持することが好ましい。明らかなように、以前に述べた分割技法は、あらゆる点で制限されない。30

【0287】

明確に、既に述べた4分木ブロック分割だけでなくグラフ分割も含まれる分割／結合による各種の反復区分技法を使用することが可能である。一般に、反復分割手段が結合または分割のどちらであるかに応じて、いわゆる、下から上へ向かう方法も上から下へ向かう方法もあり得る。40

【0288】

従って、適切であれば、分割と結合による2つの分割技法を組み合わせることも可能である。この場合には、一方では、1つの単一領域であり、もう一方では、許容される最小サイズの領域への分割である両極端の中間的な初期分割が選定され、分割および結合の両操作を可能にする。

【0289】

幾つかの異なる分割技法を使用し、次に、当該デジタル画像に対して最大容量Qを提供する分割を選定することによってデジタル画像の容量を最大にするように分割を決定する方法を実行することも可能である。

【0290】

50

20

30

40

50

更に、できる限り最良の分割決を定することも可能である。即ち、透かしを入れようとするデジタル画像の最大容量未満の固定長さのメッセージを挿入するために可能な最大サイズの係数集合を作ることが可能である。

【0291】

全ての場合に、本発明は、疑似ランダム数列を生成し、挿入を実施するために利用可能な係数集合全体に亘って1度だけ挿入し、必然的に、係数集合にただ1つの予歪みを印加することを可能にする。従って、分割決定に際して印加される「歪みなし」と「所定の歪みあり」の間に所在する歪みの全範囲に対して固定した適正検出確率を以て透かしを挿入することを可能にする係数集合の分割を急速に求めることができる。更に、挿入以前における最大歪みのシミュレーションは、理論統計的計算に関する利点を提供する殆ど決定論的な操作である。10

【0292】

次に、好ましい一実施形態として本発明に従う挿入方法について説明することとする。透かし信号は、サブバンドにドメイン変換された係数集合内に、変換ステップE600の後で挿入される。

【0293】

図13に示すように、選択ステップE601において、例えば、水平および垂直方向におけるハイパス濾波に対応する第1解像度レベルの高周波サブバンドHH1が選定される。

【0294】

従って、例えば $X = \{ X_i, 1 < i < N \}$ で表されるNに等しい集合数の空間周波数係数集合がある。サイズ 512×512 の画像Iに関し、サブバンドHH1のサイズ $N = 256 \times 256$ である。20

【0295】

透かしは非感知的かつ消去不可能でなくてはならず、従って、著作権侵害による位置特定および除去が困難でなくてはならないので、疑似ランダム透かし信号の挿入が選定され、この信号のスペクトル分析または統計的分析による検出不能にするためにそのスペクトルを拡散する。

【0296】

例えば、疑似ランダム数列wが考察される。この数列は、条件 $\{ w_i = 1 \quad i \leq P \}$ 付きインタバル[-1, 1]に関する均一法則に従い、その長さPはN以下である。当然のことながら、既知分布であってゼロ平均のあらゆる疑似ランダム透かし信号が適する。透かし信号wに関する最も一般的な分布は、上記の[-1, 1]に関する均一分布は別として、2進分布{-1, 1}及び中心を持つ標準化されたガウス分布 $N(0, 1)$ である。30

【0297】

透かし信号を挿入するために係数に適用しようとする変調は次に示すタイプの線形モデルである。

【0298】

$X'_j = X_{j(i)} + w_j$ 、ここに、 $1 \leq j \leq P$ であり、 $X_{j(i)}$ は、係数X集合から選定されたスクトル係数の部分集合であり、 w_j は重み付け係数である。重み付け係数はあらゆるjに関して一定である。40

【0299】

一例としてのこの実施形態においては、非感知性および検出可能性に関する所定の判定基準を満たす状態の下において、透かし信号wの係数X集合への挿入が実際に可能かどうかを決定することが探索される。

【0300】

本発明によれば、この挿入方法は先ず第一に、重み付け係数の最大値を透かし信号wの非感知性を保証する透かし信号wの長さPの関数として算定するステップE602を含む。

【0301】

この最大値または視覚的振幅 v は前述の線形挿入モデルに使用できる最大変調振幅に対50

応する。前記最大変調振幅を越えると、再現された透かし入りの画像のレベルにおける変化を観察者が視覚的に検出することが可能である。

【0302】

この実施形態においては、透かし操作の可視性を、使用される空間周波数変換Tを介した信号の表現、挿入に関して考慮されるサブバンドHH1、透かし信号wの数列の分布のタイプ、および、数列wの長さPである異なるパラメータの関数として、予測することを可能にする可視性モデルが使用される。

【0303】

WATSONによって開発され、A.B.WATSONらによる「Visibility of wavelet quaantization noise」(I IEEE Trans. on mage Process 6 (8)、1164 - 1175、1997年)に記載されている単純モデルは、1つの変調された単一係数の可視性の測定値から変調済み係数集合の可視性を予測することを可能にする。このモデルの詳細な記述に関して、この文書を有利に参照できる。

【0304】

最大値 α_v を算定するステップE602において、透かし信号wの長さP、および、用いられるスペクトル変換のタイプTには依存するが、透かしを入れられるべき係数X集合とは関係のない関数が用いられる。用いられる計算関数を次に示す。

【0305】

【数16】

$$\alpha_v(P, S, w) = \frac{\alpha_{base}(S)}{P^{1/\beta} (E[|w|^{\beta}])^{1/\beta}}$$

20

ここに $\alpha_{base}(S)$ は、用いられる変換Sおよび挿入に関して考慮される(基底)サブバンドに依存し、このサブバンドの単一係数が変調される時に非感知性を保証する最大重み付け係数の基底値である。

【0306】

は厳密に2より大きくなり、 $E[|w|]$ は関数 $|w|$ の数学的期待値である。

【0307】

基底値 $\alpha_{base}(S)$ は、ウェーブレット分解における係数の各サブバンドの全てに関してただ1度だけ単一精神視覚的測定から測定可能であり、視覚的振幅表に記憶される。

はミンコフスキ和のべき指数であり、例えば5に選定可能である。数学的予測 $E[|w|]$ は関数 $|w|$ の平均の推測値に対応する。

【0308】

この可視性のモデルは、ウォータマスクが入れられるべき画像I自体は考慮せず、従って、それとは関係ない。これは、画像Iが均一であると見なすことに等価である。画像信号の存在がそれ自体の変調を視覚的にマスクすることを可能にするので、「最悪状況」モデルの問題である。

【0309】

この例においては、変調可能な係数X集合の集合数Nに等しい透かし信号wの長さPに関する重み付け係数 α_v の最大値 α_v^* を算定するために計算ステップE602が実行される。従って、感知性の限界における透かし信号wの非感知性を保証する $\alpha_v^*(N)$ で表される最大値が算定される。

【0310】

ここに示す一例としての実施形態において、 $\alpha_v^* = 5$ の値に関して、サブバンドHH1の係数集合に関する視覚的振幅は次式で与えられる。

【0311】

【数17】

30

40

$$\alpha_v(N) = \frac{6^{0.2} \alpha_{HH_1}(T)}{N^{0.2}}$$

【0312】

次に、計算ステップ E 603において、算定された前記最大値 $\alpha_v(N)$ に等しい重み付け係数の最小値 α_D および所定の検出確率レベルに関して、透かし信号 w の長さ P が算定される。

【0313】

その理由は、所定の検出可能性の判定基準に適合するためには、重み付け係数 α が検出振幅と呼ばれる最小値 α_D より大きくなければならないことに因る。デコーダにおいて、当該画像に特定の歪みが印加されたために、おそらくノイズを含んで作成される透かし入り初期画像に対応する受け取られた画像 I^* は、変調された係数集合を再度見付けるために、先ず第一に、透かし信号の挿入に際して用いられた変換と同じ方法によって変換される。

【0314】

このようにして、変調されようとする係数集合を表す集合 $X^* = \{X_i^*, 1 \leq i \leq N\}$ が得られる。仮説により、これらの係数に影響を及ぼすあらゆる歪みは添加されたノイズによってモデル化されることが可能であり、画像信号自体 $n = \{n_i, 1 \leq i \leq N\}$ とは相関性を失う。従って、各係数は次のように表される。

【0315】

$X_i^* = X_i + w_i + n_i$ 、但し、 $1 \leq i \leq N$

挿入された透かし信号 w の検出は、「信号 w が X^* に挿入されているか」という質問に返答するための仮説テストを構成することから成る。仮説テストを構成することの利点は、仮説テストは既知の分布に対して標準化されているので、その結果が当該判断に理論上の信頼レベル付与を可能にすることにある。

【0316】

相関性に基づく統計的テストのクラスは、この検出振幅が次に示すタイプの計算関数から算定可能であることを示す。

【0317】

【数18】

$$\alpha_D(P) = \frac{\alpha \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_n^2}}{\sqrt{bP - c}}$$

ここに、 σ_x^2 は変調されるべき係数の分散に等しく、 σ_n^2 は添加されたノイズの分散に等しく、 a 、 b 、 c は透かし信号 w の分布および所要検出確率レベル p に依存する定数である。

【0318】

従って、この最小値 α_D は、透かし信号 w の長さ P 、検出確率レベル p 、変調されるべき係数の分散、透かし信号の分布、および、でき得れば、当該係数に印加されたあらゆる歪みと相関性を持たない添加ノイズの分散に明確に従って決定される。

【0319】

これとは逆に、 P によって表される最小検出長さも、固定した検出確率レベルに関する重み付け係数 α の関数として次のように表現することができる。

【0320】

【数19】

$$P^o(\alpha) = \frac{\alpha^2(\sigma_x^2 + \sigma_n^2) + c\alpha^2}{b\alpha^2}$$

【0321】

この結果は、 σ_n^2 以下のエネルギーを持つあらゆる添加ノイズに対して強固であるはずの透かし信号 w の挿入を可能にするパラメータをチェックするために使用可能なはずである。

【0322】

図14の曲線に示すように、挿入されるべき透かし信号の長さ P の関数として算定された視覚的振幅 σ_v から挿入方法は、一般に、透かし信号 w の長さ P および検出確率レベル p の決定されたこれらの値に関して、決定された重み付け係数 α の値が最大値または視覚的振幅 σ_v 以下であり、しかも、最小値または検出振幅 σ_D 以上であるように、透かし信号 w の長さ P 、重み付け係数 α 、および、確率レベル p の適合可能な値を決定するステップを含む。 10

【0323】

従って、重み付け係数 α 、透かし信号 w の長さ P 、および、検出確率レベル p は、次に示す不均等性が満足させられるように、決定されなければならない。

図14に示すように、前述の不均等性が満足させられる透かし信号 w の最小値 P^* を算定するために、 $\alpha = \sigma_v / (\sigma_D \cdot N)$ および検出確率レベル $p\%$ の条件付きで、透かし信号 w の長さ P を重み付け係数 α の振幅と連結する論式が用いられる。 20

【0324】

この例においては、透かしを含む信号 X^* と挿入された透かし信号 w の間の相関性に基づき、例えば下記の論文における提案に従い、標準化された統計的テストが行われる。即ち、「On Resolving Rightful Ownerships of Digital Images by Invisible Watermarks」(議事録 I C I P 97、W. ZENG、及び、B. LIU. による、552 - 555頁、1997年10月)。このテストに関する論式を次に示す。

【0325】

【数20】

$$\alpha_D = \frac{t_0 \sqrt{E(w^2)} (\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_n^2})}{\sqrt{E(w^2)P - t_0^2 \sigma_w^2}}$$

【0326】

従って、計算ステップ E 604 は、次に示す前述の 3 つの定数 a 、 b 、及び、 c を算定可能にする。

【0327】

【数21】

$$a = t_0 \sqrt{E(w^2)}$$

$$b = E^2(w^2) \quad \text{および}$$

$$c = t_0^2 \sigma_w^2$$

【0328】

ここに、値 $E(w^2)$ 及び

【0329】

10

20

30

40

40

50

【数22】

$$\sigma_{w^2}^2$$

は、 w の分布の関数として理論的に算定可能である。ここで考察される均一分布に関する理論値は、 $E(w^2) = 1/3$ 、及び、

【0330】

【数23】

$$\sigma_{w^2}^2 = 4/45$$

10

である。

【0331】

値 t_0 は、適正検出確率 p に依存するしきい値 $t_0 = 2 \times t_p$ である。 t_p の値は中心を持つガウスの法則の百分率表現であり、その分散は1である。これらの値は、例えば次に示す書籍に、現行科学水準における数値表として記載されている。即ち、「Probability and Statistics」(A. PAPOULISによる、Prentice Hall、1990年)。

【0332】

例えば、 $t_p = 3.291$ は $p = 0.9995$ に対応する。即ち、検出確率レベルは99.95%に等しい。この数値例においては、一切の添加ノイズが考慮されていないので、 $n = 0$ である。

20

【0333】

推定ステップE605においては、係数 X 集合の分散も同様に推定される。この分散は次の論式に基づいて推定される。

【0334】

【数24】

$$\alpha_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - M_x)^2$$

30

但し、

【0335】

【数25】

$$M_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

40

次に、99.95%に固定された検出確率関しては、挿入されるべき透かし信号 w の長さ P と重み付け係数 α をリンクする次に示す関数が導出される。

【0336】

【数26】

$$P = \frac{14,44 \times \sigma_x^2 + 3,84 \alpha^2}{0,11 \alpha^2}$$

50

【0337】

計算ステップ E 603においては、計算ステップ E 602において算定された最大値 v_N に等しい重み付け係数について最小長さ P^* が上式から決定される。

【0338】

この例実施形態における挿入方法は、この算定長さ P^* を変調可能な係数 X 集合の集合数 N と比較するステップ E 606 を含む。

【0339】

この比較ステップ E 606において、算定長さ P^* が変調可能な係数 X 集合の集合数 N 以下である場合には、長さ P^* の透かし信号 w の挿入が可能であり、要求される非感知性および検出判定基準に適合することが推論される。

10

【0340】

実際には、この透かし信号の長さ P^* が算定値 P^* と変調可能な係数 X の集合の集合数 N の間に位置するので、これらの判定基準に適合する透かし信号 w の挿入を実施することが可能である。

【0341】

次に、長さ P^* の透かし信号の挿入自体は、算定最大値 v_N に等しい重み付け係数を用いた線形変調レベルに従って集合数 P の係数部分集合を変調することによって実行される。挿入方法は、コーダの出力において透かし入りの画像 I * を得ることを可能にする逆方向空間周波数変換ステップを通常の仕方において含む。

20

【0342】

挿入が可能ある場合には、挿入され得る理論上のビット数を算定することも可能である。理由は、デコーダにおける復号操作が、疑似ランダム数列 w が挿入されているかどうかを検出することによって構成されることに因る。レスポンスはバイナリ（イエス / ノー）であるので、長さ P^* の疑似ランダム数列は、画像に対して、1つの情報ビットを挿入および抽出可能にできるものと見なされる。スペクトル係数の幾つか部分集合に挿入操作を繰り返すことにより、幾つかの情報ビットを挿入及び抽出することが可能である。

20

【0343】

従って、この例においては集合数 N の係数集合が存在し、情報ビットの挿入および検出には P^* 個だけの係数が必要であるので、画像容量 $Q = N / P^*$ と呼ばれる挿入され得る情報ビットの全体数 Q を導出することが可能である。

30

【0344】

更に、比較ステップ E 606において、算定長さ P^* が変調可能な係数 X 集合の集合数 N より大きい場合には、非感知性および検出可能性の判定基準に適合する透かし信号の挿入が可能でないことが演繹的に推論される。

【0345】

この場合、必要に応じて、挿入方法は、変調可能な係数 X 集合の集合数 N に等しい透かし信号 w の長さ P^* に関する算定された最大値 v_N に等しい重み付け係数最小値 d_D に関する得られる検出確率レベル p を算定する追加計算ステップを含むことが出来る。99.95% に初期固定されたレベルよりも低いこの検出確率レベルが満足であると判断される場合には、N に等しい長さの透かし信号の挿入が実施可能である。即ち、周波数 H H 1 のサブバンドの全ての係数が変調される。

40

【0346】

本発明の第 2 実施形態において、挿入方法は、図 14 に示すように、透かし信号 w の長さのしきい値 P^* を算定するステップを含むことができる。重み付け係数の最小値 d_D が、このしきい値 P^* および所定の検出確率レベル p に等しい透かし信号 w の長さ P^* に関する重み付け係数の最大値 v_N に等しいように、このしきい値 P^* が決定される。

【0347】

この計算ステップは、検出振幅 D および視覚的な振幅 v を表現する式から、明確に透かし信号 w の長さ P^* の関数として、それから得られる重み付け係数 d が不等式 D_v を満足させる挿入信号の最小値 P^* を決定することを可能にする。

50

【0348】

図14において、この最小値 P^* は、所定の検出確率レベルに関する挿入された透かし信号 w の長さ P の関数として、視覚的な振幅 v の変化および検出振幅の変化を表す2つの曲線の交差によって与えられる。従って、一般に、本発明に従う挿入方法は、画像に挿入しようとする透かし信号の検出確率および非感知性を演繹的かつ理論的に制御することができるという利点を持つ。当然のことながら、本発明の範囲から逸脱することなしに上述した例としての例実施形態に多くの改変を施すことができる。

【0349】

従って、使用される挿入技法は、係数の変調以前に一切の空間周波数振変換を受けることなしに、未加工のデジタル画像に適用可能である。この場合、変調された係数は、空間領域のみにおけるデジタル画像を表す係数である。更に、画像へ適用される空間周波数変換は、上記の場合と異なる分析および合成フィルタを使用することが可能であり、或いは、離散型フーリエ変換、離散型コサイン変換、または、フーリエ - メリーン変換以外の変換であってさえも差し支えない。これらの変換は、一般的なデジタル画像処理に現在使用されている。

10

【0350】

更に、本発明は、記載された例としての実施形態のみに限定されることなく、重み付け係数 D 、透かしの長さ P 、および、検出確率レベル p の値が不等式 $D \leq v$ を満足させるような相関様式において決定されるあらゆる実施形態にも関係する。

20

【0351】

本発明は、既に述べた分割および復号する方法を実行する分割を決定するデバイス及び復号するデバイスにも関係する。分割を決定する及び復号するこれらのデバイスは、図15に示すように、コンピュータ50において、独立的に、または同一コンピュータ50内において使用できる。分割決定デバイスは、各領域へ挿入された情報ビットの検出可能性の判定基準に従って適応分割を実施するように構成された分割手段500、502、503を有する。

【0352】

これらの分割手段は、既に述べたように出来るだけ各係数に依存する変調因子 K と共に、前記デジタル画像を表す全ての係数を変調するために透かし信号非感知性を保証する重み付け係数の最大値 v をコード化することを利用する。

30

【0353】

また、分割を決定するこのデバイスは、分割の各領域のサイズ P を前記領域に挿入された透かし信号の検出に関する統計的の有意なサンプルの最小サイズに対応する最小サイズ P_{start} と比較する手段500、502、503も有する。

【0354】

また、本デバイスは、検出可能性の判定基準を算定する以前に予歪みを印加する手段500、502、503も備える。分割手段は、透かし信号を挿入することによって各領域の全ての係数を変調する手段500、502、503、検出可能性の判定基準から検出可能性の範囲を算定する手段500、502、503、および検出可能性の範囲を所定のしきい値 T_c と比較するように構成された検出可能性の判定基準の有効性を検査する手段500、502、503を有する。

40

【0355】

分割手段500、502、503は、数値画像の反復的な区分によって分割を実施するよう構成され、有効性検査手段500、502、503は、前記分割における一ランクにおける各領域に関して、検出可能性の判定基準の有効性が確認された領域の少なくとも2つの小領域が存在し、かつ存在する場合に限り当該領域における更に高いランクの分割の有効性を検査するように構成される。

【0356】

また、このデバイスは、分割における一ランクにおける各領域に関して、直接の上位ランクの分割が有効であるとされなかつた時に容量値 Q をインクリメントするように構成され

50

たデジタル画像の容量Q値をインクリメントする手段500、502、503も含み、この場合の容量Qは、検出可能性の判定基準が妥当であると確認された分割によって得られた区分けされた領域の集合数に等しい。

【0357】

他の実施形態において、分割を決定するこのデバイスは、分割の一ランクにおける各領域Rに関して、直接高位のランクの分割が有効であるとされなかった場合に容量Q値をインクリメントするように構成されたインクリメント手段500、502、503、容量Qの値を固定した容量値 Q_s と比較する比較手段500、502、503、および容量値Qが固定した容量値 Q_s 未満である時に処理されるべき他の全ての領域の間の最高検出可能性を持つ領域に関して分割を繰り返すように構成された反復手段500、502、503を有する。 10

【0358】

本発明の第3実施形態において、分割手段500、502、503は、デジタル画像の反復的な結合によって分割を実施するように構成され、かつ、検出可能性の判定基準が有効であるとされなかった分割の各領域に関して、当該領域を分割の他の領域、および、好ましくは検出可能性の判定基準が有効であるとされなかった分割の他の領域と結合するように構成される。

【0359】

各領域の係数を復号することによって得られた情報ビットの検出可能性の判定基準とされる関数に適応した分割によって実施されるように構成された、完全に類似する様式において、デジタル画像内の透かし信号を復号するデバイスは、復号されるべきデジタル画像を区分けされた領域に分割する手段500、502、503を有する。また、それは、分割の各領域Rのサイズ寸Pと当該領域に挿入された透かし信号の検出に関する統計的に有意なサンプルの最小サイズに対応する最小サイズ P_{start} とを比較する手段500、502、503も備える。 20

【0360】

それは、検出可能性の判定基準から検出振幅を算定する手段500、502、503、および、検出振幅と復号に関する所定のしきい値 T_d とを比較するように構成された、検出可能性の判定基準の有効性検査を行う手段500、502、503を有する。

【0361】

復号に関するこの所定しきい値 T_d は、既に述べた分割決定方法に際して用いられる所定のしきい値 T_c 未満である。 30

【0362】

好ましい実施形態において、分割を決定するデバイスは、各領域全体に渡る当該領域の係数の変調により、ゼロ平均の疑似ランダム数列によって挿入された情報ビットの検出可能性の判定基準をチェックする手段500、502、503を含む。

【0363】

また、それは、画像を表す係数集合のここではNである集合数に等しいサイズであって中心擬似ランダム数列を生成する手段500、502、503も含む。この係数集合に、同じ情報ビットを挿入するために、中心擬似ランダム数列によって係数Xの集合を変調する手段500、502、503も、図1に示すうに、分割を決定するデバイス11に組み込まれる。 40

【0364】

また、後者(分割決定デバイス)は、通常はデジタル画像の圧縮である特定のタイプの歪みの場合には、それを記憶するために、挿入された透かしの強固さを提供して、それを保証することを可能にする歪みDを印加する手段500、502、503も含む。

【0365】

歪みを印加するこれらの手段は、変調された係数集合全体に亘って所定の歪みをシミュレートすることを実際に可能にする。ここに、集合Xの係数がスペクトル係数である場合には、それらの手段には、透かし入りの画像を得るために変調された係数集合を逆スペクト 50

ル変換する手段 500、502、503、この透かし入りの画像に歪みを印加する手段 500、502、503、および、歪みの後で、変調済み係数集合を復元するために透かし入りの画像をスペクトル変換する手段 500、502、503 が含まれる。

【0366】

この例において、逆方向スペクトル変換手段は多重解像度スペクトルウェーブレット再合成の実行に適し、順方向スペクトル変換手段はデジタル画像 I のウェーブレットへの分割の再反復に適する。

【0367】

第 1 の方法において、分割決定デバイス 11 は、係数 X 集合の初期区分に基づく反復組合わせによる分割手段も含む。

10

【0368】

これらの領域全体に渡る検出可能性の判定基準の有効性検査のために統計的に有意なサイズの領域集合に係数 X 集合を区分することをこの初期区分が可能にすることが好ましい。

【0369】

反復的組合わせによる分割手段 500、502、503 は、検出可能性の判定基準が満足されない分割の各領域に関して、当該領域を分割の他の領域と組み合わせることに適する。

【0370】

明らかなように、分割手段 500、502、503 は、本発明の好ましい実施形態を実施する第 2 の方法に従ったデジタル画像の反復的分割による画像のこの分割を形成することにも適する。

20

【0371】

この分割決定デバイス 11 は係数 X 集合の領域への分割を出力として得ることを可能にし、それにより、信頼できる検出可能性および所与の歪みに対する強固性を保持して、これらの領域の各々に情報ビットを挿入することを可能にする。集合 X の適応分割によって得られる領域の最大個数は、この集合 X の実用的な挿入容量に対応する。

【0372】

図 1 に示すように、既に述べた分割決定デバイス 11 を含む挿入デバイス 10 は、更に、幾つかの情報ビットを含む挿入されるべき透かしを読み取る手段 13 を有する。一切限定的意味をもたない一例として、2 進透かしは、透かしを入れられるべき画像の著者名コード化を表す 1000111 であっても差し支えない。挿入手段 12 自体は従来型であって、透かしの各種情報ビットを変調により分割決定デバイス 11 によって決定される各種挿入キャリヤに挿入することを可能にする。

30

【0373】

本発明による透かし信号 w を挿入するためのデバイスは、画像 I の空間周波数変換手段 500、502、503、および、例えば画像 I のウェーブレット分解を実施するように構成された 2 つのフィルタによってデシメータと関連した分析フィルタを含む。また、それ（前記デバイス）は、サブバンドに変換された領域に透かし信号を挿入した後で、画像 I を再構成する逆方向空間周波数再構成手段 500、502、503 も含む。

【0374】

40

また、それ（前記デバイス）は、重み付け係数 w を用いる既に述べた線形モデルに従い、集合数 P の係数部分集合を変調するように構成された長さ P の透かし信号 w を挿入する手段 500、502、503 も含む。

【0375】

また、この挿入デバイスは、透かし信号の非感知性を保証する透かしの長さ P の関数として、重み付け係数の最大値 w_{max} を計算する手段 500、502、503 を含む。これらの計算手段は、既に記述された透かし信号 w の長さ P に依存する関数 $w_{max}(P, T)$ 、および画像信号 I を分解するために用いられるスペクトル変換 T を使用する。

【0376】

一般に、この挿入デバイスは、決定された重み付け係数の値が、透かし信号 w の長さ P お

50

より検出確率レベル p の決定値に関する最大値 v 未満であり、しかも最小値 v 以上であるように、透かし信号 w の長さ P 、重み付け係数 α 、及び確率レベル p の適合可能な値を決定する手段 500、502、503も有する。

【0377】

また、計算手段 500、502、503も次に示すタイプの計算機能を用いて最小値または検出振幅 D を決定するように構成される。

【0378】

【数27】

10

$$\alpha_D(P) = \frac{\alpha(\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_n^2})}{\sqrt{bP - c}}$$

【0379】

本発明の一実施形態において、挿入デバイスは、感知限界における透かし信号 w の非感知性を保証する変調可能な係数集合の集合数 N に等しい透かし信号 w の長さ P および所定の検出確率 p に関して算定された最大値 $v(N)$ に等しい重み付け係数の最小値 D に関して透かし信号 w の長さ P 。を算定する手段 500、502、503、および、この算定された長さ P 。と変調可能な係数 X 集合の集合数 N とを比較する手段 500、502、503も備える。

20

【0380】

また、それ(前記挿入デバイス)は、変調可能な係数 X 集合の集合数 N に等しい透かし信号の長さ P に関して算定された最大値 v に等しい重み付け係数の最小値 D に関して得られる検出確率レベル p' を算定する手段 500、502、503も含む。

【0381】

他の一実施形態において、挿入デバイスは、重み付け係数の最小値 D がこのしきい値 P_t および所定の検出確率レベル p に等しい透かし信号 w の長さ P の重み付け係数の最大値 v に等しいように、決定された透かし信号 w の長さのしきい値 P^* を算定する手段 500、502、503を含む。

30

【0382】

既に述べた全てデバイスはコンピュータ 50 のマイクロプロセッサ 500 に組み込まれ、読み取り専用メモリ 502 は分割用、及び / 又は、透かし信号決定用、及び / 又は、透かし信号復号用プログラムを記憶するように構成され、ランダムアクセスメモリ 503 は、前記プログラムの実行期間中に修正される変数を記憶するように構成されたレジスタを含む。

【0383】

マイクロプロセッサ 500 はコンピュータ 50 に統合され、ドキュメントを受信および記憶するために入力 / 出力カード 506 によって、異なる周辺装置、例えば、デジタルカメラ 507 またはマイクロホン 511 へ接続可能である。デジタルカメラ 507 は、透かし信号を挿入することによって認証されるべき画像を供給することを明確に可能にする。

40

【0384】

このコンピュータ 50 は、透かしが入られるべき画像を、必要に応じて受け取るために通信ネットワーク 513 へ接続された通信インターフェイス 512 を備える。また、コンピュータ 50 は、ハードディスク 508 のようなドキュメント記憶手段も備え、ディスクドライブ 509 によって、ディスクケット 510 のような取外し可能なドキュメント記憶手段と協調するように構成される。

【0385】

50

これらの固定または取外し可能な記憶手段は本発明に基づく異なる方法のコードを含むことも可能であり、マイクロプロセッサ500によって一旦読み取られた前記コードはハードディスク508に記憶される。一例として、デバイスが本発明を実行できるようにするプログラムは読み取り専用メモリ502に記憶され得る。第2の例として、プログラムは、上に述べたように、通信ネットワーク513によって受け取り可能である。

【0386】

また、コンピュータ50は、例えばキー・ボード514または他の任意の手段によるオペレータとのインターフェースとして役立つスクリーン504も備える。中央ユニット500(CPU)は、本発明の具体化に関する命令を実行する。例えば読み取り専用メモリ502のような持久メモリによって記憶されている本発明に関係するプログラム及び方法は、電力供給に際して、ランダムアクセスメモリ503(RAM)に転送される。従って、前記メモリは、本発明の実行可能なコードおよび本発明を実行するために必要な変数を含むことになる。

【0387】

このランダムアクセスメモリ503は、当該プログラムの実行に必要な変数を記憶する異なるレジスタ、および、特に、検出可能性の判定基準、最小値 P_{start} 、及び、それぞれ符号化と復号に関するしきい値 T_c と T_d を確認するために一時的に変調または復号される領域Rの係数を記憶するレジスタを含む。また、このランダムアクセスメモリ503は、検出可能性の判定基準をチェックするために一時的に変調または復号される領域の係数を記憶するための X_i 、 X_j レジスタ、及び、集合Xの分割を決定するために生成された中心擬似ランダム数列を記憶するためのレジスタwも含む。

【0388】

最後に、ランダムアクセスメモリ503は、 $b_{base}(T)$ の視覚的振幅表を記憶するレジスタ、スペクトル係数Xを記憶するレジスタ、非感知性限界における視覚的振幅 $v(N)$ を算定するレジスタ、透かし信号w長 P^* の関数として検出振幅 D を決定するために必要な分散 x^2 の定数a、b、cの値を記憶するレジスタ、及び、算定された最小値 P_0 を記憶するレジスタを含む。

【0389】

通信バス501はコンピュータ50の、又は、それにリンクした異なるサブエレメント間の通信を提供する。バス501の表現は限定的でなく、また、マイクロプロセッサ500は、明確に、あらゆるサブエレメントに対して直接的または他のサブエレメントによって命令を指示することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】透かしをデジタル画像に挿入するデバイスを示す全体的なダイアグラムである。

【図2】透かしの挿入に際して用いられるスペクトル分解のステップを概略的に示す図である。

【図3】本発明の第1実施形態に係る分割を決定する方法のアルゴリズムを示す図である。

【図4】領域の分割の例を示す図である。

【図5】本発明の第2実施形態に係る分割を決定する方法のアルゴリズムを示す図である。

【図6】本発明の第1実施形態に係る復号する方法のアルゴリズムを示す図である。

【図7】図1の分割を決定する方法のデジタル画像への適用を例示するアルゴリズムを示す図である。

【図8】図4の復号する方法のデジタル画像への適用を例示するアルゴリズムを示す図である。

【図9】本発明の第3の実施形態に係る分割を決定する方法の異種実施形態を示す構成図である。

【図10】本発明の好ましい実施形態に係るデジタル画像への分割を決定する方法の適用を示す図である。

10

20

30

40

50

【図1】本発明の好ましい実施形態の第1の方法に係る分割を決定する方法のアルゴリズムを示す図である。

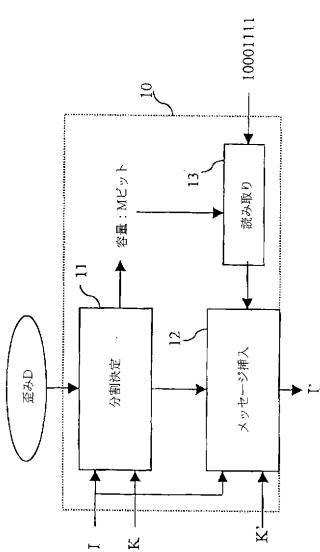
【図2】本発明の好ましい実施形態の第2の方法に係る分割を決定する方法のアルゴリズムを示す図である。

【図3】本発明の一実施形態に係る挿入方法のアルゴリズムを示す図である。

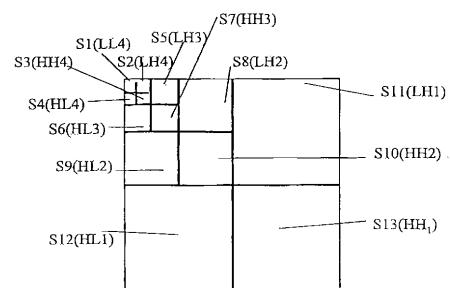
【図4】図3の挿入方法をグラフとして示す図である。

【図5】本発明による方法を実行するように構成されたデバイスを示す構成図である。

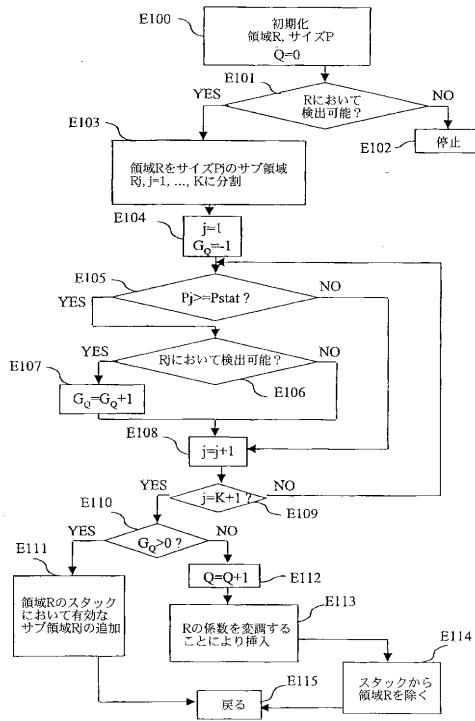
【図1】



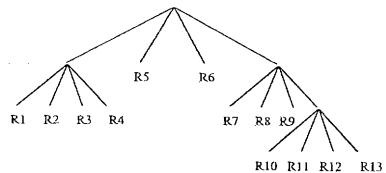
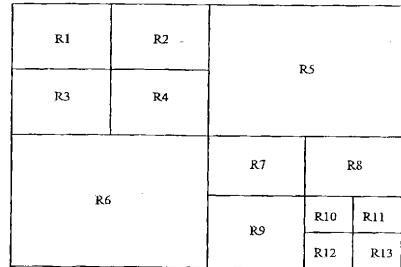
【図2】



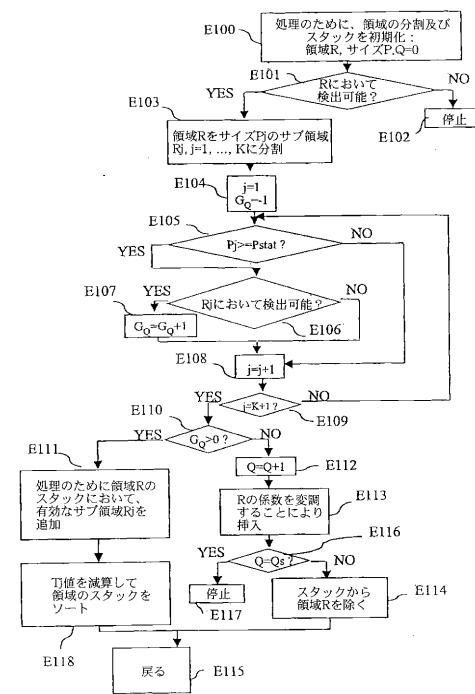
【図3】



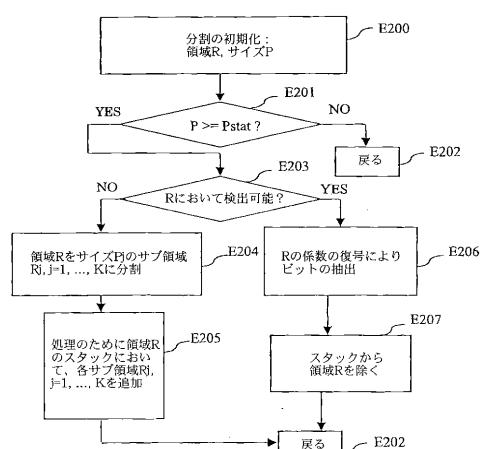
【図4】



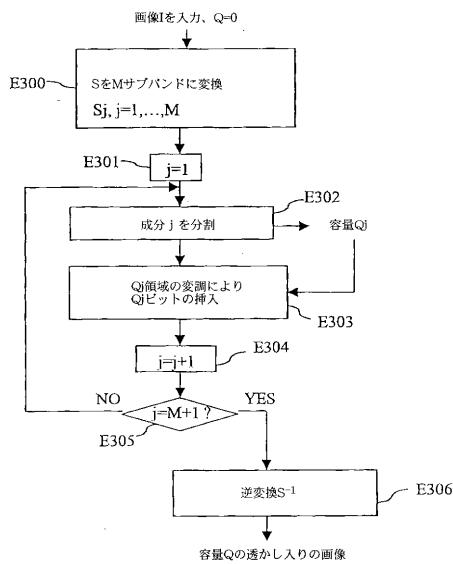
【図5】



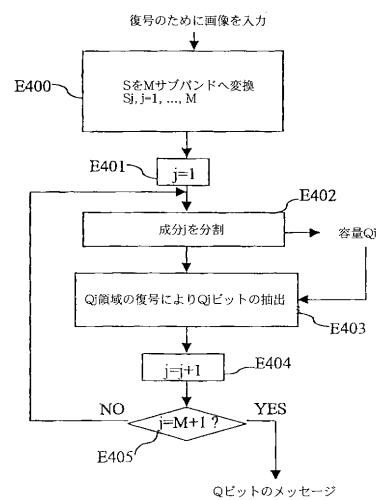
【図6】



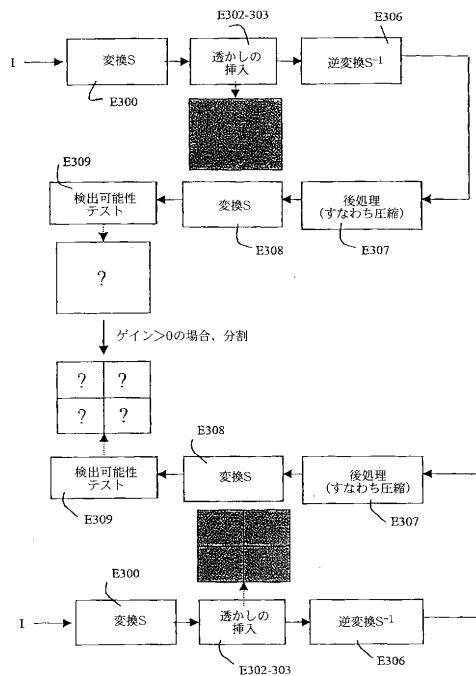
【図7】



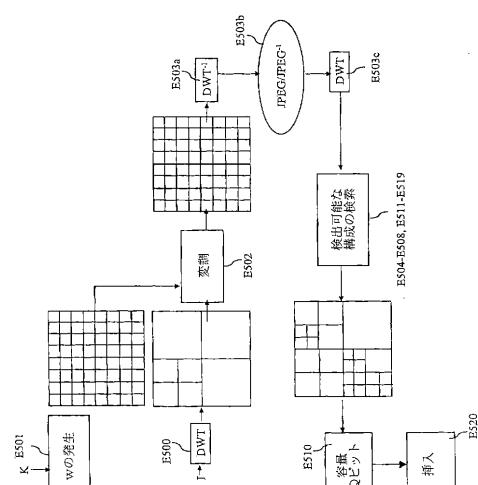
【図8】



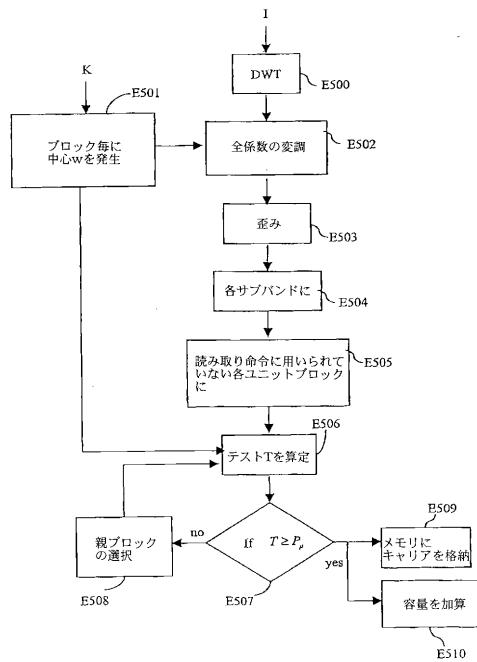
【図9】



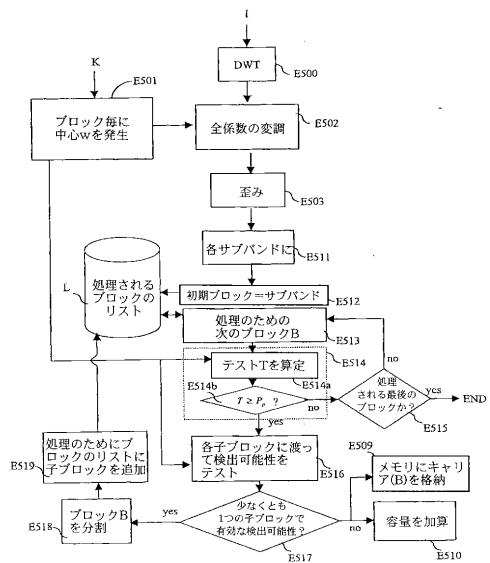
【図10】



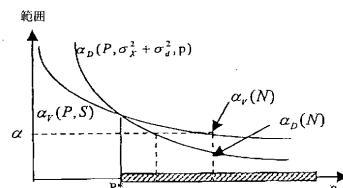
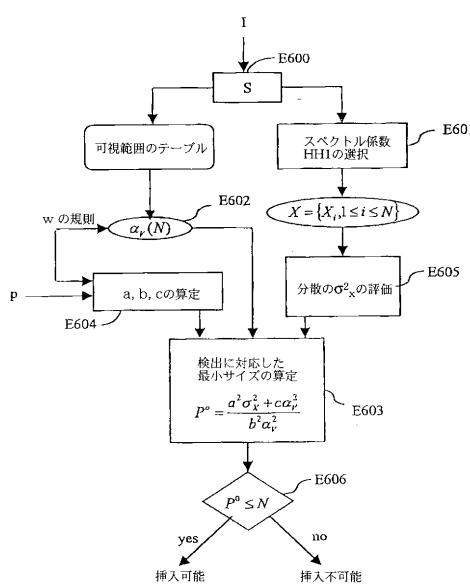
【図11】



【図12】

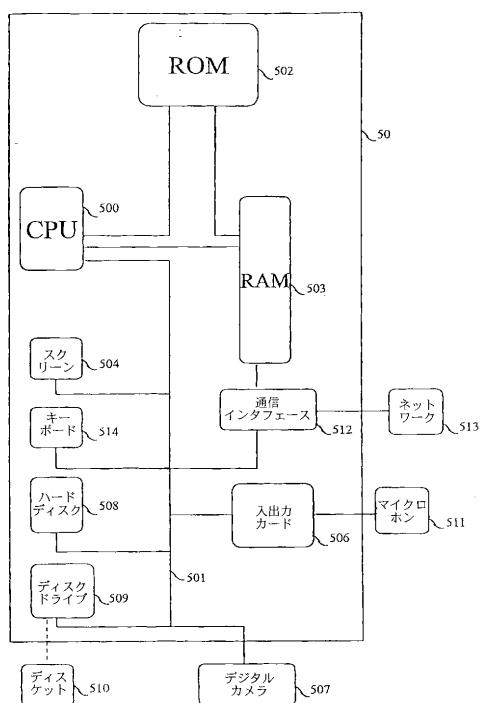


【図13】



【図14】

【図15】



フロントページの続き

(72)発明者 イオアナ ドネスキュ

フランス国 レンヌ - アタラント、セデックス セッソン - セヴィニエ 35517、リュ ドウ
ラ トゥッシュ - ランペール キヤノン リサーチ センター フランス エス. エー. 内

(72)発明者 エリック エヌグイエン

フランス国 レンヌ - アタラント、セデックス セッソン - セヴィニエ 35517、リュ ドウ
ラ トゥッシュ - ランペール キヤノン リサーチ センター フランス エス. エー. 内

(72)発明者 パトリス オンノ

フランス国 レンヌ - アタラント、セデックス セッソン - セヴィニエ 35517、リュ ドウ
ラ トゥッシュ - ランペール キヤノン リサーチ センター フランス エス. エー. 内

審査官 橋爪 正樹

(56)参考文献 特開平07-123244(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04N 1/38- 1/393

G06T 1/00