

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4506991号
(P4506991)

(45) 発行日 平成22年7月21日(2010.7.21)

(24) 登録日 平成22年5月14日(2010.5.14)

(51) Int.Cl.		F I	
HO4N 7/30	(2006.01)	HO4N 7/133	Z
HO4N 1/387	(2006.01)	HO4N 1/387	
GO6T 1/00	(2006.01)	GO6T 1/00	500B
HO4N 7/32	(2006.01)	HO4N 7/137	Z
HO3M 7/30	(2006.01)	HO3M 7/30	A

請求項の数 10 (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願2007-26098 (P2007-26098)	(73) 特許権者	000004237
(22) 出願日	平成19年2月5日(2007.2.5)		日本電気株式会社
(62) 分割の表示	特願2004-162106 (P2004-162106) の分割		東京都港区芝五丁目7番1号
原出願日	平成11年6月17日(1999.6.17)	(74) 代理人	100123788
(65) 公開番号	特開2007-189708 (P2007-189708A)		弁理士 宮崎 昭夫
(43) 公開日	平成19年7月26日(2007.7.26)	(74) 代理人	100106138
審査請求日	平成19年2月5日(2007.2.5)		弁理士 石橋 政幸
(31) 優先権主張番号	60/090532	(74) 代理人	100127454
(32) 優先日	平成10年6月24日(1998.6.24)		弁理士 緒方 雅昭
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(72) 発明者	インゲマー コックス
(31) 優先権主張番号	09/118467		アメリカ合衆国、 ニュージャージー O
(32) 優先日	平成10年7月17日(1998.7.17)		8540、 プリンストン、 インディペン
(33) 優先権主張国	米国 (US)		デンス ウェイ 4 エヌ・イー・シー
			・リサーチ・インスティテューテュ・イン
			ク内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ロバストなデジタル電子透かし入れ信号の挿入方法および電子透かし検出方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

入力ビデオ画像を受信するステップと、
 前記入力ビデオ画像に対して離散余弦変換(DCT)を行って、入力ビデオ画像DCT値を得るステップと、
 前記入力ビデオ画像DCT値に電子透かし信号を加えて、電子透かし入りDCT値を得るステップと、
 前記電子透かし入りDCT値に対して逆DCTを行って、電子透かし画像を得るステップと、
 前記電子透かし画像から、メモリに蓄積された予測画像を引いて、残差画像を生成するステップと、
 前記残差画像に離散余弦変換を行い、残差画像DCT値を得て、前記残差画像DCT値を量子化し、残差画像量子化DCT値を得るステップと、
 前記残差画像量子化DCT値を逆量子化し、残差画像逆量子化DCT値を得るステップと、
 前記予測画像の離散余弦変換を行い、予測画像DCT値を得るステップと、
 前記残差画像逆量子化DCT値と前記予測画像DCT値とを合計して、復号画像DCT係数を得るステップと、
 前記復号画像DCT係数に対して電子透かし抽出を適用し、得られた抽出値と電子透かしのターゲット値とを比較して補正信号を計算する補正信号算出ステップと、

10

20

前記補正信号を前記残差画像量子化 DCT 値に加算して、出力信号を得るステップと、
前記出力信号の逆量子化を行って、出力信号逆量子化値を得、前記出力信号逆量子化値の逆 DCT を行い、得られた信号を前記予測画像と合計することで、加算信号を得るステップと、

前記加算信号から予測画像を生成し、前記メモリに格納するステップと、

前記出力信号を可変長符号化して、前記入力ビデオ画像の電子透かし入れされた MPEG ビデオ信号を得るステップと、

を有する、ビデオ画像中に電子透かし信号を挿入する方法。

【請求項 2】

前記補正信号算出ステップにおいて、前記抽出値が対応する前記ターゲット値を超える場合には前記補正信号として負の値が生成し、前記抽出値が対応する前記ターゲット値より小さい場合には前記補正信号として正の値が生成する、請求項 1 に記載の電子透かし信号を挿入する方法。

10

【請求項 3】

前記正の値が + 1 であり、前記負の値が - 1 である請求項 2 に記載の電子透かし信号を挿入する方法。

【請求項 4】

前記補正信号算出ステップにおいて、対応する前記残差画像量子化 DCT 値がゼロである場合に、補正信号としてゼロが発生する請求項 2 に記載の電子透かし信号を挿入する方法。

20

【請求項 5】

前記正の値が + 1 であり、前記負の値が - 1 である請求項 4 に記載の電子透かし信号を挿入する方法。

【請求項 6】

入力ビデオ画像を受信するステップと、

前記入力ビデオ画像に対して離散余弦変換 (DCT) を行って、入力ビデオ画像 DCT 値を得るステップと、

前記入力ビデオ画像 DCT 値に電子透かし信号を加えて、電子透かし入り DCT 値を得るステップと、

メモリに蓄積された予測画像に対して離散余弦変換を行って、予測画像 DCT 値を得るステップと、

30

前記電子透かし入り DCT 値から前記予測画像 DCT 値を引いて、残差画像 DCT 値を得るステップと、

前記残差画像 DCT 値を量子化して、残差画像量子化 DCT 値を得るステップと、

前記残差画像量子化 DCT 値を逆量子化して残差画像逆量子化 DCT 値を得、前記残差画像逆量子化 DCT 値と前記予測画像 DCT 値とを合計して、復号画像 DCT 係数を得るステップと、

前記復号画像 DCT 係数に対して電子透かし抽出を適用し、得られた抽出値と電子透かしのターゲット値とを比較して補正信号を計算する補正信号算出ステップと、

前記補正信号を前記残差画像量子化 DCT 値と合計して、出力信号を得るステップと、

40

前記出力信号の逆量子化を行って出力信号逆量子化値を得、前記出力信号逆量子化値の逆 DCT を行い、得られた信号を前記予測画像と合計することで、局所復号画像を得るステップと、

前記局所復号画像から予測画像を生成し、前記メモリに格納するステップと、

前記出力信号を可変長符号化して、前記入力ビデオ画像の電子透かし入れされた MPEG ビデオ信号を得るステップと、

を有する、ビデオ画像中へ電子透かし信号を挿入する方法。

【請求項 7】

前記補正信号算出ステップにおいて、前記抽出値が対応する前記ターゲット値を超える場合には前記補正信号として負の値が生成し、前記抽出値が対応する前記ターゲット値よ

50

り小さい場合には前記補正信号として正の値が生成する、請求項 6 に記載の電子透かし信号を挿入する方法。

【請求項 8】

前記正の値が + 1 であり、前記負の値が - 1 である請求項 7 に記載の電子透かし信号を挿入する方法。

【請求項 9】

前記補正信号算出ステップにおいて、対応する前記残差画像量子化 D C T 値がゼロである場合に、補正信号としてゼロが発生する請求項 7 に記載の電子透かし信号を挿入する方法。

【請求項 10】

前記正の値が + 1 であり、前記負の値が - 1 である請求項 9 に記載の電子透かし信号を挿入する方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、画像、映像およびマルチメディアデータを含むデータのデジタル電子透かし入れ（デジタル・ウォーターマーキング；digital watermarking）に関する。特に本発明は、電子透かし入れの目的で埋め込まれた信号の挿入と、検出または抽出とに関する。その挿入、検出手順は、データの領域（サブリージョン；subregion）の合計に対して適用される。本発明では、これらの領域が M P E G (moving picture experts group) や J P E G (joint photograph coding experts group) による圧縮および伸長に使用される 8 × 8 ピクセル（画素）のブロックに対応する場合には、電子透かし入れ手順をこれらの圧縮アルゴリズムと密接に結合して計算量の著しい節減を達成することができる。本発明はさらに、電子透かし入れされたデータが、電子透かしの挿入の時点と検出の時点との間で歪みを受けることがあるかもしれないような場合における、電子透かし入れのための信号の挿入と、挿入された信号の検出とに関する。

【背景技術】

【0002】

画像（イメージ）、映像（ビデオ）およびマルチメディア等のデジタル化されたメディアの普及により、その物の源泉の識別を容易にするセキュリティシステムに対するニーズが生じている。

【0003】

コンテンツプロバイダ、すなわちデジタルデータ形式の作品の所有者には、著作権所有の認証、コピーコントロールおよび管理のために、ソフトウェアおよび／またはハードウェア装置により後にでも検出できるような信号を、映像／画像／マルチメディアデータに埋め込みたいというニーズがある。

【0004】

例えば、データを複製してはならないことを示すために、符号化された信号をデータへ挿入することができる。埋め込まれる信号は、画像の忠実性（画質）を保存し、通常の信号変換に対してロバスト（頑強）でありかつタンパリング（改ざん；tampering）に耐える性質を有していなければならない。さらに、現在の要求ではフレーム当たり数ビットと比較的低いものであるが、システムが提供できるデータレートも考慮しなければならない。

【0005】

1995年9月28日に出願された米国特許出願第08/534,894号（対応日本出願：特開平9-191394号公報参照）“安全なマルチメディアデータ用スペクトラム拡散電子透かし入れ(Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia Data)”には、コンテンツの所有者を識別するために、画像の知覚的な意味のある領域に電子透かし信号を埋め込むスペクトラム拡散電子透かし入れ方法が提示されている。この方法の長所は、電子透かしを除去するのが非常に困難なことである。事実、この方法では、比較のための原画像または

10

20

30

40

50

原データが入手可能な場合にしか、電子透かしを読み出すことができない。これは、電子透かしの原スペクトラムが非線形乗法手順により画像のスペクトラムに整形（シェーピング）されており、このようなスペクトルシェーピングは、マッチドフィルタによる検出の前に除去されなければならないからである。これに加え、最大の方からN個のスペクトル係数に電子透かしが挿入されるが、その係数の大きさの順序は、電子透かし挿入後は挿入前とは変わってしまい、挿入された係数を特定できなくなるからである。したがって、この方法によって埋め込まれた電子透かしは、いかなるソフトウェアおよびハードウェア装置をもってしても、電子透かし入れされていないオリジナル（原画）にアクセスすることなしに、直接読み出すことはできない。

【0006】

インターネット上のWWW(World Wide Web)サイト<http://www.neci.nj.nec.com/tr/index.html> (Technical Report No. 95-10) から入手できるコックス等 (Cox et al.) の文献 “安全なマルチメディア用スペクトラム電子透かし入れ (Secured Spectrum Watermarking for Multimedia)” では、電子透かし入れの目的でデジタルデータに擬似乱数ノイズ列を埋め込むスペクトラム拡散電子透かし入れが記載されている。

【0007】

上述した従来技術の電子透かしを抽出する方法では、原画像スペクトラムを電子透かし画像スペクトラムから減じる必要がある。そのため、復号器が原画像もしくは原画像スペクトラムを利用できない場合には、この方法の使用は制約される。応用によっては、このことは大きな困難を伴う。例えば、ある種の操作（例えばコンテンツのコピー）を行ったり、もしくはその操作を拒否したりするための情報を電子透かしとして埋め込んで、サードパーティから提供される装置でこの情報を読み出して制御を行う場合、前述の原画を必要とする方法を用いることはほとんど不可能である。

【0008】

アール・ディー・プリュース等 (R. D. Preuss et al.) の米国特許第5,319,735号 “埋め込みシグナリング (Embedded Signaling)” では、デジタル情報が符号化されてコードシンボル系列が作り出される。コードシンボル系列は、そのコードシンボル系列を表す対応するスペクトラム拡散コード信号系列を発生することにより、オーディオ信号へ埋め込まれる。コード信号の周波数成分は、オーディオ信号の帯域幅内の予め選定されたシグナリング帯域内に本質的に閉じ込められ、コード信号の連続するセグメントは系列内の連続するコードシンボルに対応する。オーディオ信号は、シグナリング帯域を包含する周波数帯域にわたって連続的に周波数解析され、コード信号は、その解析結果の関数としてダイナミックにフィルタ処理される。これにより、コード信号から、各瞬時ににおいて対応する周波数範囲内のオーディオ信号周波数成分のレベルの予め選定された部分であるような周波数成分レベルを本質的に有する、修正されたコード信号が得られる。修正されたコード信号およびオーディオ信号を結合して、デジタル情報が埋め込まれた合成オーディオ信号が得られる。次に、この合成オーディオ信号は、記録媒体上に記録されるか、あるいは送信チャネルへ送られる。この過程での2つのキーとなる要素は、それぞれ、挿入段階および抽出段階で生じるスペクトル整形（シェーピング）およびスペクトル等化であり、これにより、埋め込まれた信号は、電子透かし入れがなされていない原データへアクセスすることなく、抽出することができる。

【0009】

コックス (Cox) の米国特許第5,848,155号 “埋め込みシグナリング用スペクトラム拡散電子透かし (A Spread Spectrum Watermark for Embedded Signaling)” には、原データあるいは電子透かし入れされていないデータを使用せずに、電子透かし入れされた画像や映像から、埋め込まれたデータ中の電子透かしを抽出する方法が記載されている。

【0010】

シグナリングを埋め込む目的で画像や画像データに電子透かしを挿入する方法では、画像全体のDCT（離散コサイン変換；Discrete Cosine Transform）およびその逆変換（IDCT）が計算される必要がある。Nを画像内の画素数として、DCTを（N 1

10

20

30

40

50

o g N) のオーダの計算量で計算する高速アルゴリズム、すなわち、画素数 N の増加に対して計算量がたかだか $(N \log N)$ に比例して長くなるような高速アルゴリズムがある。しかしながら、 $N = 512 \times 512$ (横 512 画素、縦 512 画素) であるような画像に対しては、要求される計算量は依然として大きい。符号化および抽出処理が、映像レート、すなわち毎秒 30 フレームの速度で行われなければならない場合は、特にそうである。この方法は、MPEG-2 伸長に必要な計算量に比べておよそ 30 倍の計算量を必要とする。

【0011】

リアルタイムで映像電子透かし入れを達成する 1 つの方法は、 N 番目ごとのフレームにしか電子透かし入れをしないことである。しかしながら、コンテンツのオーナーは、全ての映像フレームを保護したいと望む。さらに、どのフレームに埋め込まれた信号が含まれるかが分かっただけでは、映像信号を著しく劣化させることなくそれらのフレームを除去することは簡単である。したがって、この方法を用いるのは好ましくない。

【0012】

別のオプションは、 $n \ll N$ として、画像 (小画像) 中の $n \times n$ 画素からなるブロックに電子透かしを挿入することである。ブロックサイズを 8×8 、すなわち、MPEG 画像圧縮に使用するのと同サイズ、に選定すると、電子透かし挿入および抽出手順を MPEG の圧縮および伸長アルゴリズムと密接に結合することができる。電子透かしの挿入や抽出において最もコストがかかる計算は、DCT およびその逆変換の計算に関連しており、これらのステップは圧縮および伸長アルゴリズムの一部として既に計算されているため、相当な計算の節減を達成することができる。したがって、電子透かし入れを行うことに伴うコスト増分は非常にわずかなものとなり、典型的には MPEG に伴う計算要求量の 5% よりも少ない。

【0013】

1996 年 9 月 19 日に出願された米国特許出願第 08/715,953 号 (対応日本出願: 特開平 10-308867 号公報参照) “MPEG/JPEG 係数を使用する画像データの電子透かし入れ (Watermarking of Image Data Using MPEG/JPEG Coefficients)” では、MPEG/JPEG 係数を使用して画像データを符号化することにより、この作業を進展させている。

【0014】

1996 年 11 月 5 日に提出された米国特許出願第 08/746,022 号 (対応日本出願: 特開平 10-145757 号公報参照) “デジタル電子透かし入れ (Digital Watermarking)” には、電子透かし情報を小画像 (サブイメージ) 内に格納し、小画像から電子透かし情報を抽出することが記載されている。

【0015】

1997 年 2 月 9 ~ 14 日、Proc. of EI '97, vol. 30-16 のコックス (Cox et al.) 等の文献 “A review of watermarking and the improvement of perceptual modeling” は、電子透かし入れについての最近の動向をまとめた総説である。

【0016】

MPEG 映像や JPEG 静止画像に電子透かし入れを行うためのいくつかの提案がなされている。いずれの場合も、各 8×8 DCT ブロック (8 画素 \times 8 画素のサイズのブロックに、DCT を行って得られる 8×8 のブロック) は、電子透かしやその一部を含むように修正される。したがって、電子透かしを復号するには、各 8×8 ブロックを個別に解析してその中に含まれる電子透かし信号を抽出する必要がある。次に、個別に抽出された信号を結合して合成電子透かしを形成し、既知の電子透かしと比較する。各ブロックを個別に解析しなければならないため、非圧縮画像をブロックベースでの DCT 表現へ変換し戻さなければならず、それはコストのかかる計算である。したがって、復号器は、DCT ドメイン (領域) データでは計算の観点からは効率的ではあるが、空間ドメインデータから電子透かしを抽出するには、はるかにコストがかかる。

【特許文献 1】特開平 9 - 191394 号公報

10

20

30

40

50

【特許文献2】米国特許第5,319,735号明細書

【特許文献3】米国特許第5,848,155号明細書

【特許文献4】特開平10-308867号公報

【特許文献5】特開平10-145757号公報

【非特許文献1】Andrew B. Watson, "DCT Quantization Matrices Usually Optimized for Indirect Images", SPIE, vol. 1913(1993), pp. 202-216

【非特許文献2】Christine I. Podilchuk and Wenjun Zeng, "Digital Image Watermarking Using Visual Models", Proc. of EI '97, vol. 3016

【非特許文献3】Albert J. Ahumada Jr. and Heidi A. Peterson, "Luminance-Model-Based DCT Quantization for Color Image Compression", SPIE, Vol. 1666(1992), pp. 365-374

10

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0017】

本発明の目的は、デジタルデータへ電子透かしを挿入するためのよりシンプルで効率的でロバストであり、かつ、アルゴリズムの変更に柔軟に対応できる電子透かしの挿入方法と、デジタルデータから電子透かしを抽出するためのよりシンプルで効率的でロバストであり、かつ、アルゴリズムの変更に柔軟に対応できる電子透かしの検出方法を提供することにある。さらに本発明は、さまざまな幾何学的歪みの存在下であっても電子透かしを検出できる電子透かしの挿入方法および検出方法とを提供することも目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0018】

本発明の第1の面に従えば、電子透かし入れがなされているデータの複数の $n \times n$ ブロックを有する電子透かし入れされたデータを受信するステップと、電子透かし入れがなされているデータの複数の $n \times n$ ブロックを合計して、少なくとも1つの $n \times n$ ブロックの合計電子透かしデータを作成するステップと、各 $n \times n$ ブロックからの所定の電子透かし入れされたデータを合計して、抽出された電子透かしの各要素を生じることにより、少なくとも1つの $n \times n$ ブロックから電子透かしを抽出するステップと、を有する、電子透かし入れがなされたデータから電子透かしを検出する方法が、提供される。

【0019】

30

すなわち本発明は、画像の忠実度を遥かに良好に制御する人間の視覚系の特定のモデルを利用する、電子透かしの新しい挿入方法に関係している。本発明によれば、原画とは区別できないように電子透かしを挿入した画像であっても、フィッシャーのZ変換値にして1.5以上となる（すなわち、電子透かし挿入画像と電子透かしとが無相関である確率が、正規分布において標準偏差の1.5倍よりも外側の領域に相当する確率以下となる）ような大きなレスポンスが得られることがテストから判っている。

【0020】

本発明の方法では、種々のタイプのアタックに対するロバストさ（ロバストネス）の程度を、その特定のアタックと容易に関連づけられる方法によって制御する。

【0021】

40

本発明の方法は適応性を有するため、検出器を変えることなしで、人間の視覚系モデルおよびアタック処理技術をあとで変更できる。その結果、すでに多くの検出器を取り付けた後であっても、電子透かし入れ、特にDVD（デジタルビデオディスク；digital video disk）の電子透かし挿入方式の改良を継続することができる。それは、既存の復号器を変えずに符号化技術を改良できるMPEGビデオの状況に似ている。

【0022】

本発明の挿入方法を使用すれば、MPEGドメインもしくは伸長ドメイン内でのシンプルな検出アルゴリズムが可能となる。

【0023】

本発明は、また、着信映像がMPEG圧縮であっても伸長されたものであっても、実施

50

が容易で、分析が容易で、かつ計算コストが低い新しい検出方法にも関連している。

【0024】

本発明において、複数の $n \times n$ ブロックを合計するとは、 $n \times n$ ブロックが数学上の $n \times n$ 行列であるとみなして、これら複数の $n \times n$ ブロックのそれぞれに対応する行列の行列和を算出し、すなわち、行列の要素ごとに加算を行い、算出結果の $n \times n$ 行列に対応する $n \times n$ ブロックを求めることである。算出結果の $n \times n$ ブロックのことを合計ブロックともいう。

【0025】

本発明は、さらに、データの中に多数のパターンを隠す新しい挿入方法にも関する。これらのパターンは2つのカテゴリーに分類され、それらは、1) 検出中に並進シフトを補償するためのレジストレーション(位置決め)パターンと、2) 電子透かしの情報内容を符号化する電子透かしパターンである。

【0026】

すなわち本発明の第2の面に従えば、電子透かし入れされたデータが歪みを受けた後であっても電子透かし信号が抽出できるように、抽出可能な電子透かし信号を画像データに挿入する電子透かし挿入方法であって、電子透かし入れされるべき画像データを準備するステップと、画像データをコピーするステップと、画像データのコピーに、予め規定された歪みを加えるステップと、画像データの歪んだコピー内に電子透かし信号を挿入するステップと、画像データの歪んだコピーに電子透かし信号を挿入して得られた被電子透かし入れ画像データから、歪んだ画像データのコピーを差し引いて、電子透かしパターンを生成するステップと、電子透かしパターンに対して逆歪み操作を施し、歪んでいない画像データに対する電子透かし入れされたパターンを発生するステップと、電子透かし入れされるべき画像データと、歪んでいない画像データに対する電子透かしパターンとを結合して、電子透かし入れされたデータを得るステップと、を含む、電子透かし挿入方法が提供される。

【0027】

本発明の第3の面に従えば、2次元並進歪みを受けている電子透かし入れされた画像データから電子透かしを抽出する電子透かし検出方法であって、受信した歪んでいる電子透かし入れされた画像データを一連の複数の $n \times n$ ブロックへ分割するステップと、所定数の $n \times n$ ブロック内の電子透かし入れされた画像データをまとめて合計するステップと、合計された $n \times n$ ブロックが空間ドメインでのものでない場合には、その合計された $n \times n$ ブロックを空間ドメインでのものに変換するステップと、合計された $n \times n$ ブロックの2次元並進歪みを決定するステップと、決定された歪みに従って、合計された $n \times n$ ブロックをシフトするステップと、シフトされた $n \times n$ ブロックを変換係数ドメインでのものに変換するステップと、変換された $n \times n$ ブロックから、考えられる電子透かし信号を抽出するステップと、考えられる電子透かしと既知の電子透かしとの相関を計算するステップと、考えられる電子透かしの巡回シフトに対して相関を計算するステップを繰り返すステップと、相関を計算するステップでの結果に基づいて電子透かしの存在を決定するステップと、を有する、電子透かし検出方法が、提供される。

【0028】

本発明によれば、電子透かし入れされたデータ(被電子透かし入れデータ)が予め規定されたスケール変化を受けた後であっても、電子透かし検出器を変更することなく、電子透かしを検出することができる電子透かしの挿入方法が提供される。

【0029】

本発明によれば、さらに、MPEGドメインにおいても伸長ドメイン(非圧縮ドメイン)においても計算コストが低廉である電子透かしの検出方法が提供される。

【0030】

またさらに、本発明によれば、検出器を変更する必要なく、アタックに耐えるデジタル電子透かし方法が提供される。

【発明の効果】

【 0 0 3 1 】

以上説明したように本発明によれば、種々のアタックに対してロバストであり、検出器を変えることなく挿入／抽出アルゴリズムの変更に対応でき、シンプルかつ少ない計算量で電子透かしの挿入や抽出を行えるようになるという効果がある。さらに本発明は、さまざまな幾何学的歪みの存在下であっても電子透かしを検出できるようになるという効果がある。

【 0 0 3 2 】

空間ドメインおよびDCTドメインの両方で電子透かしを計算効率よく検出できるようにするために、本発明では、DCTドメイン内において全ての 8×8 ブロックを合計した結果、もしくはDCTドメイン内において全ての 8×8 ブロックのサブセットを合計した結果に、電子透かしを挿入することができる。この方法の主要な利点は、画像が空間ドメイン内でしか得られない場合には、空間ドメイン内で総和を計算することもできる。この場合は、総和をとることによっていくつかの 8×8 ブロックを求め、次に、この1ブロックだけをDCTドメインへ変換すればよい。それは、DCTブロックの合計が、画素値の合計にDCTを行った結果に等しいためである。したがって、DCTドメインおよび空間ドメイン内での復号の計算コストはほぼ同じになる。

【 0 0 3 3 】

DCTブロックを合計した結果に電子透かしを挿入することの第2の利点は、画像全体に電子透かしを配分する等価な方法が無数にあることである。例えば、電子透かしを挿入するために、DCTブロックを合計して得られるブロックの第 i 番目の係数を i だけ変化させる必要がある場合、画像内に M ブロックがあれば、個別の各ブロックへ i/M を加算することができる。あるいは、画像忠実度の一時的な問題点を無視すれば、ブロック1においては第 i 番目の係数に i を加算して、残りの $M-1$ ブロックは不変とすることができる。この1対多マッピング（ある1つの電子透かし挿入結果を実現する方法が複数存在すること）により、復号器を変えずに挿入アルゴリズムを変えることができる。このことは非常に重要な特徴である。なぜなら、ある電子透かし入れの応用では、多数のハードウェア復号器が出荷されると、復号器を変更することは現実的でなくなるためである。しかしながら、ここに記載する方法を使用することによって、電子透かしの挿入アルゴリズムを改良すれば、復号器を変えなくても検出結果を改善することができるのである。

【 0 0 3 4 】

DCTブロックを合計した結果に電子透かし入れを行うことの第3の利点は、それらの和から抽出される電子透かし信号が、忠実性の問題を引き起こすことなくその信号を変更できる量と比較して、変動が小さいという点である。これはすなわち、得られる画像がオリジナルのものと同一に見えることを条件としても、合計DCTブロックが必要な電子透かし信号と完全に一致するように画像を変化させることが、多くの場合に可能であるということである。

【 0 0 3 5 】

最後に、人間の視覚系をモデル化するなどのある種の問題は周波数ドメインで最もよく実行され、幾何学変換などの他の種の問題は空間ドメインでより簡便に対処されることが、良く知られている。電子透かしを復号する計算コストは今や対称的になったため、電子透かしを改変させることがあるさまざまな信号変換に対する修正を行うために、空間ドメインから周波数ドメインへ意のままに切り替えることができる。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 3 6 】

次に、本発明の好ましい実施の形態について、図面を参照して説明する。

【 0 0 3 7 】

以下の説明で使用される画像および画像データという用語は、映像（ビデオ）、画像（イメージ）およびマルチメディアデータにも同等に適用できることを理解されたい。“電子透かし（ウォーターマーク；watermark）”という用語には、埋め込まれたデータ、シンボル、画像、命令もしくは任意の他の識別情報が含まれる。

【0038】

本発明についての理解を深めるため、最初に、基本的な電子透かし入れ方法について概要を説明し、次に本発明を含む改良についての追加の説明を行う。

【0039】

最初に、いくつかの表記について定義する。ある画像に埋め込まれる電子透かしをN次元のベクトルとし、 $W[1, \dots, N]$ と表す。以下の記述においては、 $W[1, \dots, N]$ は $W[k]$ ($k = 1, \dots, N$)と同様に用いる。 $V[1, \dots, N]$ は、画像から抽出されるベクトル値を表し、その場合、要素 $V[k]$ は $W[k]$ に対応する。具体的には、値 $V[k]$ は、以下の式によって与えられるDCT係数の重み付け和である。

【0040】

$$V[k] = D_k[1]F_k[1] + D_k[2]F_k[2] + \dots + D_k[n_k]F_k[n_k]$$

式中、 $D_k[i]$ ($i = 1, \dots, n_k$)は、 $V[k]$ を計算するのに使用されるDCT係数の集合の項(メンバ)を示し、 n_k は項の数を示し、 $F_k[i]$ ($i = 1, \dots, n_k$)は、フィルタ処理に関する重み付け係数である。 F_k の概念は、各係数についてどの程度の大きさのノイズが予想できるかに従って、DCT係数に重み付けを行おうというものである。 $V[1, \dots, N]$ を計算するには、画像全体にわたって最初に $n \times n$ のDCT係数を計算する。次に、その係数をN個の集合に分類し、そのそれぞれを $V[1, \dots, N]$ の各要素に関連づける。DCT係数の分類の規則は予め設定したものであり、電子透かしの挿入および検出の両方に同じ規則を使用する。

【0041】

画像中に電子透かしを挿入する前に、画像中に既に存在する電子透かしを見つけるために、検出アルゴリズムを画像に適用する。画像が電子透かしを含まない場合、抽出値 $V[1, \dots, N]$ は、いかなる電子透かし $W[1, \dots, N]$ とも相関しない、正規分布乱数となる。電子透かし $W[1, \dots, N]$ は、各 $D_k[1, \dots, n_k]$ ($k = 1, \dots, N$)をわずかに変化させて抽出値 $V[1, \dots, N]$ が電子透かし $W[1, \dots, N]$ に強く相関するようにすることによって、画像中に挿入される。ここで、 $V[1, \dots, N]$ のターゲット値を $[1, \dots, N]$ で表す。すなわち、電子透かし $W[1, \dots, N]$ を挿入することで、値 $V[1, \dots, N]$ を $[1, \dots, N]$ に変える。ターゲット値 $[1, \dots, N]$ は、電子透かし $W[1, \dots, N]$ と非常に高い相関を有し、後述するように決定される。

【0042】

ターゲット値 $[1, \dots, N]$ を決定した後、差 $[k] - V[k]$ を、DCT係数 $D_k[1, \dots, n_k]$ の間で配分する。次に、割り当てられた差値を、対応するDCT係数 $D_k[1, \dots, n_k]$ に加えることで、電子透かしを挿入する。このDCT係数の変更は、画像の外観(見た目)を変えないように行わなければならない。

【0043】

差 $[k] - V[k]$ を配分するに当たり、人間の視覚プロセスの特性を考慮する。画像に視覚でわかる変化を起こさない変化量は、各DCT係数 $D_k[i]$ で異なる。その量は、人間の視覚プロセスによって決まり、この人間の視覚プロセスは、計算モデルによってほぼシミュレーション可能である。この変化量のことを「スラック(slack)」と称する。スラックを各DCT係数について計算し、それを、DCT係数間での差 $[k] - V[k]$ の配分に使用する。次に、人間の視覚プロセスのモデルを用いてスラックの値を計算する方法について、説明する。

【0044】

本発明に使用される人間の視覚感度の好ましい計算モデルは、SPIE, vol. 1913(1993), pp. 202-216のアンドリュー・ビー・ワトソン(Andrew B. Watson)の文献"DCT Quantization Matrices Usually Optimized for Indirect Images"に見られる。このモデルは、1997年2月9~14日のクリスティン・アイ・ポディルチャック(Christine I. Podilchuk)およびウェンジュン・ツウエング(Wenjun Zeng)の文献"Digital Image Watermarking Using Visual Models", Proc. of EI '97, vol. 3016で電子透かし入れに応用されている。本発明は、(i)復号器において元の非電子透かし入れ画像を必要としない、(ii)

10

20

30

40

50

個別の 8×8 ブロックからではなく、 8×8 ブロックの集合の合計からウォータマークを抽出する、の各点においてポディルチャックおよびツウエングのそれとは異なっている。現在はこの視覚モデルを用いているが、他の計算モデルも使用できる。

【 0 0 4 5 】

画像のブロック DCT の各要素 $d[i, j]$ について、このモデルは、その要素の「スラック」と呼ばれる値 $S[i, j]$ を計算する。このスラック値は、変化が肉眼で認められるようになるまでに、ある特定の $d[i, j]$ 値をどれだけ変えることができるかを示すものである。スラック値は 3 段階で計算される。第 1 段階では、人間の視覚系のコントラストマスキング現象をモデル化し、各種周波数での視覚感度をモデル化し、変化に対する視覚感度の周波数間での差を処理する。第 2 段階では、人間の視覚系の輝度マスキング現象をモデル化し、視覚系が明領域での変化より暗領域での変化に対して感受性が高いという事実を処理する。第 3 段階では、変化に対する感受性が、部分的に、周波数が変化するパーセンテージによって決まる（すなわち、小さい値を有する DCT 係数はわずかしが変化しないが、相対的に大きい値を有する係数は相対的に大きい変化を起こし得る）という事実を処理する。

10

【 0 0 4 6 】

その知覚モデルは、空間 8×8 DCT の異なる係数に対する人間の視覚系の相対感度を示す値の行列を利用する。この行列を計算する式は、アルバート ジェー・アヒュマダジュニア (Albert J. Ahumada Jr.) およびヘイディ エイ・ピーターソン (Heidi A. Peterson) の文献 "Luminance-Model-Based DCT Quantization for Color Image Compression", SPIE, Vol. 1666 (1992), pp. 365-374 から得られる。

20

【 0 0 4 7 】

画像の 8×8 DCT 係数の全てについてのスラックを計算した後、スラックを各 $D_k[1, \dots, n_k]$ に割り付けることができる。これらのスラックを $S_k[1, \dots, n_k]$ と称する。そこで、視覚的影響を最小限としながら、全 D_k に V の変化を配分することが可能である。これは、下記式に従って行う。

【 0 0 4 8 】

【数 1】

$$D'_k[i] = D_k[i] + \frac{(\omega[k] - V[k]) * S_k[i]}{\sum_{j=1}^{n_k} S_k[j] F_k[j]}$$

30

【 0 0 4 9 】

式中、 $D'_k[1, \dots, n_k]$ は、修正された 8×8 DCT 係数であり、 $\omega[k]$ および $V[k]$ は、それぞれ ω および V の k 番目の要素である。この式の効果は、電子透かしベクトル ($\omega[k] - V[k]$) の所定の要素における所望の変化を、 $V[k]$ 算出の際に合計する DCT 係数の全体にわたって、それら DCT 係数のスラックに応じて比例配分することである。説明のため、2 つの簡単な例を考える。1) スラック $S_k[m]$ を除く全てのスラックがゼロである場合、 $S_k[j] F_k[j]$ の全ての値の合計は $S_k[m] F_k[m]$ に等しく、 $D_k[m]$ のみが変化する。それは ($\omega[k] - V[k]$) の全値だけ変化する。2) 全てのスラックが等しく、全ての係数 $F_k[i] = 1$ の場合、各 $D_k[i]$ は同じ量だけ変化する。

40

【 0 0 5 0 】

これらの変化を行った後、全ての 8×8 DCT を空間ドメインに変換し戻され、その結果は、電子透かし入れされた画像となる。与えられた k についての全ての $D_k[i] F_k[i]$ の合計が $\omega[k]$ に等しいことを示すのは容易である。これを行う処理は、「画像へのオメガの挿入」と称される。画像に対してアタックがまだ行われていない場合、得られた画像から抽出される電子透かしは、正確に ω であり、 V + ノイズではない。

【 0 0 5 1 】

50

議論すべき重要な問題が2つある。第1は、ターゲット値 の決定方法であり、第2は、どのように電子透かしをロバストにするかである。

【0052】

以前のやり方では、 に相当する値は次式のように計算していた。

【0053】

$$= V + * W$$

ここで、 は小さい定数であり、Wはゼロ平均電子透かし信号である。ここでは同じ式を使用することもできるが、制約が大きいため、本発明によって本来可能である強い電子透かしを実現することはできない。そこで、このかわりに次式を用いる。

【0054】

$$= \text{mean}(V) + * (V - \text{mean}(V)) + * W$$

ここで $\text{mean}()$ は平均値を与える関数である。これによって、大抵の場合は、画像に知覚できる変化を生じることなく、電子透かしWと完全な相関を有する を挿入することができる。

【0055】

この式で得られる結果は、電子透かし信号と、原信号のノイズ(画像)信号成分との重み付け和である。 が0に設定されると、結果はWと完全な相関を有する となる。

【0056】

非アタック画像に対する信号対ノイズ比は、次式で表される。

【0057】

$$\text{SNR} = * \text{std}(W) / * \text{std}(V)$$

ここで、 $\text{std}(X)$ はXの標準偏差である。

【0058】

忠実性またはロバストさなどの異なる基準を最大とする最適化に基づいて、 およびを選択する方法が数多くある。

【0059】

この時点までも、電子透かし挿入方法は完成している。しかしながら、この方法には、明示的な人間の視覚のモデリングが含まれるが、電子透かしをロバストにするための方法は、明示的には何も含まれていない。事実、これまでに記載した方法では、高い周波数が最大スラックを有するため、電子透かしのできるだけ多くの部分を高い周波数へ配分するよう試みるが、それはロバストさの点からは思わしくないことである。

【0060】

所与の1組のアタックもしくは信号劣化に対して電子透かしをロバストとするために、最初に、これらのアタックが画像内の 8×8 DCTのさまざまな係数にどのように影響するかを考慮する必要がある。次に、アタックもしくは信号劣化により同じように影響されるDCT係数が分類され、あたかも独立した画像であるかのように電子透かし入れがなされる。

【0061】

次に、簡単な例を示す。ここでは簡単のため、考えられる2つのアタックのみを配慮するものとする。画像の左側から24列(カラム)の画素(ピクセル)を切り取る、もしくは画像の右側から24列の画素を切り取るものとする。その結果、3グループのDCT係数が生じ、それは、左端3列の 8×8 DCTブロックからのもの、右端3列からのもの、および画像の残りの列からのものである。これらの各グループ内の全てのDCT係数が、任意の所与のアタックにより、共に生き残るかもしくは破壊される。各グループが独立した画像であるかのように電子透かし入れされると、少なくとも1グループからの電子透かしが一般的にアタックから生き残り(24列の切り取り攻撃が考えられる唯一のアタックであるとする)、抽出される電子透かしはそのグループからの正しい電子透かしと、アタックによりダメージを受けたグループからの幾分ノイズの多い電子透かしを合わせたものとなる。

【0062】

10

20

30

40

50

より興味深い例は、低域および高域フィルタアタックである。全ての低周波数成分を一つのグループに分類することが可能であり、全ての高周波数成分を1以上の他のグループに分類することができる。DCT係数をN個の集合に分類するための所定の規則が、各集合が多く異なる周波数の係数を含むように作られている場合、完全な電子透かしを各グループに挿入することができる。このとき、もし高周波数成分が除去されても、電子透かしはまだ低周波数成分で検出することができ、その逆もいえる。

【0063】

より多くのグループへDCT係数が分割されると、電子透かしは一層口バストとなる。しかし、目に見える歪みを生じることなく変化を分散させることが次第に困難となるため、コストが生じる。よって、グループの数とこのコストとのバランスをとることが重要になる。

10

【0064】

ここで注目すべき重要な点は、たとえ検出器が広範に使用されるに至った後であっても、分割でのグループ数とコストとの最善のバランスを達成できるということである。検出器を全く変えることなく、多様なアタックに対して電子透かしを口バストにすべく挿入アルゴリズムを修正することができる。

【0065】

現在、3つのグループのみを使用している。一つのグループは、ほとんどの低周波数DCT係数をまとめたものである。他の2つのグループは、それぞれ、より高い周波数を代表するものである。

20

【0066】

好ましい方法においては、相対的に高い周波数には電子透かしを入れない。その理由は、それらがアタック（検出で使用されるフィルタの設計によって処理される）の影響を受けやすいからではない。むしろ、相対的に高い周波数に電子透かしを入れると、MPEG圧縮率がかなり低くなるからである。ただし、より高い周波数を含む他のグループを加えることも、別の選択肢として考えられよう。

【0067】

次に、前述の方法を実現する電子透かし挿入手順について具体的に説明する。

【0068】

図1は、上述した電子透かしの挿入方法のフローチャートである。ステップ10において、デジタル画像が、 $n \times n$ ブロック（縦横それぞれ n 画素であるブロック）からなる集まり、好ましくは複数個の 8×8 ブロック、へ分割される。そして、各ブロックの離散コサイン（余弦）変換（DCT）が周知の方法で計算され（ステップ12）、さまざまなアタックに対して同じように応答するグループへDCT係数を分離する（ステップ14）。そしてまず、第1のグループGを選択する（ステップ16）。

30

【0069】

次に、選択されたグループG内のDCT係数だけを使用して、電子透かしVを抽出する（ステップ18）。Vに類似しているが電子透かしWと高い相関を有するように、新しい信号（ターゲット値）を決定する（ステップ20）。

【0070】

40

知覚スラックに従って、グループG内のDCT係数に $-V$ の端数を加算する（ステップ22）。そして、グループGが最後のグループであるかどうか確認する（ステップ24）。最後のグループでなければ、次のグループGを選択して（ステップ26）、ステップ18に戻り、ステップ18において、次のグループG内の項だけを使用して電子透かしVを抽出し、ステップ24において最後のグループGが見つかるまで、この手順を継続する。ステップ24で最後のグループであると判断したときは、次に、ステップ28において、ブロックの逆DCTを計算して、電子透かし入れされた画像を得る。

【0071】

この挿入方法には、いくつかの別の工程も考えられる。例えば、DCT係数間での $-V$ と V との間の差の分配を推計的に行って、タンパリングの防止を助け、タンパリングへの感

50

受性を低減することができる。

【0072】

また、ロバストさのためのDCT係数のグループ分けをダイナミックに実行することができる。例えば、挿入プログラムは、画像へのさまざまなアタックをシミュレートして、DCT係数の値に及ぼす影響を求めることができる。そしてプログラムは、同様な影響を受けるグループへ適切に係数を割り当てることができる。

【0073】

電子透かしの挿入装置ではユーザインターフェイスを設計し、それにより、ユーザは、2つのパラメータを設定することができる。2つのパラメータは、(1)原画像と電子透かし入れされた画像との間の最大知覚差(J)と、(2)所定の集合のアタックのいずれかの後で検出できなくなることへの最大許容確率と、である。アルゴリズムは、許容知覚変化Jにしたがい、多数の画像内へ自動的に電子透かしの挿入する。そして、アタックのシミュレーションを行って各々の画像をチェックする。もし、画像が、指定されたロバストさ制約(検出もれの最大許容確率)を満たすことができない場合には、ユーザに知らせ、ユーザは画像忠実度を補償するかどうか、あるいはロバストネスに対して画像忠実度を釣り合わせるかどうかを手動で決定することができる。

【0074】

さらに、DCT係数全体での σ とVの間の差の配分を変えて、MPEG量子化による劣化を明示的に補償することができる。上述の電子透かし挿入方法を用いると、電子透かし入れされたデータでの電子透かしの劣化が生じる場合がある。電子透かし入れされたデータにおいてMPEG圧縮後に電子透かしの増強するために、いくつかの方法が可能である。

【0075】

図2は、典型的なMPEG-2符号化器の構成を模式的に示す図である。図2には、PピクチャのMPEG-2符号化を実行する上で、あるいは組み合わせられたフレーム間予測とDCT符号化を実行する上で、不可欠の要素を示してある。入力画像データ(入力画像シーケンス)から予測画像を減じるための減算器30が設けられており、入力画像データは減算器30の一方の入力に与えられる。予測画像は、フレームメモリ32内に格納され、減算器30の他方の入力に与えられている。また、符号化器には、減算器30の出力側に接続して離散コサイン変換(DCT)を行うDCT計算器34と、DCT計算器34の出力に接続した量子化器36と、量子化器36の出力がそれぞれ入力される可変長符号化器38および逆量子化器40と、逆量子化器40の出力が入力される逆DCT計算器42と、IDCT計算器42の出力とフレームメモリ32からの(前フレームの)予測画像とを加算してフレームメモリ32に格納する加算器44とが設けられている。

【0076】

減算器30において、入力画像から予測画像が差し引かれる。DCT計算器34は、減算器30からの出力信号に対し、離散余弦変換(DCT)を行い、得られたDCT係数は、量子化装置36で量子化される。量子化装置36の出力である量子化DCT係数は、ハフマン符号化が行われる可変長符号化器38に送られ、このハフマン符号化の結果は、符号列として可変長符号化器38から出力される。量子化DCT係数は、逆量子化装置40にも送られてそこで逆量子化され、この逆量子化されたDCT係数は、逆DCT計算器42によって、逆離散コサイン変換(IDCT; 逆DCT)を施される。逆DCTの結果は、加算器44で、フレームメモリ32から出力された予測画像に加算され、これにより、復号器で取得されるものと同じであると予想される画像を再構築する。再構築画像は、「局所復号画像」と称する。この局所復号画像をフレームメモリ32に保存して、予測画像を形成する。

【0077】

次に、MPEG量子化を補償する方式について述べる。

【0078】

図3は、電子透かし入れがなされたデータ内の電子透かしの劣化を低減すべく改良され

10

20

30

40

50

た M P E G - 2 符号化器の構成を模式的に示すブロック図である。

【 0 0 7 9 】

この符号化器は、図 2 に示す符号化器と比較すると、減算器 3 0 の前段側に、入力画像データへの D C T を実行する D C T 計算器 5 0 と、D C T 計算器 5 0 の出力に電子透かしを加算する加算器 5 2 と、加算器 5 2 の出力に対して逆 D C T を実行して加算器 3 0 に出力する逆 D C T 計算器 5 4 と、予測画像に対して D C T を実行する D C T 計算器 5 6 と、量子化器 3 6 の出力が入力されるもう一つの逆量子化器 5 8 と、D C T 計算器 5 6 の出力と逆量子化器 5 8 の出力とを加算する加算器 6 0 と、量子化器 3 6 からの量子化情報を利用し、加算器 6 0 からの出力に基づいて電子透かしの修正を行う電子透かし修正部 6 2 と、量子化器 3 6 の出力と電子透かし修正部 6 2 の出力とを加算する加算器 6 4 と、を設けた点で相違し、加算器 6 4 の出力が可変長符号化器 3 8 および逆量子化器 4 0 に入力されている。

10

【 0 0 8 0 】

この符号化器では、M P E G - 2 符号化を行う前に、D C T 計算器 5 0 において入力画像について D C T が実行され、加算器 5 2 において、D C T 計算器 5 0 からの D C T 係数に電子透かし信号が加算される。電子透かし情報を含む出力 D C T 係数に対して、逆 D C T 計算器 5 4 で逆 D C T が施される。逆 D C T 計算器 5 4 の出力は、電子透かしを含む画像である。これらの電子透かし入れされた画像は、M P E G - 2 符号化器へ送られ、上述したように M P E G - 2 符号化が行われる。さらにこの実施の形態では、M P E G - 2 圧縮に適合するように、電子透かし情報が修正される。

20

【 0 0 8 1 】

電子透かし情報の修正に関しては、まず、予測画像についての D C T 係数を D C T 計算器 5 6 によって計算する。量子化器 3 6 から出力された量子化値を、逆量子化器 5 8 で逆量子化する。これら逆量子化の結果と D C T 計算器 5 6 から出力された D C T 係数とは、加算器 6 0 によって加算される。この加算結果は、復号器で形成されると予想される復号画像についての D C T 係数と対応する。その D C T 係数は、電子透かし修正部 6 2 に入力する。電子透かし修正部 6 2 は、電子透かし補正信号を出力する。加算器 6 4 は、電子透かし修正部 6 2 からの電子透かし補正信号を、量子化器 3 6 からの量子化値に加算する。加算装置 6 4 の出力は、可変長符号化器 3 8 および逆量子化装置 4 0 への入力として用いられる。

30

【 0 0 8 2 】

次に、電子透かし修正部 6 2 で実行される処理について説明する。最初に、この処理を説明するために、いくつかの新たな表記を導入する。 $D_k[i]$ に相当する量子化値、すなわち値 V を計算するための k 番目の集合の i 番目の項の量子化値を $Dq_k[i]$ とする。 $Dq_k[i]$ を得る上で使用される量子化ステップサイズの大きさを $Q_k[i]$ とする。逆量子化器 5 8 で計算された $Dq_k[i]$ の逆量子化値を、D C T 計算器 5 6 から出力された対応する D C T 係数に加算することで得られる加算器 6 0 の出力値を、 $Dr_k[i]$ とする。電子透かしの挿入において値 $V[1, \dots, N]$ を計算したのと同じ方法で、加算器 6 0 の出力値 $Dr_k[i]$ から抽出された値を、 $Vr[1, \dots, N]$ とする。電子透かし修正部 6 2 では、ターゲット値 $[1, \dots, N]$ も利用可能であると仮定する。

40

【 0 0 8 3 】

図 5 は、電子透かし修正部 6 2 で実行される処理を説明するフローチャートである。最初に、電子透かし要素の指数（インデックス） k を 1 に設定する（ステップ 5 0 0）。次に、 $Vr[k]$ の値を下記式によって計算する（ステップ 5 0 2）。

【 0 0 8 4 】

$$Vr[k] = F_k[1]Dr_k[1] + \dots + F_k[n_k]Dr_k[n_k]$$

式中、重み付け係数 $F_k[1, \dots, n_k]$ は、 $V[k]$ の計算で使用したものと同一値である。次に、値 $Vr[k]$ とターゲット値 $[k]$ との間の差の絶対値と、その差の符号を、以下の式によって計算する（ステップ 5 0 4）。

【 0 0 8 5 】

50

$Dif = |Vr[k] - [k]|$
 $s = \text{Sign}(Vr[k] - [k])$

ここで、

【0086】

【数2】

$$\text{Sign}(x) = \begin{cases} 1 & (x \geq 0) \\ -1 & (x < 0) \end{cases}$$

【0087】

である。

【0088】

この値 Dif は、量子化プロセスにおいて発生した、加算器 52 で挿入された電子透かしの歪みに対応する。

【0089】

絶対値 Dif と符号 s に基づいて、ステップ 506 において、電子透かし補正信号を発生する。ステップ 506 での処理は後述する。電子透かしの k 番目の要素に関する DCT 係数についての電子透かし補正信号の発生の後、ステップ 508 において指数 k を N と比較する。 $k > N$ の場合、処理は終了する。 $k \leq N$ の場合、ステップ 510 で値 k を 1 だけ増加させ、処理をステップ 502 に戻す。このようにして電子透かし補正処理が行われ、得られた電子透かし補正信号が最終的に加算器 64 に出力される。

【0090】

次に、図 6 のフローチャートを用いて、図 5 のステップ 506 で実行される処理について、さらに詳しく説明する。このステップ 506 では、電子透かしの k 番目の要素に関する DCT 係数についての電子透かし補正信号を発生する。

【0091】

最初に、ステップ 520 において、配列 $Dq_k[i]$ ($i = 1, \dots, n_k$) を全てゼロに設定する。次に、ステップ 522 において、値 j を 1 に設定する。そして、ステップ 523 において、並べ替え関数 $p(j)$ によって、DCT 係数の指数 (インデックス) i を見出す。関数 $p(j)$ は、1 から n_k までの整数を並べ替えた後に得られた順列の j 番目の値を返す。最も簡単な例は $p(j) = j$ である。次に、ステップ 524 において、 $Dq_k[i]$ に値 $-s$ を格納し、値 Dif を $Q_k[i]F_k[i]$ だけ小さくする。これは、加算器 64 で $Dq_k[i]$ を $Dq_k[i]$ に加算することで、量子化値 $Dq_k[i]$ を $-s$ だけ変化させることを示している。値 s は 1 または -1 であり、このことから、量子化値における変化は 1 である。すなわち、復号器の逆量子化器で得られた逆量子化値は、 $-Q_k[i]$ 、すなわち 1 ステップサイズだけ変化する。その更新後の値 Dif は、補正された量子化値 $Dq_k[i] + Dq_k[i]$ ($i = 1, \dots, n_k$) を用いて計算した $[k]$ と $Vr[k]$ との間の差の絶対値と同一である。ステップ 524 の後、ステップ 526 において、値 Dif とゼロ、および指数 j と n_k とを比較する。 $Dif < 0$ または $j > n_k$ の場合、このサブルーチンは終了する。この条件が満足されない場合は、ステップ 528 で指数 j を一定量 j だけ大きくしてから、処理をステップ 523 に戻す。

【0092】

図 6 に示した手順ではなく、図 7 に示した別の手順を、ステップ 506 の処理手順として用いることができる。図 7 に示した処理手順では、量子化値 $Dq_k[i]$ がゼロであるか否かをチェックするステップ 530 を、図 6 におけるステップ 523 とステップ 524 の間に加え、ステップ 524 が、量子化値 $Dq_k[i]$ がゼロ以外の値である場合にのみ実行されるようにする。ゼロからゼロ以外の値への量子化値の変更によってビット数が大幅に上昇するのが一般的であることから、これによって、電子透かし情報を補正したことに起因するビット数の上昇を抑えることができる。

【0093】

10

20

30

40

50

図 4 は、電子透かし入れがなされたデータ内の電子透かしの劣化を低減すべく改良された別の M P E G - 2 符号化器の構成を模式的に示すブロック図である。この符号化器の基本的概念は、図 3 を用いて説明したものと同じであるが、入力原画像からの予測画像の減算を、空間ドメインではなく、D C T ドメイン内で実行している点で相違する。したがって、図 4 に示す符号化器は、図 3 に示す符号化器と比較して、減算器 3 0、I D C T 計算器 5 4、D C T 計算器 3 4、5 6 が設けられておらず、その代わり、予測画像の D C T を実行する D C T 計算器 7 0 と、加算器 5 2 の出力から D C T 計算器 7 0 の出力を減算する減算器 7 2 を設けた構成となっている。減算器 7 2 の出力が量子化器 3 6 に与えられるとともに、D C T 計算器 7 0 の出力は加算器 6 0 にも与えられている。この符号化器では、入力画像データの M P E G 圧縮のための D C T は、初段の D C T 計算器 5 0 で行われる。

10

【 0 0 9 4 】

フレームメモリ 3 2 から出力された予測画像に対し、D C T 計算器 7 0 により D C T が実行され、その結果は、減算器 7 2 により、電子透かし入れされた D C T 係数から差し引かれる。減算の結果は量子化器 3 6 に送られ、その後、図 3 に示したものと同様に、電子透かし補正が実行される。減算器 7 2 から出力される結果は、D C T の線形性により、図 3 での D C T 計算器 3 4 から出力された結果と同じである。従って、これらの処理とそれに続く量子化器 3 6 での量子化によって得られた結果は、図 3 に示したものと同じである。図 4 に示す符号化器によれば、図 3 に示すものよりも、D C T 計算の回数が減る。

【 0 0 9 5 】

次に、画像内の電子透かしを検出する検出手順について説明する。

20

【 0 0 9 6 】

M P E G ビデオが入力画像データ形式である場合、以下の検出プロセスによって、電子透かし W が存在するか否かを決定する。ここで、 $W[1, \dots, N]$ は、試験対象の電子透かしである。

【 0 0 9 7 】

ハフマンコードを復号するが、逆 D C T は計算しないようにすることで、各フレーム（少なくとも各 I フレーム）に関して、 8×8 の D C T 係数のアレイが得られる。

【 0 0 9 8 】

次に、電子透かしの挿入時に行ったものと同じ D C T 係数の加算を行って、ベクトル V を得る。ベクトル V と試験対象の電子透かし W との間の相関係数 C を以下のように計算する。

30

【 0 0 9 9 】

【 数 3 】

$$V' = V - \bar{V}$$

$$W' = W - \bar{W}$$

$$C = \frac{W' \cdot V'}{\sqrt{(W' \cdot W')(V' \cdot V')}} \quad 40$$

40

【 0 1 0 0 】

最後に、相関係数 C を正規化フィッシャー (Fisher) Z 統計値に変換する。

【 0 1 0 1 】

【 数 4 】

$$Z = \frac{\sqrt{N-3}}{2} \log \frac{1+C}{1-C}$$

【 0 1 0 2 】

ここで N は電子透かしの長さである。

50

【 0 1 0 3 】

Z 値は、電子透かしが存在するか否かを示す。Z についての好ましいしきい値は 4 であるが（すなわち、Z = 4 の場合は、電子透かしが存在することを意味する）、間違ったアラームおよび検出の見落としについての所望の発生確率に応じて、他の値を用いることもできる。

【 0 1 0 4 】

図 8 は、M P E G 映像入力に対する検出方法を示すデータフロー図である。入力 M P E G 映像は、ハフマン復号器・パーシャルパーサ 8 0 へ送られる。ハフマン復号器・パーシャルパーサ 8 0 の出力は、映像入力の $n \times n$ 、好ましくは 8×8 の大きさのブロックの D C T 係数の集合である。

10

【 0 1 0 5 】

ハフマン復号器・パーシャルパーサ 8 0 から出力する $n \times n$ D C T 係数は、電子透かしアキュムレータ（蓄積器）8 2 へ与えられる。電子透かしアキュムレータ 8 2 は、電子透かしの長さと同じ長さのメモリを備えている。ハフマン復号器・部分パーサ 8 0 からの D C T 係数は、所定の規則に従って分類され、前述のような電子透かし抽出のために加算され、結果はメモリに蓄積される。抽出された電子透かしは比較器（コンパレータ）8 4 へ与えられ、そこで、前述のように抽出された電子透かしと可能性のある電子透かしとの間の相関係数を計算することにより、画像内にある可能性がある電子透かしと比較される。可能性のある電子透かしとは、映像データ内へ挿入されているであろう電子透かしの全体である。電子透かしアキュムレータやコンパレータの詳細は、例えば、上述した米国特許出願第 08/746,022 号に記載されている。

20

【 0 1 0 6 】

比較器 8 4 の出力は、検出された電子透かしが、ある電子透かしと等しい可能性を表す尤度（正規化されたフィッシャー Z 統計値）であり、尤度は可能性のある電子透かしそれぞれに対して算出される。そして、最尤電子透かしが決定され、それが画像内の電子透かしであるとみなされる。あるいは、どの電子透かしに対する尤度も所定のしきい値を越えない場合には、電子透かしは画像中に存在しないと判定する。

【 0 1 0 7 】

別法として、入ってくる入力データが非圧縮画像を含む場合、画像全体について 8×8 D C T を実行することで得られた D C T 係数に上記の方法を提供することで、埋め込まれた電子透かしを検出することができる。その場合、各 8×8 ブロックについて D C T を行わなければならないが、D C T 係数を N 個の集合に分類する上で精巧に作成された規則によって、D C T を多数回実行することが回避される。D C T 計算を減らす方法について説明する前に、いくつかの表記について定義する。

30

【 0 1 0 8 】

電子透かしの要素の指数（インデックス）k に、 8×8 D C T 係数 (i, j) の周波数の指数をマッピングする関数集合を $h_m(i, j)$ ($i = 1, \dots, 8, j = 1, \dots, 8, m = 0, \dots, M - 1$) とする。M は関数の数を示す。従って、 $k = h_m(i, j)$ の場合、指数が (i, j) である D C T 係数を D C T 係数の k 番目の集合に分類して、値 $V[k]$ を計算する。ここでは、M 個の異なる関数 $h_m(i, j)$ ($m = 0, \dots, M - 1$) を準備する。ある 8×8 ブロックについてどの関数を選択するかは、そのブロックの行と列の番号がそれぞれ r および c で示されるとして、そのブロックの数値 r および c に依存する。そうして最初に、値 r および c に従って、関数の指数 m を見出し、次に、 $h_m(i, j)$ によって、各 D C T 係数に対する集合の指数 k を求める。本明細書において、発明の詳細な説明のここ以降の部分では、D C T 係数の分類において、この関数 $h_m(i, j)$ を用いるものとする。

40

【 0 1 0 9 】

この場合、次のようにして D C T 計算の回数を減らすことができる。最初に、指数 m が同一であるブロックの和を各 $m = 0, \dots, M - 1$ について計算する。その加算ブロックを $V B_m[i, j]$ ($m = 0, \dots, M - 1$) で表す。次に、M 個の加算ブロック $V B_m[i, j]$

50

$] (m = 0, \dots, M - 1)$ について DCT を実行する。最後に、加算ブロックの DCT 係数を、値 $h_m(i, j)$ に従って N 個の集合に分類し、各集合内で加算して、 $V[1, \dots, N]$ を得る。DCT が線形変換であることから、すなわち DCT ブロックの合計がブロックの合計についての DCT の結果に等しいことから、得られた結果 $V[1, \dots, N]$ は、上記の方法によって得られた $V[1, \dots, N]$ と同じである。M が画像中のブロックの総数よりかなり小さい場合は、DCT 計算の回数は大幅に減少する。そうしてこの方法によって、小さい計算コストで電子透かしを抽出することができる。

【0110】

図 9 は、上記のような非圧縮映像入力データに対する検出方法を示すデータフロー図である。

【0111】

非圧縮映像データは、 $n \times n$ ブロックを格納する $n \times n$ アキュムレータ、好ましくは 8×8 ブロックを格納する 8×8 アキュムレータ 90 へ、与えられる。メモリの必要量は、関数 $h_m(i, j)$ の数の n^2 倍である。各指数 m について、同じ指数 m を有するブロックを加算し、得られた M 個の加算ブロックをメモリで蓄積する。

【0112】

出力は、各 $n \times n$ ブロックを加算した信号である。この出力は、DCT 計算器 92 によって、離散コサイン変換が施される。変換の回数は、関数 $h_m(i, j)$ の数に比例する。変換結果は、 $n \times n$ DCT の一群であり、関数 $h_m(i, j)$ に従って N 個の集合に分類され、加算されて、上述の電子透かし抽出が行われる。得られた電子透かしは、電子透かしアキュムレータ 94 に供給され、蓄積される。電子透かしアキュムレータ 94 についてのメモリの必要量は、電子透かしの長さに比例する。抽出された電子透かしは、入力として比較器 96 に供給される。比較器 96 への他の入力、入力画像データに挿入されているかもしれない、と考えられる電子透かしである。比較器は、各考えられる電子透かしごとにその電子透かしが画像データ中に挿入されている確率（正規化フィッシャー Z 統計値）すなわち尤度を計算する。最も可能性の高い電子透かし（最尤電子透かし）が決定され、それが画像中の電子透かしであるみなされる。

【0113】

ブロックに基づく DCT 法の限界は、画像の空間シフトに対するその感受性である。例えば、画像が右方向に 2 画素移動すると、DCT 係数が大幅に変わるために、電子透かしを検出することができない。さらに、スケーリングや回転などの一般的な変形によっても、電子透かしを検出できなくなる。

【0114】

これらの問題を解決するため、上記の挿入方法および抽出方法を、2 つの方法で修正することができる。第 1 の可能な変更点は、映像の規定された歪みに耐えるように設計された複数の電子透かしを画像データに挿入することであり、第 2 の変更点は、複数回の加算を行うことなく、並進を補償できるよう配置するということである。必要に応じて、その第 2 の変更点は、映像の任意の並進を補償するために、改良された電子透かし検出器が使用することができるレジストレーションパターンを各電子透かしに対応して 1 つずつ挿入するように、さらに修正することができる。

【0115】

上述の基本的な方法を用いて挿入された電子透かしを検出する場合、電子透かしの挿入時に使用されたのと同じ $n \times n$ ブロックのグリッドに基づいて、画像を分割する必要がある。ここで $n \times n$ ブロックのグリッドとは、画像を n 画素 \times n 画素の複数のブロックに分割する際のブロック間の境界となるべき線のことである。電子透かしの挿入後に画像が並進していれば、電子透かしの検出時に、挿入時のグリッドに適合するように正しくグリッドを決定することが困難となる。多くの応用において、ある特定のこのような変換が画像に施されることが考えられるため、これは重要な問題である。例えば、DVD（デジタル・ビデオ・ディスク；digital Video Disk）に記録された映像は、“パンスキャン(panscan)” もしくは“レターボックス(letterbox)” モードへ変換し、これによってこの映像を

10

20

30

40

50

標準テレビ画面に適合するように修正することが考えられる。“パンスキャン”モードでは、水平解像度が高くなり、画面は所定のオフセットで切り取られて、得られる画像は3×4アスペクト（縦横）比のテレビ画面上で見ると正しくなるようにされる。“レターボックス”モードでは、画像は垂直にスケーリング（この場合は縮小）され、画面の上端部および下端部に黒が加えられて、全体画像が3×4アスペクト比の画面に正しく適合するようにされる。これら2つの幾何学的変換は、他の変換よりも多く使用されるため、特にこれらパンスキャンモードおよびレターボックスモードへの変換に対応できるようにすることが妥当である。

【0116】

電子透かし入れられた映像への所定のスケーリングや変換の問題は、本発明により、使用頻度の高い各変換に対応して付加的な電子透かしを挿入することにより解決される。これらの各付加的な電子透かしは、電子透かしの挿入後に画像に対して対応する既知の変換を行う場合に、電子透かしの挿入時に使用した $n \times n$ ブロックのグリッドが、検出時に使用される所定のグリッドと一致するように設計されている。したがって、例えばDVDの場合、画像に対して変換が施されない場合には、検出時のグリッドは（何の変換も受けていない）通常の電子透かしのものと一致し、通常の電子透かしが検出される。付加的な電子透かしとして、“パンスキャン”用の電子透かしを挿入しておけば、画像に対して“パンスキャン”変換を行うと、検出時のグリッドが“パンスキャン”用の電子透かしのものと一致し、“パンスキャン”用の電子透かしが検出される。“レターボックス”変換もしくは任意他の所定の変換についても同様に、対応する付加的な電子透かしを挿入することによって対処できるようになる。

【0117】

特定の変換を行った後に検出される電子透かしの挿入手順には、下記のステップが含まれる。

【0118】

1. 電子透かし入れられる画像Iのコピー I_T を生成し、補償対象となる変換を画像に適用する。例えば、 I_T は、垂直方向に収縮することにより画像Iを“レターボックス”モードへ変換したもののコピーになる。

【0119】

2. 上述した一般的な電子透かし入れ方法にしたがって、変換された画像 I_T' の電子透かし入れられたバージョンを生成する。

【0120】

3. 電子透かし挿入後の画像 I_T' から挿入前の画像 I_T を減じ、電子透かし挿入によって生じる差分 $W_T = I_T' - I_T$ を空間ドメインで求める。

【0121】

4. 差分 W_T に対して画像Iから画像 I_T を求めたときの逆変換を実施して、変換前の画像Iに対応する差分画像Wを得る。例えば、補償すべき変換が“レターボックス”モードへの変換であった場合には、 W_T を垂直に拡張してWが得られる。

【0122】

5. $I' = I + W$ を、所与の変換のための電子透かしが付加された画像とする。

【0123】

電子透かし入り画像I'に変換が適用されると、結果はほぼ I_T' となる。その結果、電子透かし挿入時に用いたグリッドが通常のグリッドに一致ようになるため、通常の電子透かしを検出するように設計された同じ手順により、電子透かしが検出される。

【0124】

このようにして、複数の付加的な電子透かしを挿入すると画像が劣化し、かつ画像内の他の電子透かしの検出可能性（検出度）が低下するため、この手順は考慮する変換の数が少ない場合にしか使用できない。しかしながら、3つの電子透かし、すなわち、変換された画像に対する2つの電子透かしと変換されない画像に対する1つの電子透かしを挿入した場合であっても、画像の忠実度を許容できる範囲内に保ちながら電子透かしの良好な検

10

20

30

40

50

出度が得られることが、テストにより判明した。別法として、ビデオについては、各電子透かしを時間多重の形態で挿入することができる。

【0125】

画像に対して行われる変換が規定されていないもしくは予め定められていないか、あるいは、各変換ごとに独立した電子透かしを挿入するとしてそのような変換が非常に多くあることが考えられる場合には、上述した変換補償方法は最適ではない。したがって、本発明には、電子透かしの挿入時と電子透かしの検出時との間で画像に対して加えられた任意の並進を補償する改良が、加えられている。

【0126】

任意の並進は、2つの方法で補償される。一つの方法は、 8×8 ブロックを使用した場合における、 x 方向または y 方向の8ピクセルのちょうど整数倍だけの距離の並進によるものである。関数 $h_m(i, j)$ の指数 m とブロックの行 r および列 c との間の関係に以下の制約を課すことによって、任意の並進を容易に補償することができる。まず、下記式によって、指数 m を求める。

【0127】

$$m = f(r, c) \bmod M$$

式中、 $f(r, c)$ は r および c の線形関数であり、 $f(0, 1)$ および $f(1, 0)$ は整数である。さらに、 $h_m(i, j)$ を下記式で表される関数とする。

【0128】

$$h_m(i, j) = (h_0(i, j) + a \times m) \bmod N$$

式中、 a は整数である。

【0129】

本明細書のここ以降の部分においては、ここで述べた制約条件を仮定する。この場合、試験対象の電子透かしの全ての巡回シフトと抽出された電子透かしとの相関を計算することによる基本検出アルゴリズムにより、シフト補償を実行する。それは、水平方向および/または垂直方向に8の倍数画素だけ移動した電子透かし入れされた画像から得られた $VB_m[i, j]$ 値が、指数 m を巡回シフトしている点を除き、移動前の画像から得られる値 $VB_m[i, j]$ ($m = 0, \dots, M - 1$) と同一であるためである。結果的に、8の複数倍画素だけ移動した電子透かし入れされた画像から得られる抽出値 $V[1, \dots, N]$ は、要素 $V[k]$ が巡回シフトされている点を除き、移動前の画像から得られる値 $V[1, \dots, N]$ と同一である。 $n \times n$ グリッド形式の場合、水平方向および/または垂直方向での n の複数倍の移動に同じことが当てはまる。

【0130】

x 方向および/または y 方向への8画素よりも少ない整数画素精度のシフトに対しては、全部で64 ($= 8^2$)通りの考えられる場合の全数探索を実施して、 $64 \times M$ 個の Z 値(尤度)の組の中から最大の Z 値を取り出す。 M は 8×8 アキュムレータの数である。本発明者らのテストでは、 M として64を選択した。ここで M をかけているのは、各シフトに対する検出では、 M 通りの巡回シフトを考慮するためである。これによって、8画素よりも少ないシフト量を求めることができる。

【0131】

全数探索では、空間ドメイン内の M 個の 8×8 アキュムレータアレイの値をシフトさせ、次に M 個の 8×8 ブロックの各々のDCTを実施する必要がある。これは考えられる各シフトごとに1回ずつ、計64回実施される。したがって、 $64 \times M$ 回の 8×8 DCTを実施する必要がある。 M の値が大きく、この計算に時間や費用がかかり過ぎる場合には、後述する代替りの方法を使用することができる。

【0132】

n 画素の非整数倍の並進を補償する第2の方法は、電子透かし挿入と検出とでグリッドを合わせるためのパターンを用いる方法である。このパターンのことをレジストレーション(位置決め)パターンと呼ぶことにする。レジストレーションパターンは、電子透かしの挿入時に挿入することができる。電子透かしの検出時に、レジストレーションパターン

10

20

30

40

50

が予め規定されたパターンと最も一致する位置を見つけることにより、復号器は、電子透かしを抽出する前にどれだけデータをシフトすべきかを決定することができる。このシフトは空間ドメインで行わなければならないが、後述するように、アキュムレータにより実施することができ、それによって、画像全体のブロック全てに対して変換を行うことが回避される。

【0133】

また、この方法では、 $64 \times M$ 回の 8×8 DCTを計算する必要はなく、代わりに、正しい位置決めを空間ドメイン内で行い、アキュムレータアレイ内で画素をシフトすることにより、画像の並進の補償がなされる。 M 個の 8×8 アキュムレータだけがDCTドメインに変換され、上述したようにして電子透かしの抽出が実行される。

10

【0134】

レジストレーションパターンは、 8×8 画素ブロックの全部の和がそのパターンと強く相関するように画像中に挿入された、 8×8 空間パターンである。ビデオが $n \times n$ ブロックである場合は、 $n \times n$ 空間パターンを用いる。レジストレーションパターンは、上述した電子透かし挿入方法を用いることで挿入することができる。全ての 8×8 画素ブロックを合計してできる合計ブロックとレジストレーションパターンのDCT係数同士が相互に大きな相関を有する場合、合計ブロックは、レジストレーションパターンと高い相関性を有するようになる。さらに、合計ブロックのDCT係数は、DCTの線形性により、全DCTブロックの合計に等しい。そのようにして、レジストレーションパターンのDCT係数を電子透かし W とみなし、全ての 8×8 DCTブロックの合計を値 V とみなすことにより、上記の電子透かし挿入方法と類似の方法を用いて、レジストレーションパターンを挿入することができる。

20

【0135】

レジストレーションパターンをDCTドメインへ変換し、次に、DCT係数 D_k およびフィルタ係数 F_k が異なる上述の基本的な挿入アルゴリズムを使用することによって、レジストレーションパターンの挿入が実施される。ここでは、レジストレーションパターンのDCT係数での各AC(交流)項は、電子透かしの1つの要素 $W[k]$ と考えられる。すなわち、指数(インデックス) k は、DCT係数の周波数インデックスそのものに相当する。したがって、この要素を抽出するために一緒に合計される1組のDCT係数 D_k は、単純に、 $W[k]$ と同じ周波数指数をもつ画像内の 8×8 DCT係数の全てである。そして、全ての F_k が1に設定される。これらの D_k および F_k を使用して、挿入アルゴリズムによりレジストレーションパターンが、画像データに挿入される。これと一緒に、元の D_k および F_k による電子透かしも挿入される。

30

【0136】

検出中に、下記のようにレジストレーション処理が実施される。まず、所定数のブロックを合計して、典型的には 8×8 である、単一の $n \times n$ 画素ブロックを形成する。本発明者らの試験では、適宜に64個のブロックを使用した。この単一のブロックは、挿入過程によってそこに配置されたレジストレーションパターンを含んでいる。次に、フレームの水平方向及び垂直方向の並進量を決定するために、空間ドメインにおいて 8×8 画素平均ブロックとレジストレーションパターンとの相関を調べる処理(以後相関プロセスと呼ぶ)を実施し、これらの並進によるオフセットを決定する。可能である8通りの水平並進量及び8通りの垂直並進量の各々について相関プロセスが実施され、計64回の相関プロセスが実施される。 8×8 パッチ領域を水平方向または垂直方向にシフトする際、ラップアラウンドシフト、すなわち前と重なり合うようなシフト動作が実施される。

40

【0137】

ここで、グリッドの移動の求め方について説明する。以下の方法では、整数値 $f(0, 1)$ および $f(1, 0)$ が M に対しては互いに素であると仮定する。

【0138】

最初に、DCT係数の分類において同じ関数 $h_m(i, j)$ が用いられるブロックを、空間ドメイン内で一緒に加算して、各 m について1つの合計ブロック $VB_m[i, j]$ を得る

50

。 $AB[i, j]$ によって示される、全ての $n \times n$ 個のブロックについての合計を、下記式によって計算する。

【 0 1 3 9 】

【 数 5 】

$$AB[i, j] = \sum_{m=0}^{M-1} VB_m[i, j] \quad (i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, n).$$

【 0 1 4 0 】

次に、 $R[i, j]$ によって表されるレジストレーションパターンと $AB[i, j]$ との間の相関係数を計算する。この相関係数の計算後、値 $AB[i, j]$ を水平方向に 1 列だけ巡回シフトさせ、 $AB[i, j]$ と $R[i, j]$ との間の相関係数を同様に計算する。各シフトについて同じ演算を繰り返す。 n 回シフトさせた後、 $AB[i, j]$ は、最初のシフトを行う前の $AB[i, j]$ と同一となる。次に、値 $AB[i, j]$ を垂直方向に 1 行だけ巡回シフトさせ、相関係数の計算と水平方向への 1 列だけのシフトを繰り返す。このようにして、全ての n^2 個の可能なシフトについての相関係数を計算することができる。同時に、最大の相関係数を与える、 (X, Y) で表されるシフト値（オフセット）を調べる。

【 0 1 4 1 】

オフセット (X, Y) を求めた後、それに応じて、 M 個の合計ブロック $VB_m[i, j]$ を空間ドメインでシフトさせる。

【 0 1 4 2 】

次に、水平方向でのシフト値 X を補償する方法を説明する。この補償を行うためには、最初に、値 $VB_m[i, j]$ ($m = 0, \dots, M - 1$) を、 $n \times nM$ の配列 $VB_1[i, j]$ ($i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, nM$) にコピーする。値 $VB_m[i, j]$ をコピーする際に、ブロック間の空間的関係、すなわちあるブロックがどのブロックに隣接しているかを考慮する。関数 $f(r, c)$ は線形であることから、下記式のようになる。

【 0 1 4 3 】

$$f(r, c + 1) = f(r, c) + f(0, 1)$$

これは、指数 m が

$$m_1 = (m_0 + f(0, 1)) \bmod M$$

に等しいブロックが、 $m = m_0$ であるブロックに隣接していることを意味している。そこで、行列 VB_1 において、値 VB_m_1 を値 VB_m_0 の隣りにコピーする。そのため、各 I ($I = 0, \dots, M - 1$) について、 $VB_m'[i, j]$ ($i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, n, m' = I \times f(0, 1) \bmod M$) を、左上の角の指数を $(1, nI + 1)$ とする、 VB_1 内の $n \times n$ の正方形領域にコピーする。全ての値 I をコピーした後、 $f(0, 1)$ と M が互いに素であることから、配列 VB_1 は値 $VB_m[i, j]$ で埋まる。次に、配列 VB_1 中の値を水平方向に X だけ巡回シフトさせる。

【 0 1 4 4 】

次に、左上の角の指数が $(1, nI + 1)$ である VB_1 中の $n \times n$ 領域における値を、各 I ($I = 0, \dots, M$) について、 $VB_m'[i, j]$ ($i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, n, m' = I \times f(0, 1) \bmod M$) に代入することで、 VB_1 における値を VB_m に返す。こうして、全体画像自体をシフトさせることなく、水平方向オフセット値 X を補償することができる。

【 0 1 4 5 】

次に、垂直方向における移動値 Y を補償する。この補償を行うには、まず、値 $VB_m[i, j]$ ($m = 0, \dots, M - 1$) を $nM \times n$ の配列 $VB_2[i, j]$ ($i = 1, \dots, nM, j = 1, \dots, n$) にコピーする。値 $VB_m[i, j]$ をコピーする際に、ブロック間の空間的関係を考慮する。関数 $f(r, c)$ が線形であることから、下記式のようになる。

【 0 1 4 6 】

$$f(r + 1, c) = f(r, c) + f(1, 0)$$

これは、指数 m が

$$m_1 = (m_0 + f(1, 0)) \bmod M$$

に等しいブロックが、 $m = m_0$ であるブロック下にあることを意味している。そこで、行列 VB_2 において、値 VB_{m_1} を値 VB_{m_0} 下にコピーする。そのため、各 I ($I = 0, \dots, M - 1$) に対して、 $VB_{m'}[i, j]$ ($i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, n, m' = I \times f(0, 1) \bmod M$) を、左上の角の指数を $(nI + 1, 1)$ とする、 VB_I 内の $n \times n$ の正方形領域にコピーする。全ての値 I をコピーした後、 $f(1, 0)$ と M が互いに素であることから、配列 VB_2 は値 $VB_m[i, j]$ で埋まる。次に、配列 VB_2 中の値を垂直方向に Y だけ巡回シフトさせる。

【0147】

次に、 VB_2 中の左上の角の指数が $(nI + 1, 1)$ である $n \times n$ 領域における値を、各 I ($I = 0, \dots, M$) について、 $VB_{m'}[i, j]$ ($i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, n, m' = I \times f(0, 1) \bmod M$) に代入することで、 VB_2 における値を VB_m に返す。こうして、全体画像自体をシフトさせることなく、垂直方向オフセット値 Y を補償することができる。

【0148】

$n \times n$ グリッドのオフセットは、上記の処理によって補償される。これらの処理は、後述のように、図10のレジストレーション処理108で行われる。 n の倍数の移動はこれらの処理を行った後にも残っているが、上述したように電子透かしを巡回的にシフトさせることによって電子透かし W と抽出値 V との間の相関係数が計算されるので、そのシフトは電子透かしの検出には影響を及ぼさない。以上のレジストレーション処理を適用した後、 M 個のブロック VB_m ($m = 0, \dots, M - 1$) を DC T ドメインに変換し戻す。

【0149】

図10および図11は、それぞれ、 $MPEG$ 映像入力の場合と非圧縮映像（伸長された映像）の場合における、並進レジストレーションを補償するように修正された基本的な検出アルゴリズムを示している。

【0150】

$MPEG$ 映像入力の場合（図10）、最初に、 $MPEG$ ビデオストリームから得られる 8×8 DC T ブロックを、関数 $h_m(i, j)$ の指数 m に従って M 個のグループに分類し、 M 個の合計ブロックを生成するためにグループ内で加算し、その後、得られた合計ブロックを 8×8 アキュムレータ102で蓄積する。次に、 8×8 アキュムレータ102内の M 個の合計ブロックは、逆 DC T 変換器104で逆 DC T 演算を行うことで空間ドメインに変換され、 8×8 アキュムレータ106に蓄積される。 8×8 グリッドのオフセット値の検索とそのオフセットの補償を、上記の方法に従って、レジストレーション処理108において、 8×8 アキュムレータ106からの出力について実行する。レジストレーション処理108から出力されたレジストレーションデータは、 8×8 アキュムレータ110に蓄積され、 DC T 変換器112によって DC T ドメインに変換される。 DC T 変換器112の出力に対し、 8×8 アキュムレータ114、電子透かし抽出器116および電子透かし復号器118を使用して、電子透かし抽出が行われる。

【0151】

電子透かし抽出器116では、 8×8 アキュムレータ114から出力された DC T 係数が、関数 $h_m(i, j)$ に従って N 個の集合に分類され、加算され、これによって電子透かし抽出が行われる。得られた電子透かしは電子透かし復号器118に出力される。電子透かし復号器118は、抽出された電子透かしに対応する電子透かしを検索するために、図8に示す比較器84での処理を実行する。挿入されたと考えられる電子透かしが、電子透かし復号器118から出力される。

【0152】

非圧縮データの場合は（図11）、入力データが、 8×8 のブロックに分割され、関数 $h_m(i, j)$ の指数に従って 8×8 アキュムレータ106に蓄積される。その後、レジストレーション処理108を行ってから、 DC T 変換器112で DC T ドメインに変換され

10

20

30

40

50

、その後は、M P E G映像の場合と同様に処理が行われる。

【図面の簡単な説明】

【 0 1 5 3 】

【図 1】本発明の好ましい実施の形態における、メディアデータに電子透かしを挿入する方法の概略を示すフローチャートである。

【図 2】M P E G - 2 符号化器の構成を模式的に示すブロック図である。

【図 3】電子透かし入れがなされたデータ内の電子透かしの劣化を低減すべく改良された M P E G - 2 符号化器の構成を模式的に示すブロック図である。

【図 4】電子透かし入れがなされたデータ内の電子透かしの劣化を低減すべく改良された別の M P E G - 2 符号化器の構成を模式的に示すブロック図である。

【図 5】図 3 および図 4 に示す符号化器における電子透かし修正部で実行される処理を説明するフローチャートである。

【図 6】図 5 のステップ 5 0 6 で実行される処理を示すフローチャートである。

【図 7】図 5 のステップ 5 0 6 で実行される処理の別の例を示すフローチャートである。

【図 8】M P E G 映像データから電子透かしを検出する方法を示すデータフロー図である。

【図 9】伸長された映像（非圧縮映像）データから電子透かしを検出する方法を示すデータフロー図である。

【図 1 0】レジストレーションパターンを用いて M P E G 映像データから電子透かしを検出する方法を示すデータフロー図である。

【図 1 1】レジストレーションパターンを用いて、伸長された映像（非圧縮映像）データから電子透かしを検出する方法を示すデータフロー図である。

【符号の説明】

【 0 1 5 4 】

3 0 , 7 2 減算器

3 2 フレームメモリ

3 4 , 5 0 , 5 6 , 7 0 , D C T 計算器

3 6 量子化器

3 8 可変長符号化器

4 0 , 5 8 逆量子化器

4 2 , 5 4 逆 D C T 計算器

4 4 , 5 2 , 6 0 , 6 4 加算器

6 2 電子透かし修正部

8 0 ハフマン復号器・パーシャルパーサ

8 2 , 9 4 電子透かしアキュムレータ（蓄積器）

8 4 , 9 6 比較器

9 0 , 1 0 2 , 1 0 6 , 1 1 0 , 1 1 4 8 × 8 アキュムレータ

9 2 , 1 1 2 D C T 変換器

1 0 4 逆 D C T 変換器

1 0 8 レジストレーション処理

1 1 6 電子透かし抽出器

1 1 8 電子透かし復号器

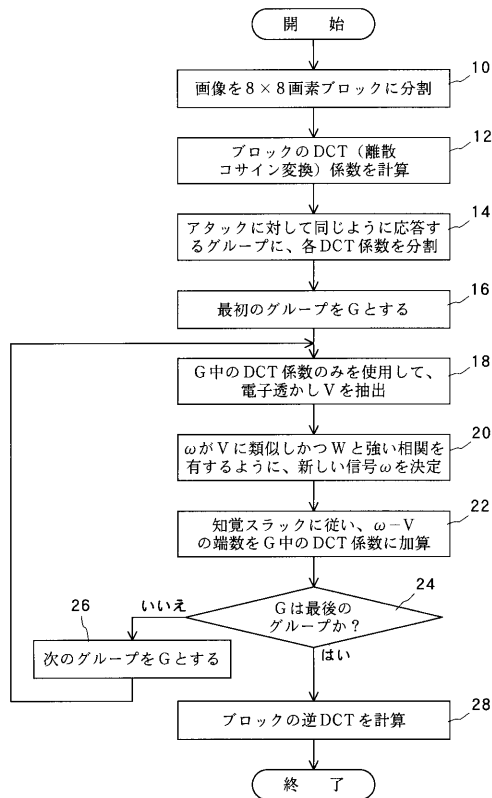
10

20

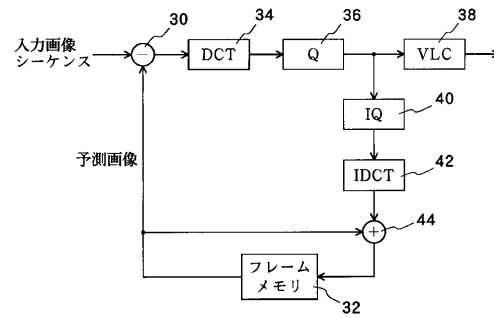
30

40

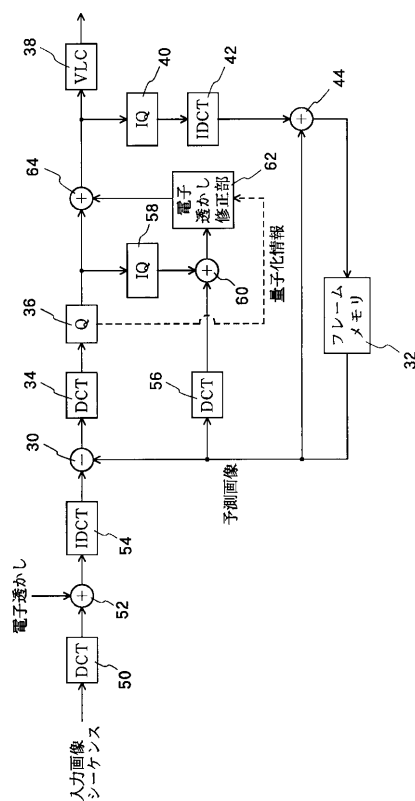
【図 1】



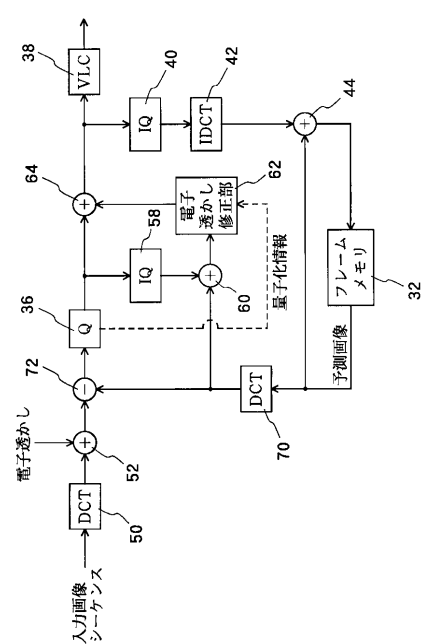
【図 2】



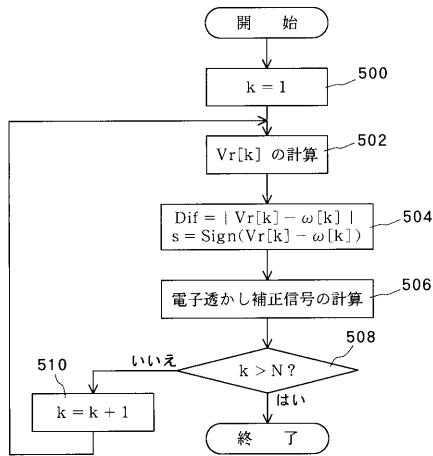
【図 3】



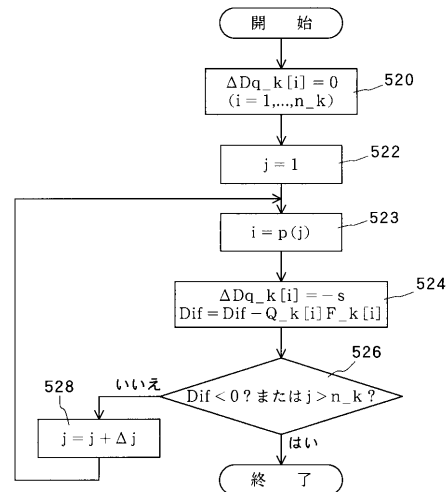
【図 4】



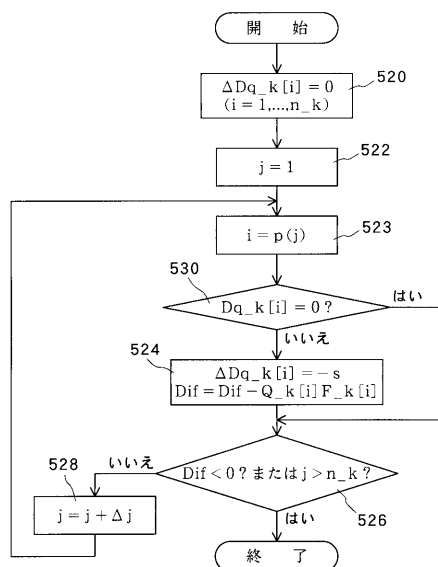
【図 5】



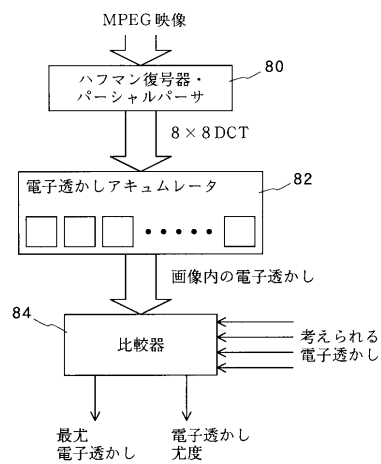
【図 6】



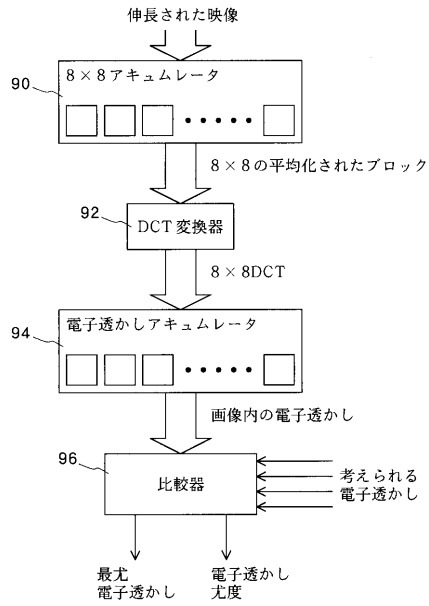
【図 7】



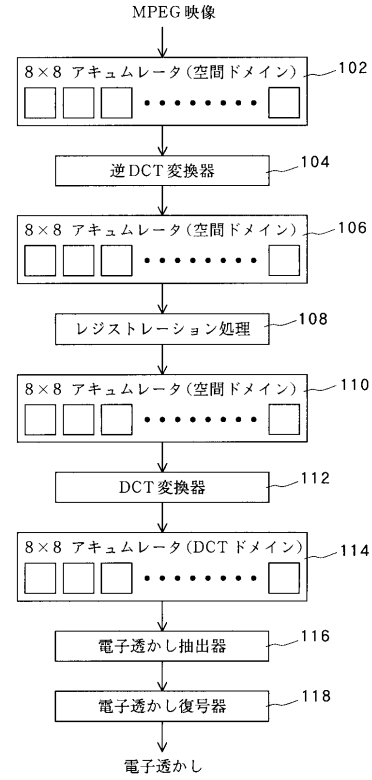
【図 8】



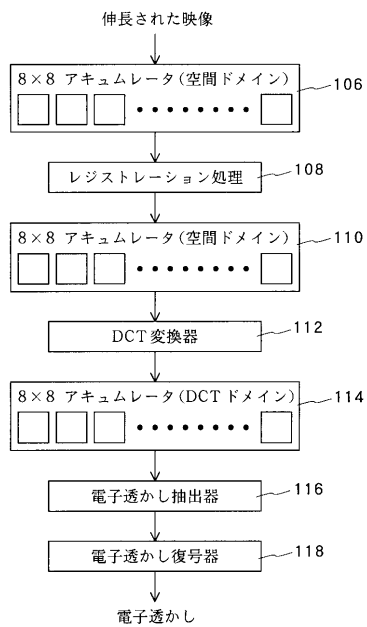
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(72)発明者 マシュー ミラー

アメリカ合衆国、 ニュージャージー 08540、 プリンストン、 インディペンデンス ウ
エイ 4 エヌ・イー・シー・リサーチ・インスティテューテュ・インク内

(72)発明者 大網 亮磨

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

審査官 曽我 亮司

(56)参考文献 特開平09-191394(JP,A)

特開平10-308867(JP,A)

特開平09-191395(JP,A)

特開平10-164349(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04N 7/30

G06T 1/00

H03M 7/30

H04N 1/387

H04N 7/32