

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5221557号
(P5221557)

(45) 発行日 平成25年6月26日(2013.6.26)

(24) 登録日 平成25年3月15日(2013.3.15)

(51) Int.Cl.

F I

H04N 7/30 (2006.01)

H04N 7/133

Z

請求項の数 12 (全 44 頁)

(21) 出願番号	特願2009-540501 (P2009-540501)	(73) 特許権者	595020643
(86) (22) 出願日	平成19年12月7日(2007.12.7)		クゥアルコム・インコーポレイテッド
(65) 公表番号	特表2010-512692 (P2010-512692A)		QUALCOMM INCORPORATED
(43) 公表日	平成22年4月22日(2010.4.22)		ED
(86) 国際出願番号	PCT/US2007/086811		アメリカ合衆国、カリフォルニア州 92
(87) 国際公開番号	W02008/070843		121-1714、サン・ディエゴ、モア
(87) 国際公開日	平成20年6月12日(2008.6.12)		ハウス・ドライブ 5775
審査請求日	平成21年8月5日(2009.8.5)	(74) 代理人	100108855
(31) 優先権主張番号	60/869,071		弁理士 蔵田 昌俊
(32) 優先日	平成18年12月7日(2006.12.7)	(74) 代理人	100091351
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 河野 哲
		(74) 代理人	100088683
			弁理士 中村 誠
		(74) 代理人	100109830
			弁理士 福原 淑弘

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ラインに基づくビデオレート制御および圧縮

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ビデオレート制御のための方法であって、

ビデオフレームの第一のアクティブラインを受信するステップと、

前記第一のアクティブラインに関連したアクティブビデオデータのための複数の量子化パラメータを決定するステップと、

前記複数の量子化パラメータを符号化システムに提供するステップ、ここで、複数の量子化パラメータは、符号化された前記第一のアクティブラインのビデオレートが最大ビデオレートを超えないように、前記第一のアクティブラインの少なくとも一部を符号化するために使用される、と、

前記ビデオフレームの第二のアクティブラインを受信するステップと、
を含んでなり、

前記第一のアクティブラインに関連したアクティブビデオデータのための複数の量子化パラメータを決定するステップは、前記ビデオフレームの第二のアクティブラインの水平ブランキング期間に行われ、

前記複数の量子化パラメータを決定するステップは、

前記第一のアクティブラインのためのビットレート要件を受信することと、

初期スループット推定値を受信することと、

初期圧縮比を決定することと、

前記初期圧縮比よりも大きい第二の圧縮比を決定することと、

10

20

過剰圧縮を検出することと、
を含み、

前記過剰圧縮を検出することは、

実際の符号化されたローパスラインサイズを決定すること、前記符号化されたローパスラインサイズは最大符号化ローパスラインサイズを含む、と、

実際の符号化されたハイパスラインサイズを決定すること、前記符号化されたハイパスラインサイズは最大符号化ハイパスラインサイズを含む、とを含み、

前記過剰圧縮の検出は、前記実際の符号化されたローパスラインサイズと前記最大符号化ローパスラインサイズとの比較の結果、および前記実際の符号化されたハイパスラインサイズと前記最大符号化ハイパスラインサイズとの比較の結果に基づいて行われる、
方法。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載の方法であって、前記第一のアクティブラインを受信することは前記第一のアクティブラインの、ローパス部分を受信すること、および前記第一のアクティブラインのハイパス部分を受信することを含む方法。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の方法であって、前記第一のアクティブラインに関連したアクティブビデオデータののための複数の量子化パラメータを決定することは、前記第一のアクティブラインのローパス部分のための少なくとも一つのローパス量子化パラメータを決定すること、および前記第一のアクティブラインのハイパス部分のための少なくとも一つのハイパス量子化パラメータを決定することを含む方法。

20

【請求項 4】

請求項 3 に記載の方法であって、更に、前記第一のアクティブラインの前記ハイパス部分のためのハイパス最大符号化ラインサイズを受信すること、および前記第一のアクティブラインの前記ローパス部分のためのローパス最大符号化ラインサイズを受信することを含んでなり、

前記第一のアクティブラインのローパス部分のための前記ローパス量子化パラメータを決定することは、前記第一のアクティブラインのローパス部分のローパス符号化長さが、前記ローパス最大符号化ラインサイズよりも小さいかどうかを比較することを含み、

前記第一のアクティブラインのハイパス部分のための前記ハイパス量子化パラメータを決定することは、前記第一のアクティブラインのハイパス部分のハイパス符号化長さが、前記ハイパス最大符号化ラインサイズよりも小さいかどうかを比較することを含む方法。

30

【請求項 5】

請求項 1 に記載の方法であって、更に、

圧縮されたビデオパケットサイズを受信することを含んでなり、

前記過剰圧縮を検出することは、前記受信した圧縮されたビデオパケットサイズをモニターすることを含む方法。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の方法であって、更に、

圧縮されたラインサイズを受信することを含んでなり、

前記過剰圧縮を検出することは、前記圧縮されたラインサイズをモニターすることを含む方法。

40

【請求項 7】

請求項 1 に記載の方法であって、前記過剰圧縮を検出することは、

前記実際の符号化されたローパスラインサイズを、先に符号化されたローパスラインサイズと比較することと、

前記実際の符号化されたハイパスラインサイズを、先に符号化されたハイパスラインサイズと比較することと、
を含む方法。

50

【請求項 8】

請求項 7 に記載の方法であって、前記先に符号化されたローパスラインサイズは最大符号化ローパスラインサイズを含み、また前記先に符号化されたハイパスラインサイズは最大符号化ハイパスラインサイズを含む、
方法。

【請求項 9】

請求項 2 に記載の方法であって、更に、

前記第一のアクティブラインのローパス部分に関連したローパス画素ドメイン歪みを予測することと、

前記第一のアクティブラインのハイパス部分に関連したハイパス画素ドメイン歪みを予測すること

を含んでなる方法。

【請求項 10】

請求項 2 に記載の方法であって、更に、

ハイパス変換係数を提供することと、

ローパス変換係数を提供すること

を含んでなる方法。

【請求項 11】

請求項 2 に記載の方法であって：更に、符号化すべき第一のアクティブラインの画素の少なくとも一つの量子化レベルを表すデータを予想することにより、前記第一のアクティブラインのローパス部分のローパス符号化長さを決定することを含んでなる方法。

【請求項 12】

請求項 11 に記載の方法であって、前記少なくとも一つの量子化レベルを表すデータを予想することは、前記第一のアクティブラインのローパス部分の前記画素の近隣の画素の符号化データに基づいて予想することを含む方法。

【発明の詳細な説明】

【発明の分野】

【0001】

本発明は、一般的には無線通信に関し、より詳細には、無線ビデオデータ送信のためのラインに基づくレート制御に関する。

【背景】

【0002】

超広帯域（VWB）無線通信は、従来にはない高レートでのデータ送信を可能にする。高精細ビデオフォーマットは以前に可能であったよりも低い圧縮率で送信できるので、ビデオ送信はこれら高レートの利益を受ける。先行技術のシステムは、フレームまたはブロックに基づく圧縮スキームに依存し、これらは二つの広いカテゴリに入る。

【0003】

特定の容量を備えたチャンネル上でビデオを送信するために、非スケーラブルなレート制御方法は、平均ビットレートがチャンネル容量に近接するように、複雑な発見的方法を用いてビデオフレームのブロックを圧縮する量子化パラメータを選択する。しかし、瞬間ビットレートは一般的にチャンネル容量を越える可能性があるので、これら方法は、データ喪失を防止するために大きなバッファを使用する。

【0004】

ビデオがスケーラブルなレート制御で送信されるときには、各ビデオフレームまたはブロックは、スケーラブル（または埋め込まれた）なビットストリームに符号化され、これは瞬間的なビットレートがチャンネル容量を越えないことを保証するために、何れかの点で切除されてよい。しかし、これら方法は、複雑なマルチパスのビットプレーン指向性処理がスケーラブルなビットストリームを発生できるように、全体のフレームまたはブロックをバッファするのに十分なメモリーを使用する。

【0005】

10

20

30

40

50

典型的には、ビデオレート制御方法は、所定のレートについての歪みを最小化することによって品質を最適化するために、レート歪み理論を適用する。特に、フレームに基づくビデオ符号化器およびブロックに基づくビデオ符号化器は、レート拘束条件付きの歪み最小化のために、マルチパス法または高価な調査を使用する。

【 0 0 0 6 】

フレームに基づくシステムおよびブロックに基づくシステムとは対照的に、提案されているライに基づくレート制御は、バッファ状態およびチャンネル容量のような変化するシステム条件に対して、ライン毎にビデオ圧縮を適合させる。無線ビデオシステムがフレームに基づくレート制御およびブロックに基づくレート制御からラインに基づくレート制御へと移動するので、当該技術においては、変化するチャンネル容量下において、バッファのオーバーフローを伴わずに最大のビデオ品質が得られるように、ラインに基づくレート制御のための最小量子化パラメータを決定する必要性が存在する。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 7 】

本開示の種々の側面は、添付の図面と共に、以下の詳細な説明を読むことによって最も良く理解される。

【図 1】図 1 は、本発明の一実施形態が実現され得る典型的な無線ビデオシステムのブロック図である。

【図 2】図 2 は、本発明の一実施形態に従うビデオフレームのフォーマットを示している。

【図 3】図 3 は、本発明の一実施形態に従って、ビデオフレームの各ラインの R G B 成分についてのデータフローの概略を示すブロック図を示している。

【図 4】図 4 は、ハイパスサブバンドもしくはローパスサブバンドの予測残差から描かれる整数に関連した、指数ゴロム符号を定義するプロセスを示すフローチャートである。

【図 5】図 5 は、本発明の一実施形態に従う一対のパケタイザを示している。

【図 6】図 6 は、本発明の一実施形態に従って、バッファのオーバーフローを伴わずに、最小歪みのためのビデオ符号化を最適化する制御出力を発生するために、ビデオレート制御が使用する入力を示している。

【図 7】図 7 は、最適ローパス量子化設定を決定するために、水平ブランキング期間の間に実行されるプロセスを示すフローチャートを示している。

【図 8】図 8 は、ラインにおけるローパス部分の符号化された長さの計算を示すフローチャートを示している。

【図 9】図 9 は、ラインのローパス部分からの二乗誤差の計算を示すフローチャートを示している。

【図 10】図 10 は、最適なハイパス量子化設定を決定するために、水平ブランキング期間の間に実行されるプロセスを示すフローチャートを示している。

【図 11】図 11 は、ラインにおけるハイパス部分の符号化された長さの計算を示すフローチャートを示している。

【図 12】図 12 は、ラインのハイパス部分からの二乗誤差の計算を示すフローチャートを示している。

【図 13】図 13 は、最適化されたローパスサブバンドレート計算のためのプロセスを示している。

【図 14】図 14 は、全量子化レベル下のローパスサブバンド項目 x についての、残差符号長の最適化された計算のための最適化された L P レート手順を記載している。

【図 15】図 15 は、現在の行からのローパスサブバンド項目に、現在のローパスサブバンド行からの x の量子化されない左隣を加えるための手順を描いている。

【図 16】図 16 は、量子化入力推定値についての訂正手順を示している。

【図 17】図 17 は、画素間の距離を、それらが量子化された後に決定する手順を示している。

【図 18】図 18 は、特定の量子化レベルでのローパスサブバンド項目に対応する残差を

10

20

30

40

50

計算するための手順を示している。

【図 19】図 19 は、J P E G - 2 0 0 0 画像圧縮標準によって定義される $\text{floor}(x' + 2)$ を使用した、L e G a l l (5 , 3) ウェーブレット変換の整数実施のための丸め方法を示している。

【図 20】図 20 は、本発明の一実施形態に従って、 $\text{fix}(x' + 2)$ を使用した、L e G a l l (5 , 3) ウェーブレット変換の整数実施のための丸め方法を示している。

【図 21】図 21 は、ビデオレート制御信号のために使用される圧縮比率の曲線をプロットしている。

【図 22】図 22 は、本発明の一実施形態に従って、改善されたビデオレート制御のためのファームウェアで実施される方法を示すフローチャートである。

10

【図 23】図 23 は、本発明の一実施形態に従って、改善されたビデオレート制御のためのハードウェアで実施される方法を示すフローチャートである。

【図 24】図 24 は、レジスタにおける未使用のバイトをクリップするために使用されるクリップ関数を表している。

【図 25】図 25 は、図 7 に示したプロセスの代替法として、最適ローパス量子化設定を決定するために、水平ブランキング期間の間に実行されるプロセスを示すフローチャートを示している。

【図 26】図 26 は、図 10 に示したプロセスの代替法として、最適なハイパス量子化設定を決定するために、水平ブランキング期間の間に実行されるプロセスを示すフローチャートを示している。

20

【図 27】図 27 は、水平ブランキング期間の際の最適ハイパス量子化設定を決定するために、図 10 におけるフローチャートの代わりに使用してよい代替フローチャートを示している。

【図 28】図 28 は、水平ブランキング期間の際の最適ハイパス量子化設定を決定するために、図 10 におけるフローチャートの代わりに使用してよい代替フローチャートを示している。

【詳細な説明】

【0008】

画像 / ビデオ符号化器は、一般に二つのコンポーネント、即ち、圧縮エンジンおよびレート制御装置からなっている。レート制御装置は、符号化器が埋め込まれるシステムからの入力を受信し、次いで、出力ビットストリームが該システムによって送信され得るように、圧縮エンジンの動作を制御するパラメータを発生する。本発明の一実施形態は、複雑さの低い、低コストのレート制御のための方法を提供する。

30

【0009】

基礎をなすシステムから次のフィードバックを受信する、画像 / ビデオ符号化器を考えよう：

- (a) 初期スループット推定値
- (b) パケットサイズ
- (c) パケット再送信フィードバック
- (d) 今度のビデオ動作不能時間スロットの通知、
- (e) 送信バッファの満杯度。

40

【0010】

本発明のもう一つの実施形態は、上記で述べたフィードバックを使用して、レート制御を介してパケット毎に動作点を適合的に変更することにより、復号された画像 / ビデオ品質を改善するための低コストのファームウェアで実施可能な方法を提供する。

【0011】

もう一つの変形例において、画像 / ビデオ符号化器は、基礎をなすシステムから次のフィードバックを受信する：

- (a) 初期スループット推定値
- (b) 圧縮されたラインサイズ

50

- (c) パケット再送信フィードバック
- (d) 今度のビデオ動作不能時間スロットの通知、
- (e) 送信バッファの満杯度。

【 0 0 1 2 】

この別の実施形態は、上記で述べたフィードバックを使用して、レート制御を介してライン毎に動作点を適合的に変更することによって、復号された画像／ビデオ品質を改善するための、低コストのハードウェアで実施可能な（ファームウェアではなく）方法を提供する。

【 0 0 1 3 】

上記で述べたように、画像／ビデオ符号化器は、一般には二つのコンポーネント、即ち圧縮エンジンおよびレート制御器からなっている。レート制御器は、符号化器が埋め込まれたシステムからの入力を受信し、次いで、出力ビットストリームが該システムによって送信され得るように、圧縮機の動作を制御するパラメータを発生する。前記符号化器に対応する復号器は、前記ビットストリームから生の画像／ビデオデータが再構成されるように、圧縮エンジンの動作を反転させる圧縮解除エンジンからなっている。本発明の一実施形態は、複雑さの低い、低コストのラインに基づく圧縮エンジンのための方法を提供する。この圧縮エンジンにおける動作を反転させることによって、対応する復号器が得られる。

10

【 0 0 1 4 】

本発明の更なる実施形態は丸め方法を含んでおり、これは損失無しおよび損失有りの、より高い圧縮比率をもたらす。ウェーブレット変換は、屢々、画像／ビデオデータを相関解除して、損失無しおよび損失有りの圧縮比率を増大させるために用いられる。実施コストを低減するために、丸め動作を使用してウェーブレット変換の整数バージョンを実施する。

20

【 0 0 1 5 】

多重解像度変換に続いてエントロピー符号化を使用する画像／ビデオ符号化器では、元データにおけるエッジに対応したハイパス係数に長い符号が割当てられる。本発明のもう一つの実施形態は、圧縮率を増大させるための方法を提供する。

【 0 0 1 6 】

本発明の更なる実施形態は、改善された歪み推定精度のための方法を扱う。ウェーブレット変換に基づく圧縮エンジンを備えた画像／ビデオ符号化器において、レート制御は、ウェーブレット／ドメイン歪みから画素／ドメイン歪みを推定する。不運なことに、丸めノイズのため、複雑さの低い整数ウェーブレット変換が使用されるときには、画素／ドメイン歪み推定の精度が低下する。

30

【 0 0 1 7 】

圧縮エンジンが、強い垂直相関および／または水平相関を含む局在化された領域を備えた、量子化された二次元アレイを符号化する画像／ビデオ符号化器において、各アレイ要素について最大相関の方向に予測残差が発生されれば、より高い圧縮率を得ることができる。本発明の一実施形態は、量子化されたデータから予測残差を発生させるための、経験則による発見的方法を提供する。経験則は最大相関の方向に予測を駆り立てる結果、各アレイ要素において該方向を特定する追加のデータを符号化器に供給することは不要である。

40

【 0 0 1 8 】

この符号化器のためのレート制御は、全ての量子化レベルで符号化されたアレイのためのビット使用量を予測する。本発明の更なる実施形態は、種々の特定された量子化レベルでエントロピー符号化された残差の正確なビット消費を予測するための、複雑さの低い方法を提供する。

【 0 0 1 9 】

画像／ビデオ符号化器において、圧縮エンジンは、ビットストリームを形成するためのエントロピー符号化器を含んでいる。ゴロム符号は、効率的で複雑度が低く、且つ低コス

50

トのエントロピー符号化器を実施するために使用することができる。本発明の一実施形態は、画像／ビデオ符号化器用ゴロム符号を発生させるための、コストが低減された方法を提供する。この方法の逆は、対応する画像／ビデオ復号器のためのエントロピー復号プロセスを特定する。更に、算術的符号化器の基本的な要素は、ゴロム符号化特性を改善するために使用することができる。

【 0 0 2 0 】

図 1 は、本発明の一実施形態を実施し得る典型的な無線ビデオシステムのブロック図である。ビデオデータストリームは、ビデオソース 1 0 0 からビデオシンク 1 1 0（例えばコンピュータモニター、テレビジョン等）へと無線で転送される。無線ビデオ入力装置 1 0 1 および出力装置 1 1 1 は、無線接続を提供する。

10

【 0 0 2 1 】

図 2 は、本発明の一実施形態に従うビデオフレームのフォーマットを示している。各ビデオフレームは、アクティブラインおよびブランクラインで構成される。各アクティブラインは、アクティブ画素およびブランク画素で構成される。ビデオフレームのアクティブビデオセクションの間のデータが表示され、該データは、赤、緑および青（RGB）フォーマットまたは YUV 4 : 2 : 2 フォーマットの三つの色成分からなっている。（YUV 色モデルにおいて、Y は輝度信号を表し、また U および V は色差信号を表す）。

【 0 0 2 2 】

図 3 は、本発明の一実施形態に従うビデオフレームにおいて、各ラインの RGB 成分についてのデータフローを概説したブロック図を示している。RGB - to - YUV ブロック 3 0 2 は、各画素についての赤、緑および青の成分を、4 : 4 : 4 フォーマットで対応する YUV 成分にマッピングする色空間変換を使用する。バイパス制御 3 0 1 が表明されれば、RGB - to - YUV ブロック 3 0 2 はバイパスされる。

20

【 0 0 2 3 】

Select・YUV 制御 3 0 3 は、YUV フォーマット変換ブロック 3 0 4 がバイパスされるかどうか、またはローパスフィルタおよびダウンサンプラーが YUV 4 : 4 : 4 フォーマットを YUV 4 : 2 : 2 もしくは YUV 4 : 1 : 1 フォーマットに変換するかどうかを決定する。

【 0 0 2 4 】

YUV フォーマット変換ブロック 3 0 4 によって生じた YUV 成分は、別々のウェーブレット変換 3 0 6（Y）、3 0 7（U）および 3 0 8（V）を通される。Select・Tfm 制御 3 0 5 は、ダウベシーズ（Daubechies）（7, 9）もしくはラガル（LeGall）（5, 3）ウェーブレット変換の 2 レベルの整数バージョンが、各色成分のためのローパスサブバンドおよびハイパスサブバンドを発生させるために使用されるかどうかを決定する。与えられたラインについて 2 レベルのウェーブレット変換が使用されるので、ローパス（高優先度）ウェーブレット係数の数は、該ラインにおける画素の 25 % を構成し、またハイパス（低優先度）のウェーブレット係数は、該ラインにおける画素の 75 % を構成する。

30

【 0 0 2 5 】

Y 成分について、ローパスサブバンドは LpY で標識され、ハイパスサブバンドは HpY で標識される。同様に、U 成分および V 成分についての対応するサブバンドは、それぞれ、LpU、HpU、LpV、HpV で標識される。与えられたラインについての LpY、HpY、LpU、HpU、LpV、HpV は RAM 3 0 9 に保存され、これらサブバンドについての最適量子化設定を決定するために、与えられたラインについて全サブバンドへのビデオレート制御アクセスを提供する。

40

【 0 0 2 6 】

ウェーブレット変換が完了したら、ビデオレート制御は、それぞれのサブバンド LpY、HpY、LpU、HpU、LpV、HpV のための最適量子化レベル qLY、qHY、qLU、qHU、qLV、qHV（以下で更に詳細に説明する）を決定する。サブバンド係数および量子化レベルのそれぞれの対（例えば LpY / qLY、HpY / qHY 等）が

50

量子化器 3 1 0 ~ 3 1 5 へと供給され、これは次のプロセスによって量子化された係数 x_p を計算する。

【 0 0 2 7 】

$$x_q = x \gg q,$$

もし ($x < 0$) および (x の q L S B s が全部は 0 でない) および ($q < >$) であれば

$$x_q = x_q + 1$$

上記の擬似符号は、前記量子化器が x の q 最下位ビットを右シフトにより除去して、 x_q を得ることを示している。より短いエントロピー符号を得るために、マイナス数がゼロに向かって丸められるように、 x_q のマイナス値が増分される。

【 0 0 2 8 】

エントロピー符号化器は、殆どのサインブルがゼロの回りにクラスターされる指数分布したデータのために最適な短い符号を出力するので、量子化後に、該データは指数分布に適合するように条件付けされる。

【 0 0 2 9 】

量子化されたハイパスサブバンド $H p Y'$ 、 $H p U'$ 、 $H p V'$ は、既に指数的に分布されており、条件付けを必要としない。(本明細書の一部として援用する “Noise Removal via Bayesian Wavelet Coring”, E. P. Simoncelli, E. H. Adelson, Proceedings of 3rd IEEE International Conference on Image Processing”, Vol. 1, pp. 379-382, September 1996 を参照されたい)。

【 0 0 3 0 】

量子化されたローパスサブバンド $L p Y'$ 、 $L p U'$ 、および $L p V'$ について、本発明の一実施形態は予測プロセス 3 1 6、3 1 7、3 1 8 を適用して、それぞれ指数的に分布した予測残差 $Res Y$ 、 $Res U$ 、 $Res V$ を生じる。この予測プロセスは、以前の画素ラインのローパス区画を利用する。以下の表 1 は、量子化された $L P$ サブバンドの行 n および行 $n - 1$ を示す。

【表 1】

	列 1	列 2	...	列 m-1	列 m	...
行 1						
行 2						
...						
行 n-1				a_q	b_q	Q_{n-1}
行 n				c_q	x_q	Q_n
...						

【 0 0 3 1 】

表 1

以下の入力について、出力は、行 n の各量子化された項目 x_q のための $L P$ 残差 $d x$ からなっている：

- 1) 量子化された $L P$ サブバンドの行 n および行 $n - 1$
- 2) Q_n 、 Q_{n-1} ：行 n および行 $n - 1$ についての量子化レベル

注：行 1 は量子化された $L P$ サブバンドの最初の行なので、行 0 および Q_0 は定義されず、従って以下では使用されない。

【 0 0 3 2 】

- 3) 予測モード：ライン間予測またはライン内予測

注：行 n における全項目に対して同じ予測モードが適用される。

【0033】

ライン間予測は、行 $n - 1$ を使用して行 n を予測することを含んでいる。（明らかに、この予測モードは $n = 1$ については無効である）。この予測プロセスにおいて、行 $n - 1$ の項目は、それらが行 n の項目と同じ量子化レベルを有するようにスケール変更される。以下の四つの場合を考えてみる：

場合 1： $n > 1$, $m > 1$, $Q_{n-1} \geq Q_n$

$$a_q = a_q < < (Q_{n-1} - Q_n) ,$$

$$b_q = b_q < < (Q_{n-1} - Q_n) ,$$

場合 2： $n > 1$, $m > 1$, $Q_{n-1} < Q_n$

$$a_q = a_q > > (Q_n - Q_{n-1}) ,$$

$$b_q = b_q > > (Q_n - Q_{n-1}) ,$$

場合 3： $n > 1$, $m = 1$, $Q_{n-1} \geq Q_n$

$$b_q = b_q < < (Q_{n-1} - Q_n) ,$$

場合 4： $n > 1$, $m = 1$, $Q_{n-1} < Q_n$

$$b_q = b_q > > (Q_n - Q_{n-1})$$

行 $n - 1$ の項目を適切にスケール変更した後、以下の予測プロセスを使用して、 x_q に対応する残差 dx を発生させる。

【0034】

場合 1 および 2 について：

もし $|a_q - c_q| \leq |a_q - b_q|$ であれば、

$$dx = x_q - b_q$$

或いは

$$dx = x_q - c_q$$

場合 3 および 4 について： $dx = x_q - b_q$ 。

【0035】

ライン間予測について、行 $n - 1$ は行 n を予測するために使用される。この予測モードは $n = 1$ の場合には必須であり、また行 $n - 1$ とは独立に行 n を符号化することを望むときには、 $n > 1$ の場合にも選択されてよい。ライン間予測とは異なり、ライン内予測はスケール変更を必要としない。 x_q に対応する残差 dx は、次の二つの場合に従って誘導される：

場合 5： $m > 1$: $dx = x_q - c_q$,

場合 6： $m = 1$: $dx = x_q$ 。

【0036】

当該予測プロセスに続いて、残差 $Res Y$, $Res U$, $Res V$ およびハイパスサブバンド $Hp Y'$, $Hp U'$, $Hp V'$ は、今度は指数的に分布される。これは、本発明の実施形態が、エントロピー符号化器 319 ~ 324 において、極めて単純で且つ効果的な指数 - ゴロム符号を使用することを可能にする。（指数 - ゴロム符号については、その内容を本明細書の一部として援用する「A Compression Method for Clustered Bit-Vectors」, J. Teuhola, Information Processing Letters, Vol. 7, pp. 308-311, October 1978 を参照のこと）。

【0037】

先行技術のシステムは、指数 - ゴロム符号を使用してウェーブレット係数ランレングスを符号化する。（「Generalized Golomb Codes and Adaptive Coding of Wavelet-Transformed Image Subbands」, A. Kiely, and M. Klimesh, IPN PR 42-154, Jet-Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, April-June 2003, pp. 1-14, August 15, 2003 を参照のこと）。対照的に、本発明の実施形態はこれら符号を使用して、ハイパスサブバンドおよびローパスサブバンドの予測残差を符号化する。単純な予測残差で指数 - ゴロム符号化のためのデータを調整することは、ビデオレート制御（以下で説明する）のための効率的で且つ正確なレート推定技術を得る。

【 0 0 3 8 】

図 4 は、ハイパスサブバンドまたはローパスサブバンドの予測残差から得られた整数 X に関連した、指数 - ゴロム符号 G を定義する方法を示すフローチャートである。最初のステップは、整数 X の符号を決定することである（ステップ 4 0 1）。

【 0 0 3 9 】

$X = 0$ であれば、ゴロム符号は 1 に等しく設定される（ $G = 1$ ）（ステップ 4 0 2）。プラス X の場合、 B は X の 2 値表現であり、1 ビットだけ左シフトされる（ステップ 4 0 1）。マイナス X の場合、その手順は、 X の絶対値が B を生じさせ、 B の最下位ビットが設定されることを除いて同様である（ステップ 4 0 4）。

【 0 0 4 0 】

L は、 B に先立つ先導するゼロの数であり、 $\text{floor}(\log_2 B)$ によって定義される（ステップ 4 0 5）。 L は、 B のビット長よりも 1 少ない。

【 0 0 4 1 】

従って、プラスまたはマイナスの整数 X について、ゴロム符号 G は、 L 個の先導するゼロと、それに続く B からなっており、 B は 2 値で表現され、最上位ビットは 1 に設定される（ステップ 4 0 6）。

【 0 0 4 2 】

指数 - ゴロム符号化プロセスを例示するために、以下のリストは、 X [- 1 0 , 1 0] についてのゴロム符号 G を符号長と共に示している。

【 0 0 4 3 】

$X = -10$, $G = 000010101$, 長さ = 9
 $X = -9$, $G = 000010011$, 長さ = 9
 $X = -8$, $G = 000010001$, 長さ = 9
 $X = -7$, $G = 0001111$, 長さ = 7
 $X = -6$, $G = 0001101$, 長さ = 7
 $X = -5$, $G = 0001011$, 長さ = 7
 $X = -4$, $G = 0001001$, 長さ = 7
 $X = -3$, $G = 00111$, 長さ = 5
 $X = -2$, $G = 00101$, 長さ = 5
 $X = -1$, $G = 011$, 長さ = 3
 $X = 0$, $G = 1$, 長さ = 1
 $X = 1$, $G = 010$, 長さ = 3
 $X = 2$, $G = 00100$, 長さ = 5
 $X = 3$, $G = 00110$, 長さ = 5
 $X = 4$, $G = 0001000$, 長さ = 7
 $X = 5$, $G = 0001010$, 長さ = 7
 $X = 6$, $G = 0001100$, 長さ = 7
 $X = 7$, $G = 0001110$, 長さ = 7
 $X = 8$, $G = 000010000$, 長さ = 9
 $X = 9$, $G = 000010010$, 長さ = 9
 $X = 10$, $G = 000010100$, 長さ = 9。

【 0 0 4 4 】

本発明の一実施形態におけるゴロム符号実施は、如何なる計算も必要としないから、極めて効率的である。特に、上記実施形態では L を簡潔に定義するために $\text{floor}(\log_2 B)$ が使用されるが、もう一つの実施形態は、単純な論理を使用して最上位ビット、従って B のビット長を見出す。

【 0 0 4 5 】

最後に図 3 に戻ると、本発明の実施形態は、エントロピー符号化された $ResY$, $ResU$, $ResV$, HpY' , HpU' , および HpV' データを、 $HiPriY$, $HiPriU$, $HiPriV$, $LoPriY$, $LoPriU$, $LoPriV$ として標識する。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 6 】

図 5 は、本発明の一実施形態に従う一対の packets 化器を示している。別個の packets 化器 5 0 1 , 5 0 2 が、HiPriY, HiPriU, HiPriV を高優先度の packets に、また LoPriY, LoPriU, LoPriV を低優先度の packets に、それぞれ蓄積する。優先順位付けは、残差データを含む packets に対して、ハイパスサブバンドを含む packets よりも大きい保護が与えられるように行われる。一つのラインからの残差データは次のラインのライン間予測に使用されるので、残差データの喪失は、エラーを後続のラインに伝播させる可能性がある。対照的に、所定のラインについてのハイパスデータは他のラインとは独立しているので、ハイパスデータの喪失は後続のラインに影響しない。なお、packets 化器は、典型的には 1 以上のラインからのデータを一つの packets に充填するものである。

10

【 0 0 4 7 】

図 3 に示したラインベースの符号化器の動作において、重要なコンポーネントはビデオレート制御 (VRC) 方法であり、該方法は、変化するチャンネル容量の下で、バッファのオーバーフローを伴うことなく最大のビデオ品質を得るために必要な、各ライン (qLY, qHY, qLU, qHU, qLV, qHV) についての最低限の量子化パラメータを決定する。本発明の一実施形態は、小さいバッファおよび単回パス走査を使用して、先行技術のフレームもしくはブロックに基づく技術よりも有意に低い複雑さを提供する。該先行技術は、大きなバッファおよび多重回パスで、複雑なサーチを含んだビット平面配向性のアプローチを使用する。

20

【 0 0 4 8 】

図 6 は、本発明の一実施形態に従って、バッファのオーバーフローを伴うことなく、最小歪みのためのビデオ符号化を最適化する制御出力を発生するために、VRC が使用する入力を示している。本発明の好ましい実施形態において、VRC はハードウェアにおいて実施される。タイミングの観点から、所定のラインのためのアクティブ画素が利用可能であるすこし前に、媒体アクセス制御 (MAC) は maxLsize; 601 および maxHsize; 602 を特定し、これらはそれぞれ、現在のラインのローパス部分およびハイパス部分についての最大符号化ラインサイズを指示する。

【 0 0 4 9 】

これらの最大ラインサイズは、物理相 (PHY) によって与えられるチャンネル容量推定値から容易に計算される。maxLsize および maxHsize を、特定の最大ラインサイズについての良好な圧縮結果を与える Bypass603, SelectYUV604, および SelectTfm605 の値を特定している表の中に示す。

30

【 0 0 5 0 】

所定のラインについてのアクティブ画素が利用可能になったら、それらは選択された Bypass603, SelectYUV604, および SelectTfm605 の値を用いて、符号化器を通してクロックされる。VRC600 は、LpY, HpY, LpU, HpU, LpV, および HpV サブバンドを、それらが RAM (図 3 に示す) の中に保存されるときにサンプリングする。同時に、VRC600 は、これらサブバンドサンプルを使用して、量子化値の全ての可能な組合せについてのレートおよび歪み情報をコンパイルする。当該ラインについて、最後のアクティブ画素に続いて水平ブランキング期間が始まる少し後に (図 2 参照)、レートおよび歪み情報が、それぞれ高優先度および低優先度の符号化されたラインサイズ、および量子化値の全ての許容可能な組合せについての二乗誤差として利用可能である。

40

【 0 0 5 1 】

僅かなクロックサイクルのうちに、VRC600 は、全ての qHY, qHU, qHV 組合せに対応した、高優先度の符号化されたラインサイズの単回パス走査を行う。この走査の間に、それは maxHsize よりも小さい符号化されたラインサイズに関連した、qHY, qHU, qHV 組合せを考慮する。走査が完了した後に、qHY, qHU, qHV は、最小二乗誤差を備えたこの考慮された組合せに設定される。制御値 qLY, qLU,

50

q L Vは、水平ブランキング期間が終わる前に同様に決定される。

【 0 0 5 2 】

量子化器は次に、最適量子化設定 q H Y , q H U , q H V , q L Y , q L U , および q L Vを使用して、R A Mにおける完全な q H Y , q H U , q H V , q L Y , q L U , および q L Vサブバンドを量子化し始めることができる。このタイミングスケジュールは、次のラインのためのサブバンドサンプルの保存が必要とされる前に、十分な R A M空間がフリーであることを保証する。

【 0 0 5 3 】

以下の V R Cの説明を単純化するために、q H Y , q H U , q H Vは組 { 0 , 2 , 4 , 6 }に限定され、また q L Y , q L U , q L Vは組 { 0 , 1 , 2 , 3 }に限定されるであろう。実験的証拠はまた、q H Uが通常は q H Vに等しく、q L Uは通常は q L Vに等しいことを明らかにしている。従って、本発明の目的のために、V R C方法は、H p U , H p Vから q H U Vを決定し、次いで q H U = q H V = q H U Vを設定することによって単純化することができる。同様に、q L U Vは L p U , L p Vから得られる。最後のステップは、q L U = q L V = q L U Vを設定することである。

【 0 0 5 4 】

これらの限定は優れた結果を生じ、好ましい実施形態で実施されてよい。しかし、上記の要件は、本発明に従う別の実施態様では必要とされない。

【 0 0 5 5 】

図 7は、最適なローパス量子化設定を決定するために、水平ブランキング期間に実行されるプロセスを示すフローチャートである。これらの量子化設定 (q L Y , q L U V)は、入力 m a x L s i z e , i , j = { 0 , 1 , 2 , 3 } についての $R^L_{i,j}$, および $D^L_{i,j}$ から誘導される。サブスクリプト i は、Y についての量子化レベルを示し、j は U V についての量子化レベルを示す。 R^L はレートを表し、また D^L は歪みを表す。従って、L p Yサブバンドが i ビットによって量子化され、また L p U , L p Vサブバンドが j ビットによってそれぞれ量子化されるときに、 $R^L_{i,j}$ はラインのローパス部分の符号化された長さを示す。同様に、L p Yサブバンドが i ビットによって量子化され、また L p U , L p Vサブバンドが j ビットによってそれぞれ量子化されるときに、 $D^L_{i,j}$ はラインのローパス部分からの 2 乗誤差を示す。

【 0 0 5 6 】

ステップ 7 0 1 は、最小歪みを大きな値に初期化する。この例において、量子化レベル q L Y および q L U V は 1 5 に設定される。ステップ 7 0 2 , 7 0 3 は、四つの q L Y 量子化レベルおよび四つの q L U V 量子化レベルを通して循環するネステッドループを開始する。従って、q L Y および q L U V の全 1 6 の組合せは、該ネステッドループにおいて試験される。

【 0 0 5 7 】

この 1 6 の組合せの各々について、ステップ 7 0 4 は、現在のラインのローパス部分の符号化された長さが、量子化レベルの特定の組み合わせの m a x L s i z e よりも低いかどうかを決定する。そうでなければ、次の組合せが試験される。

【 0 0 5 8 】

該ローパス部分が m a x L s i z e よりも低くなければ、ステップ 7 0 5 は、当該組合せに関連する歪みが、既に遭遇した最小の歪みであるかどうかを決定する。そうでなければ、次の組合せが試験される。

【 0 0 5 9 】

当該組合せに関連した歪みが既に遭遇した最小の歪みであれば、ステップ 7 0 6 は、該量子化組合せを q L Y および q L U V の中に保存する。可変の m i n D は、現在の量子化組合せに関連した $D^L_{i,j}$ を維持するように更新される。何故なら、これは今までに遭遇した最も小さい歪みだからである。ネステッドループが完了した後、q L Y および q L U V は、最小の歪みで m a x L s i z e 未満のローパスサブバンドを符号化する量子化組合せを保持する。

【 0 0 6 0 】

しかし、ステップ 7 0 7 が qLY は未だ 1 5 を保持すると決定すれば、ステップ 7 0 6 は実行されず、全ての量子化組み合わせについて、ステップ 7 0 4 は当該符号化されたローパスサブバンド長さが許容可能な最大 $maxLsize$ よりも大きいと決定したことを暗示する。この場合、1 6 の量子化組合せは、許容可能な最大未満のラインを符号化するためには不十分である。

【 0 0 6 1 】

なお、組み合わせ $qLY = qLUV = 15$ は、予測プロセスの原因であるときには、 $maxLsize$ 内のローパスサブバンドを符号化するように保証され得ないことに留意すべきである。従って、現在のラインは送信されない。その代わりに、ステップ 7 0 8 は、復号器に現在のラインを以前のラインで置き換えさせるように、制御ビットを設定する。

10

【 0 0 6 2 】

図 2 5 および図 2 6 は、水平ブランキング期間の際の最適なローパス量子化設定を決定するために、図 7 におけるフローチャートの代りに使用されてよい別のフローチャートを示している。この別のフローチャートは、以下で説明するように、圧縮されたラインの視覚的品質を直接制御することを可能にするので、図 7 のプロセスを改善させる。

【 0 0 6 3 】

ステップ 2 5 0 1 は、 $meetsRateMaxAcceptableMse$ を大きな負の値に初期化するのに対して、 $meetsRateMinUnAcceptableMse$ 、 $meetsRateMaxAcceptableMseQy$ 、 $meetsRateMinAcceptableMseQy$ は各々、大きな正の値に初期化される。ステップ 2 5 0 2 は、四つの qLY 量子化レベルおよび四つの $qLUV$ 量子化レベルを通して循環するネステッドループを開始する。従って、 qLY および $qLUV$ の全 1 6 の組合せは、このネステッドループにおいて試験される。

20

【 0 0 6 4 】

この 1 6 の組合せの各々について、ステップ 2 5 0 3 は、現在のラインのローパス部分の符号化長さが、 qLY および $qLUV$ の特定の QLC 組合せ (QLC) についての $maxLsize$ よりも大きいかどうかを決定する。もしそうであれば、現在の QLT は許容可能な最大値を越えており、または望ましいビットレート要件が現在の QLC に適合しないであろうから、次の QLT が試験される。

30

【 0 0 6 5 】

ローパス部分が $maxLsize$ よりも大きければ、ステップ 2 5 0 4 は、 QLC に関連する歪みが許容可能な $acceptableLpMse$ よりも大きいかどうかを決定する。もしそうであれば、我々は、現在の QLC は望ましいビットレート要件に適合するが、関連の歪みは許容できないほど大きいことを知ることになる。この場合、ステップ 2 5 0 5 は、現在の QLC が、ビットレート要件には合致するが許容不能に大きい歪みをもたらす既に遭遇した全ての QLC のうち、最も小さい歪みを有するかどうかを試験する。もしそうであれば、ステップ 2 5 0 8 は、現在の QLC およびその関連の歪みを、 $meetsRateMinUnAcceptableMseQy$ 、 $meetsRateMinUnAcceptableMseQuv$ 、および $meetsRateMinUnAcceptableMse$ に保存する。

40

【 0 0 6 6 】

ステップ 2 5 0 4 が、 QLC に関連した歪みは許容可能に小さいと決定したならば、ステップ 2 5 0 6 は、現在の QLC が、ビットレート要件に合致し且つ許容可能に小さい歪みを有する全 QLC のうちで最も大きい歪みを有するかどうかを試験する。もしそうであれば、ステップ 2 5 0 7 は現在の QLC およびその関連した歪みを、 $meetsRateMaxAcceptableMseQy$ 、 $meetsRateMaxAcceptableMseQuv$ 、および $meetsRateMaxAcceptableMse$ に保存する。当該ステップ 2 5 0 4、2 5 0 5、2 5 0 6、2 5 0 7、2 5 0 8 は、望ましいビットレートに合致する全ての QLC (その付随する歪みは許容可能な $LpMse$ に近似して

50

いる)が、 $meetsRateMinUnAcceptableMseQy$ 、 $meetsRateMinUnAcceptableMseQuv$ に、または $meetsRateMaxAcceptableMseQy$ 、 $meetsRateMaxAcceptableMseQuv$ に保存されるであろうことを保証することが認められる。

【0067】

ステップ2502によって開始されたネステッドループが完了し、全てのQLCが試験された後に、制御は、図26におけるステップ260へと通過する。このステップは、何れかのQLCが、許容可能な歪みを伴って当該ビットレートに合致するかどうかを決定する。もしそうであれば($meetsRateMaxAcceptableMseQy$ が7F...Fに等しくない)、QLyおよびQLuvにおいて、ステップ2602はQLCに
10
戻り、これは $acceptableLpMse$ に最も近い歪みを伴ったビットレートに合致する。しかし、ステップ2601が許容可能な歪みを伴って当該ビットレートに適合するQLCはない($meetsRateMaxAcceptableMseQy$ が7F...Fに等しい)と決定すれば、ステップ2603は、何れのQLCが許容不能な大きい歪みを伴ったビットレートに合致するかをチェックする。もしそうであれば($meetsRateMinUnAcceptableMseQy$ は7F...Fに等しくない)、QLyおよびQLuvにおいて、ステップ2604は $acceptableLpMse$ に最も近い歪みを伴ったビットレートに合致するQLCに戻る。最後に、ステップ2603が、許容不能に大きなMSEを伴ったビットレートに合致するQLCはない($meetsRateMinUnAcceptableMseQy$ は7F...Fに等しい)と決定すれば、我々は、全
20
てのQLCがビットレート要件を超えていることを知ることになる。この場合、ステップ2605は、ステップ708で行ったと同様に、復号器が強制的に現在のラインを以前のラインで置換えるように制御ビットを設定する。

【0068】

図8は、ラインのローパス部分の符号化長さ(R^L_{ij})の計算を示すフローチャートを示している。この例において、Y量子化レベルは $i = \{0, 1, 2, 3\}$ であり、またUV量子化レベルは $j = \{0, 1, 2, 3\}$ である。アクティブな画素はウェーブレット変換を介してクロックされ、RAMに書き込まれるので、 R^L_{ij} の16の値は、それらがLpY, LpU, およびLpVサブバンドにおいてそれぞれ利用可能になるときに、ウェーブレット係数 w_y, w_u, w_v から並列に蓄積される。
30

【0069】

ステップ801においては、全16の R^L_{ij} レジスタがゼロに初期化される。ステップ802は、ローパスサブバンドLpVにおける各ウェーブレット係数 w_y が図3におけるRAM309に書き込まれるときに、レート計算が該係数を考慮することを暗示する。

【0070】

ステップ803は、全ての四つのY量子化レベルが考慮されることを述べており、またステップ804は、各Y量子化レベルについて、ゴロム符号長 R_y が、定義されるように、量子化、LP予測および w_y に適用されるゴロム符号化プロセスによって計算されることを説明している。

【0071】

ステップ805および806は、異なるUV量子化レベルに関連し且つ同じY量子化レベルに関連した四つのレートレジスタが、全て R_y によって更新されることを指令する。
40

【0072】

ハードウェア実施において、ステップ804の全ての四つの例は、ステップ806の全16の例と同様に並列に実行される。

【0073】

ステップ807~811は、ステップ802~806の対応部分と並行して、LpUに対して同様に実行される。同じく、ステップ812~816がLpVサブバンドに対して適用される。

【0074】

10

20

30

40

50

図9は、ラインのローパス部分 (D^L_{ij}) からの二乗誤差の計算を例示したフローチャートを示している。Y量子化レベルは $i = \{0, 1, 2, 3\}$ であり、UV量子化レベルは $j = \{0, 1, 2, 3\}$ である。 D^L_{ij} の16の値は、ウェーブレット係数 w_y , w_u , w_v から、それらが LpY , LpU , および LpV サブバンドにおいてそれぞれ利用可能になるときに並列に蓄積される。

【0075】

ステップ901においては、全16の D^L_{ij} レジスタがゼロに初期化される。ステップ902, 903は、ローパスサブバンド LpY における各ウェーブレット係数 w_y の絶対値が図3におけるRAM309に書き込まれるときに、歪み推定値が該絶対値を考慮することを暗示する。

10

【0076】

ステップ904は、全四つのY量子化レベルが考慮されることを述べており、またステップ905は、各Y量子化レベルについて、関連のウェーブレットドメイン歪みが、Y量子化レベルにおいて切り捨てられるビットの十進数値に等しいことを説明する。しかし、目的はウェーブレットドメイン歪みではなく、画素ドメイン歪みを最小化することであるから、ステップ906は該歪みを二乗化する。何故なら、二乗化されたウェーブレットドメイン歪みは、略直交するウェーブレット変換について、二乗化された画素ドメイン歪みを近似するからである (“Wavelets and Filter Banks” by G. Strang and T. Nguyen, Wellesley Cambridge Press, 1996参照)。

【0077】

20

次に、ステップ907および908は、異なるUV量子化レベルで且つ同じY量子化レベルに関連する四つの歪みレジスタが、全て D^L_y によって更新されることを指令する。

【0078】

ハードウェア実施において、ステップ905, 906の全四つの例は、ステップ908の全16の例と同様に並列に実施される。

【0079】

ステップ909~915は、ステップ902~908における対応部分と類似して、 LpU サブバンドに対して並列に実施される。同様に、ステップ916~922は LpV サブバンドに対して適用される。

【0080】

30

図10は、 $m, n = \{0, 2, 4, 6\}$ について、入力 $maxLsize$, R^L_{mn} , D^L_{mn} から最適ハイパス量子化設定 qHY , $qHUV$ を決定するために、水平ランキング期間の間に実行されるプロセスを例示するフローチャートを示している。下付きの添え字 m は、Y量子化レベルを意味し、 n はUV量子化レベルを意味する。 R^H はレートを表し、また D^H は歪みを表す。従って、 R^H_{mn} は、 HpY サブバンドが m ビットによって、また HpU , HpV サブバンドが n ビットによってそれぞれ量子化されるとき、ラインのハイパス部分の符号化長さを意味する。同様に、 D^H_{mn} は、 HpY サブバンドが m ビットによって、また HpU , HpV サブバンドが n ビットによってそれぞれ量子化されるとき、ラインのハイパス部分からの二乗誤差を意味する。

【0081】

40

ステップ1001~1006は、それぞれ図7におけるステップ701~706に類似している。しかし、このプロセスでは、ステップ707に類似したステップは必要ない。何故なら、もし $maxHsize$ 標的に合致する量子化組合せがなければ、該プロセスはデフォルトの $qHY = qHUV = 15$ 設定を使用することができ、この場合、これは明確に $maxHsize$ 標的に合致するからである。

【0082】

図7におけるプロセスとは対照的に、ハイパス符号化は予測プロセスを含まない。従って、量子化組合せ $qHY = qHUV = 15$ 設定は、全てのハイパスサブバンド項目をゼロにするであろう。こうして、該符号化器は単一の制御ビットで全ゼロのハイパスサブバンドを送信することによって $maxHsize$ 標的に適合し、それにより当該復号器に全ゼロ

50

ハイパスサブバンドを発生させるであろうから、それはこの組合せ $qHY = qHUV = 15$ を続行するために充分である。

【0083】

図27および図28は、水平ブランキング期間の際の最適ハイパス量子化設定を決定するために、図10におけるフローチャートの代わりに使用してよい代替フローチャートを示している。この別のフローチャートは、圧縮されたラインの視覚的品質が直接制御されることを可能にするので、図10のプロセスを改善する。なお、この代替フローチャートは、視覚的品質の直接制御と共に、最適なローパス量子化設定を決定するための代替プロセスを特定した図25および図26のフローチャートに正確に類似している。図27および図28の代替フローチャートは、入力パラメータ $maxHsize$ および $acceptableHpMse$ を許容し、これらはそれぞれ、圧縮されたラインのハイパス部分における最大の許容可能サイズ、および許容可能歪みを特定する。図25および図26のそれに正確に類似したステップを通して進行した後、該プロセスは qHY および $qHUV$ 、即ち、望ましいビットレート要件に合致し且つ許容可能な閾値 $acceptableHpMse$ に最も近接した歪みを有する量子化レベル組合せに戻る。このような量子化レベル組合せが存在しなければ ($meetsRateMaxAcceptableMseQy$ が $7F...F$ に等しく、また $meetsRateMinUnAcceptableMseQy$ が $7F...F$ に等しい)、ステップ2805は、図10を説明する際に先に述べたように、 $qHY = qHUV = 15$ を設定する。

【0084】

図25、26、27、28の代替プロセスは、視覚的品質が直接制御されるのを可能にすることを想起されたい。特に、特定された閾値である $acceptableLpMse$ および $acceptableHpMse$ は、必要であれば量子化レベルを上昇させるので、その結果として生じる歪みは、前記特定された閾値に接近することになる。我々は次に、これらの閾値を決定し、それらがよく理解されたピーク信号対ノイズ比 ($PSNR$) 品質測定に対応するようにする方法を説明する。

【0085】

$PSNR$ 品質測定は、次のようにして定義される。

【0086】

$PSNR(dB) = 10 \log_{10} 255^2 / (MSEperPixel)$ (1)
(“Video Coding - An Introduction to Standard Codecs” by M. Ghanbari, IEE 1999, Pg. 19参照)、ここで、 $MSEperPixel$ は画素当たりの平均二乗誤差である。従って、

$$MSEperPixel = 65025 (PSNR / 10)^{-10}, \quad (2)$$

$$totMSEperLine = (numPixelsPerLine) (MSEperPixel), \quad (3)$$

$$totMSEperLine = (numPixelsPerLine) (65025) (PSNR / 10)^{-10}, \quad (4)$$

ここで、 $numPixelsPerLine$ および $totMSEperLine$ は、それぞれ、ライン当たりの画素の数およびラインの全画素についての全体の平均二乗誤差である。式(4)から、我々は、特定の $PSNR$ 品質に関連した全体の平均二乗誤差を計算することができる。次に、もし、入力されたラインをローパスサブバンドおよびハイパスサブバンドに分配するために、概ね直交するウェーブレット変換が使用されるならば、

$$totMSEperLine = acceptableLpMse + acceptableHpMse, \quad (5)$$

であり、ここでの $acceptableLpMse$ および $acceptableHpMse$ は、それぞれ、ローパスサブバンドおよびハイパスサブバンドにおける許容可能な平均二乗誤差である。実験結果は、 $acceptableHpMse$ が $acceptableLpMse$ よりも100~1000倍大きいときに、良好な品質が得られることを示して

いる。従って、我々は式(4)および(5)を組み合わせ、

$$(\text{numPixelsPerLine})(65025)(\text{PSNR}/10)^{-10} = \text{acceptableLpMse} + R(\text{acceptableLpMse}), \quad (6)$$

を得、ここでは、 $100 < R < 1000$ である。従って、特定された歪み閾値は、次のようにPSNR品質に直接関連する：

$$(\text{numPixelsPerLine})(65025)(\text{PSNR}/10)^{-10} \times (R+1)^{-1} = \text{acceptableLpMse}, \quad (7)$$

$$(\text{numPixelsPerLine})(65025)(\text{PSNR}/10)^{-10} \times R(R+1)^{-1} = \text{acceptableHpMse}. \quad (8)$$

最後に我々は、異なる動作モードを可能にするために、PSNR品質設定をどのように使用できるかを説明する。もし、チャンネル条件が良好であると予測され、またビデオコンテンツが容易に圧縮可能であると予測されるならば、我々は、優れた品質を生じるPSNR = 40 dBについて、acceptableLpMseおよびacceptableHpMseを誘導することができる。或いは、PSNR = 無限大を設定することによって、我々はacceptableLpMse = acceptableHpMse = 0を得る。この場合、最低の歪みを伴った量子化レベル組合せが常に選択されるので、図25, 26, 27, 28における代替プロセスの動作は、図7および10のそれと同一である。しかし、実際の動作では、チャンネル条件が屢々劣っており、またビデオコンテンツは圧縮するのが困難である可能性がある。結局、僅かに低いPSNR、恐らくは35 dBを使用して、acceptableLpMseおよびacceptableHpMseを誘導するのが賢明である。この設定を用いると、量子化設定は容易に圧縮可能なラインに対しては僅かに高いであろうが、視覚的品質は未だ良好である。何故なら、斯かるラインは、通常は低量子化レベルにおいて低い平均二乗誤差を有するからである。従って、PSNR = 35 dBに関連した大容量のacceptableLpMseおよびacceptableHpMseは、35 dBに関連した許容可能な閾値へと歪みを増大させるために、より高い量子化を強要するであろう。図23における改善されたビデオレート制御のためのハードウェア実施の方法と組み合わされるときには、この動作モードは、次の理由で優れた特性をもたらす。容易に圧縮可能なラインに遭遇したときには、より高い量子化レベルはより小さい圧縮ラインサイズを生じる。従って、ステップ2306は、より多くの未使用バイトをレジスタunused_bytes_accumulatorに割当てて、unused_bytes_accumulatorが使い尽される可能性が低くなるので、圧縮が困難な後続のラインは低量子化レベルを使用する可能性が高く、良好な視覚的品質を有するようになり易い。

【0087】

図11は、ライン(R^H_{mn})のハイパス部分における符号化長さの計算を説明するフローチャートを示している。Y - 量子化レベルは $m = \{0, 2, 4, 6\}$ であり、UV - 量子化レベルは $n = \{0, 2, 4, 6\}$ である。活性な画素はウェーブレット変換を介してクロックされるので、 R^H_{mn} の16の値は、ウェーブレット係数 w_y, w_u, w_v から、それらがHpY, HpU, HpVにおいてそれぞれ利用可能になるときに並列に累積される。

【0088】

ステップ1101 ~ 1116は、図8におけるステップ801 ~ 816に類似している。主な相違は、図3において上記で説明したように、ハイパスサブバンド符号化は予測を使用しないので、ステップ1104、1109および1114が予測プロセスを含んでいないことである。

【0089】

図12は、ラインのハイパス部分(D^H_{mn})からの二乗誤差の計算を説明するフローチャートを示している。Y - 量子化レベルは $m = \{0, 2, 4, 6\}$ であり、またUV - 量子化レベルは $n = \{0, 2, 4, 6\}$ である。

【0090】

10

20

30

40

50

この例において、 $D_{m,n}^H$ の16の値は、ドーベシー (Daubechies) - (7, 9) レベル1 ウェーブレット係数 w_y, w_u, w_v およびレベル2 ウェーブレット係数 ww_y, ww_u, ww_v から、それらが HpY, HpU, HpV サブバンドにおいてそれぞれ利用可能になるときに並列に累積される。ドーベシー - (7, 9) について、レベル2 係数はレベル1 係数に対して $3/4$ で縮小される。この縮小は、画素 - ドメイン二乗歪みを近似するために、ドーベシー (7, 9) ウェーブレット - ドメイン二乗歪みについて使用される。Le Gall (5, 3) 変換については、このスケール変更は不要である。

【0091】

図12に詳述されたプロセスは、図9のそれに類似している。ステップ1201は全16のハイパス歪みレジスタをゼロに初期化する。ステップ1202~1215は、ドーベシー (7, 9) レベル1 ウェーブレット係数 w_y 上で動作し、ステップ902~908に類似している。ここでの相違は、ステップ1206における4倍のスケール変更である。

【0092】

ww_y 、即ち、ドーベシー (7, 9) レベル2 ウェーブレット係数について、ステップ1209~1215は、ステップ1213がレベル2 ウェーブレット - ドメイン歪みを3倍でスケール変更することを除き、ステップ1202~1208に類似している。こうして、ステップ1206および1213は、レベル2 係数をレベル1 係数に対して $3/4$ にスケール変更する。

【0093】

ステップ1216~1229は LpU サブバンド上で動作し、またステップ1202~1215に類似している。同様に、ステップ1230~1243は LpV サブバンド上で動作し、ステップ1216~1229に類似している。

【0094】

Le Gall (5, 4) 変換ではスケール変更が不要なので、図12はまた以下の変形を使用することにより、このウェーブレット変換下での歪み推定に使用されてよい。ステップ1206および1213は、「 $D_y = (D_y)^2$ 」に変更される。ステップ1220および1227は、「 $D_u = (D_u)^2$ 」に変更される。ステップ1234および1241は、「 $D_v = (D_v)^2$ 」に変更される。

【0095】

以下では、ローパスサブバンドレート消費の複雑度を低減する最適化について記述する。ローパスレート消費は、ハイパスレート消費よりも複雑である。何故なら、前者については、予測プロセスが各量子化レベルにおいて反復されるからである。

【0096】

この反復の大きな影響を理解するために、上記で使用される予測プロセスについての表示は、 a_n, b_n, c_n 、および x_n が、それぞれ n ビットによる a, b, c 、および x の量子化を表すように変更される。なお、 a_0, b_0, c_0 、および x_0 は、元の量子化されていない値 a, b, c 、および x を表す。

【0097】

当該プロセスは、

$d_n(p, q) = p_n - q_n$, $p, q \in \{a, b, c, x\}$ について
を定義することによって始まる。

【0098】

量子化レベル $(QL)_n$ のための予測プロセスの際に、第一のステップは、 $d_n(a, c)$, $d_n(a, b)$ を計算し、次いで下記を定義することである。

【0099】

$min_n = b_n$, $|d_n(a, c)| > |d_n(a, b)|$ のとき,
 $= c_n$, それ以外のとき

ここで、 min_n は、 QL_n における最小 - 距離 a - 近隣である。

【0100】

最後に、 QL_n 残差が次のようにして定義される：

10

20

30

40

50

$$d x_n = d(x_n, \min_n)$$

以前は、全ての $Q L_n$ について、 $d_n(a, c)$ 、 $d_n(a, b)$ 、 $\min_n$ 、および $d x_n$ 、 $d x_n$ を評価することによって、符号長さが再計算された。これらの評価には、各々が 14 ビット長以下であり得る a_n 、 b_n 、 c_n 、および x_n の間の、二つの補数 (complement) 加算が含まれる。

【0101】

以下の最適化は、通常は、 $d_0(a, c)$ 、 $d_0(a, b)$ 、 $\min_0$ および $d x_0$ を評価することについての必要性のみが存在することを示している。 $n > 0$ の場合、 $d_n(a, c)$ 、 $d_n(a, b)$ 、 $\min_n$ 、および $d x_n$ 、 $d x_n$ は、これらから誘導することができる。この誘導は 2 ビット数による加算を含み、従ってローパスサブバンドレート消費の複雑さを低減する。

10

【0102】

図 13 は、最適化されたローパスサブバンドレート消費のためのプロセスを示している。この手順は、図 8 に示されたものの変形であり、以下で説明する Optimized L Prates 手順に依存する。

【0103】

図 14 のフローチャートは、0 ~ N の全量子化レベルの下での、ローパスサブバンド項目 x についての、残差符号長の最適化された計算のための Optimized L Prates 手順を記載している。該プロセスは以下の入力を使用する：

- ・ x 、即ち、現在の行からのローパスサブバンド項目、
- ・ a_n 、 b_n 、即ち、以前のローパスサブバンド行からの、 x の量子化された左上隣および上隣、
- ・ c 、即ち、現在のローパスサブバンド行からの x の量子化されない左隣、
- ・ $prev QL$ 、即ち、以前のローパスサブバンド下における a_n および b_n を量子化するために使用される量子化レベル、
- ・ 行、列、即ち、ローパスサブバンドにおける x の座標
- ・ N 、即ち、現在の行のための最大量子化レベル。

20

【0104】

当該プロセスからの出力は、1 ~ N の全量子化レベル下において、 x に対応する残差についての符号長を含むベクトル $code Lengths$ である。最初に、ステップ 1401 は、 x がローパスサブバンドの最初の行および最初の列にあるかどうかを決定する。もしそうであれば、全ての量子化レベルにおいて、如何なる隣からの予測も伴わずに、 x の量子化レベルから残余が直接得られる。

30

【0105】

従って、ステップ 1403、1404 は、 QL_n における符号長を、 QL_n だけ右シフトされた x のゴロム符号長として計算する。ゴロム符号長は、最上位ビットの位置を決定する単純な論理によって得られることを想起されたい。ステップ 1402 は、0 ~ N の全量子化レベル下での x の符号長を得るために、ステップ 1403、1404 を反復させる。

【0106】

ステップ 1401 が、 x はローパスサブバンドの最初の行および最初の列にないことを決定すれば、ステップ 1406 は、 x が該ローパスサブバンドの最初の行にあるかどうかをチェックする。もしそうであれば、全量子化レベルにおいて、残差は x の量子化された値およびその量子化された左隣 c_n から予測されるであろう。

40

【0107】

ステップ 1407 は、図 15 に記載の加算手順を呼び出して $-c$ を x に加え、 $d_0(x, c)$ 、並びに $d_0(x, c)$ から $d_n(x, c)$ を誘導するために使用する計算からの桁上げを得る。

【0108】

次に、ステップ 1408 における 1411 へのループは、0 ~ N の全量子化レベルの下

50

で、 x に対応する残差の符合長を計算する。 $d_0(x, c)$ から $d_n(x, c)$ を誘導するために、ステップ1409は、 $d_0(x, c)$ を QL_n だけ右シフトさせ、またステップ1410は図16における`applyCorrection`を呼び出して、訂正項を加えることにより $d_n(x, c)$ を訂正する。

【0109】

図16における`applyCorrection`手順は以下の入力を受け取る：

- ・ p, q 、整数
- ・ QL_n 、即ち、量子化レベル
- ・ $d_n(p, q)$ 、即ち、 QL_n における p から q の距離。この推定値は、 $d_n(p, q)$ を単純に QL_n だけ右シフトすることによって計算され、ここでの $d_0(p, q)$ は、 p および $-q$ に加算手順(図15)を適用することによって得られると仮定される。

10

【0110】

- ・ 桁上げ、即ち、先に説明した $d_0(p, q)$ の加算手順から得られる桁上げのベクトル。

【0111】

`applyCorrection`手順からの出力は次の通りである：

- ・ $d_n(p, q)$ 、即ち、 QL_n における q からの訂正された距離推定値。この訂正された距離推定値は、 p_n から q_n を差引くことにより得ることができるであろう。しかし、この引き算は二つの114ビット数の付加を含んでおり、従って、単に $d_n(p, q)$ に2ビットの訂正項を加えるだけの提案された本方法よりも高価である。

20

【0112】

- ・ `codeLen`、即ち、 $d_n(p, q)$ のゴロム符合長。

【0113】

- ・ 訂正、入力された $d_n(p, q)$ に加えられる訂正項。

【0114】

最初に、ステップ1601が訂正をゼロに初期化する。量子化プロセスは、より短いエントロピー符号を得るために、一定の負の数を様々に処理することを想起されたい。この入力された推定値を訂正するために、当該プロセスは、 p (ステップ1602)および $-q$ (ステップ1604)が該量子化プロセスによって種々に処理され、従って、ステップ1603および1605が当該訂正項を更新したかどうかを決定することによって、これを達成する。

30

【0115】

ステップ1606は、入力された推定値 $d_n(p, q)$ が、 q_n および p_n を発生する際に切り捨てられる最下位ビットからの桁上げを含むかどうかを決定する。もしそうであれば、この桁上げは訂正項の中に組み込まれるべきである。何故なら、これら量子化された値は桁上げを発生するような最下位ビットを有していないであろうから、該桁上げは p_n から q_n の直接の引算には存在しないであろうからである。

【0116】

最後に、ステップ1608は、入力された推定値 $d_n(p, q)$ に該2ビット訂正項を加えて、訂正された距離推定値を得る。この訂正された推定値のゴロム符号長さもまた計算される。

40

【0117】

図14に戻ると、ステップ1412は、 x_0 が最初の列にあり且つ最初の行にはないかどうかを決定する。もしそうであれば、全ての量子化レベルにおいて、該残差は、 x の量子化された値およびその量子化された上隣 b_n から予測される。この場合、ステップ1413は最初に b_n を左シフトさせて、 x からの距離を計算するために使用される十分な精度の b を得る。次いで、ステップ1413～1418は、 c の代わりに b を使用することを除き、ステップ1407～1410に類似した動作を実施する。

【0118】

ステップ1412が、 x_0 は最初の行にも最初の列にもないことを決定すれば、全ての

50

量子化レベルにおいて、前記残差は、 x の量子化された値およびその量子化された上隣 b_n またはその量子化された左隣 c_n から予測される。

【0119】

この場合、ステップ1419は最初に、 QL_0 において、 x からの距離を計算するために使用される十分に正確な値を得るために、 a_n および b_n を左シフトする。次に、ステップ1420はgetUnquantData手順(図17参照)を使用して、量子化されていない項目 x 、 a 、 b 、 c から計算された残差に関連したデータを集める。

【0120】

ステップ1421、1423におけるループは、derivePostQuantResidual手順(ステップ1422および図18)を繰り返して、getUnquantData手順により戻されたデータから QL_n における残差についての符号長を誘導する。

【0121】

derivePostQuantResidual手順(以下で説明する)によって x_n の符号長の効率的な決定を可能にするために、図17に示されたgetUnquantData手順は、量子化されていないサブバンド項目 x 、並びにそれぞれ左上隣、上隣および左隣である a 、 b 、 c を受け取って、以下のデータを出力する：

- ・ $d_0(a, b)$ および $d_0(a, c)$ 、即ち、 b および c の a -距離、並びに ab Carriesおよび ac Carries、即ち、これら計算からのそれぞれの桁上げベクトル

- ・ $d_0(x, b)$ および $d_0(x, c)$ 、即ち、 b および c の x -距離、並びに xb Carriesおよび xc Carries、即ち、これら計算からのそれぞれの桁上げベクトル

- ・ min_0 、即ち、 $\{b, c\}$ から選択される a の最も近い隣。もし b および c が a から等しい距離にあれば、タイブレーカとして c が選択される。

【0122】

- ・ tie_0 は、 b 、 c が a から等しい距離にあるかどうかを表す。そうであれば、1に設定する。そうでなければ0にリセットする。

【0123】

- ・ $oppSides$ は、 b および c が数直線上の反対側にあるかどうかを表す。そうであれば、1に設定する。そうでなければ、 $oppSides = 0$ である。

【0124】

- ・ $constMinC$ は、全ての量子化レベルにおいて、 c が最も近い a -隣であるかどうかを表す。もしそうであれば、1に設定する。そうでなければ、0にリセットする。

【0125】

- ・ $diffDist0$ は、 $d_0(a, b)$ と $d_0(a, c)$ の間の差であるのに対して、 $diffDistCarries$ は、 $diffDist0$ の計算において生じる桁上げである。

【0126】

最初に、ステップ1701は図15から加算手順を呼び出し、量子化されていない a -距離 $d_0(a, b)$ 、 $d_0(a, c)$ 、並びに関連の桁上げ ab Carries、 ac Carriesを計算する。このステップはまた、 $constMinC$ 、 $oppSides$ および tie_0 を0に初期化する。

【0127】

ステップ1702は、 $d_0(a, b)$ および $d_0(a, c)$ の記号を調べる。もし、これらの記号が異なれば、 b および c は該数直線の反対側にある。ステップ1703は、この情報を保存するために、 $oppSides$ を設定する。次に、ステップ1704が加算手順を呼び出し、 $d_0(a, b)$ および $d_0(a, c)$ の間の差、並びに $diffDist0$ の計算において生じる桁上げである $diffDistCarries$ を計算する。

10

20

30

40

50

【0128】

ステップ1705は、b、cがaの反対側にあるかどうかを決定する。もしそうであれば、ステップ1706が、b及びcがaから等しい距離にあるかどうかをチェックする。その通りであれば、ステップ1707は tie_0 を設定し、タイブレーカcを min_0 に割り当てる。

【0129】

ステップ1706が、bおよびcはaから等距離にないと決定すれば、ステップ1708は $diffDist_0$ および $d_0(a, c)$ の符号を調べる。これらの符号が同じであれば、cがaに最も近く、 min_0 はcに設定される(ステップ1709)。そうでなければ、bの方がaに近く、bはステップ1710においてbに割り当てられる。

10

【0130】

ステップ1705に戻ると、b、cがaの同じ側にあれば、ステップ1715～1719は、ステップ1708および1717に類似の論理を使用して、 tie_0 および min_0 を設定する。論理における実質的な相違は、ステップ1708および1717における符号試験である。符号の極性はb、cがaの同じ側または反対側にあるかどうか依存するので、この試験は異なっている。

【0131】

ステップ1707、1709、1710、1716、1718または1719の何れかに続いて、変数 min_0 および tie_0 が適切に設定され、 $getUnquantData$ 手順は、図15から加算手順を呼出すステップ1711および1714を用いて、 $d_0(x, b)$ および $d_0(x, c)$ 、即ちbおよびcのx距離、並びに $xbCarries$ および $xcCarries$ (それぞれがこれら計算からベクトルを運ぶ)を計算するように結論される。

20

【0132】

もし、ステップ1712がb、cはaの同じ側にあり、また量子化前の最も近い隣がタイブレーク選択であることを決定すれば、 $d_0(x, c)$ は計算される必要がないことに留意すべきである。これは、右シフトによる量子化はオーダー保存マップであることを示す順序保存特性の結果である。

【0133】

従って、何れかの整数x、y、および自然数nについて、

$$x \gg y = > (x > > n) \quad (y > > n)$$

30

である。

【0134】

即ち、これは示された条件下では、全ての量子化レベルにおいて、a、b、cの相対的な順序は同じまま残り、またはb、cがaから等距離になるように縮退する。何れの場合にも、cはタイブレーク選択であるから、最も近いa隣はcであり、従って全ての量子化レベルにおいて同じまま残る。従って、ステップ1713は、この状態を示すために $constMinC$ を設定する。

【0135】

図18は、 $getUnquantData$ 手順により提供されるデータに基づいて、特定された QL_n におけるローパスサブバンド項目xに対応する残差を計算するための、 $derivePostQuantResidual$ 手順を示している。

40

【0136】

以下の入力を使用される：

- ・ $d_0(a, b)$ および $d_0(a, c)$ 、即ち、bおよびcのa - 距離、並びに $abCarries$ および $acCarries$ 、即ち、これら計算からの桁上げベクトル；
- ・ min_0 、即ち、{b, c} から選ばれたaの最も近い隣。bおよびcがaから等距離にあれば、タイブレーカとしてcが選択される；
- ・ tie_0 は、b、cがaから等距離にあるかどうかを表す。もしそうであれば、1に設定する。そうでなければ0にリセットする；

50

・ $oppSides$ は、 b および c が数直線上で a の反対側にあるかどうかを表す。そうであれば、1 に設定する。そうでなければ、 $oppSides = 0$ である；

・ $constMinC$ は、 c が全ての量子化レベルにおいて最も近い a - 近隣のままであるかどうかを表す。そうであれば1に設定する。そうでなければ0にリセットする；

・ $diffDist0$ は、 $d_0(a, b)$ と $d_0(a, c)$ の間の距離差であるのに対して、 $diffDistCarries$ は、 $diffDist0$ の計算において生じた桁上げである；

・ QL_n 、即ち、特定の量子化レベル。

【0137】

これらの入力、以下の出力を発生するために使用される：

10

・ dx_n 、即ち、特定の QL_n においてローパスサブバンド項目 x に対応する残差；

・ $codeLength$ 、即ち、 dx_n のゴロム符合長。

【0138】

ステップ1800は、最初に、 c が全ての量子化レベルにおいて最も近い a - 近隣であることが保証されるかどうかを決定するために、 $constMinC$ を調べる。もしそうであれば、 QL_n において、残差は b_n から予測されるであろう。これは、 $d_0(x, b)$ を右シフトさせ、また図16における $applyCorrection$ 手順を呼び出すことによって、直接の減算を伴わずに、ステップ1805において行われる。

【0139】

ステップ1800が、 c は最も近い a - 近隣であることが保証されないと決定すれば、ステップ1801は量子化されていない a - 距離を右シフトさせ、該結果を訂正して、量子化されたデータの直接の減算を伴わずに量子化後の a - 距離を得る。これら量子化後の a - 距離から、該手順は最初に min_n 、即ち、量子化後の最も近い a - 近隣を決定する。

20

【0140】

ステップ1802が、 $d_n(a, b)$ および $d_n(a, c)$ の絶対値は等しいことを決定すれば、 b_n および c_n は a_n から等距離にある。この場合、ステップ1803はタイプブレーカー c を min_n に割り当てる。そうでなければ、 b_n および c_n は a_n から等距離にない。

【0141】

30

ステップ1802が、 a - 距離は量子化後に等しくないと決定し、またステップ1807が、 b および c は a の同じ側にあり、量子化前の最も近い a - 近隣決定の間にタイが生じなかったことを決定すれば、その量子化後の最も近い a - 近隣は変化せず、従って、 min_0 が min_n に割り当てられる（ステップ1808）。これは、先に述べた順序保存特性のもう一つの結果である。

【0142】

しかし、ステップ1807における試験が失敗すれば、二つの可能性が存在する：1) 量子化前に計算された a - 距離は等しく、それらが今では等しくない、2) 量子化前に、 b および c は a の反対側にあった。最初の場合、それが量子化されていないデータからのタイプブレーク選択 c であると考えすることはできないので、該プロセスは、最も近い a - 近隣を明確に決定しなければならない。第二の場合、量子化後の最も近い a - 近隣が変化しないことを保証するためには、順序保存は不十分である。従って、この場合にも、最も近い a - 近隣は明確に決定される。

40

【0143】

両方の場合において、最も近い a - 近隣は、 $d_n(a, c)$ から $d_n(a, b)$ を減算することなく、効率的に決定されてよい。これを達成するために、ステップ1809は $diffDist0$ 、即ち、量子化されていない画素から計算された a - 距離の間の差を右シフトし、 $d_n(a, c)$ から $d_n(a, b)$ の間の差の推定値を得る。この推定値は、最初にステップ1801からの訂正因子 $corrA$ および $corrB$ を加えることにより、正確な値 $diffdist_n$ に訂正される。次いで、 $d_0(a, c) - d_0(a,$

50

b) から捨象された最小ビットが、 diffDist_0 計算 (ステップ 1810) において十分に正確な桁上げを発生していたならば、 diffDist_n は減分される (ステップ 1811)。

【0144】

ステップ 1810 の後、 diffDist_n は、量子化後の a - 距離の間の差を含んでいる。ステップ 1812 がこの差はゼロであると決定すれば、 b_n, c_n は a_n から等距離にあり、ステップ 1813 はタイブレーカー選択である c を min_n に割り当てる。そうでなければ、 b_n, c_n は a_n の反対側にあるから、 diffDist_n および $d_n (a, b)$ の符合が、 b_n または c_n が、最も近い a_n - 近隣であるかどうかを明らかにする (ステップ 1814)。従って、ステップ 1815 またはステップ 1816 は正しい値を min_n に割り当てる。

10

【0145】

最後に、ステップ 1803、1808、1813、1815 または 1816 の何れかの後、結果は min_n 、即ち、量子化後の最も近い a_n - 近隣ある。次いで、該プロセスは、直接の減算を使用することなく、 min_n からの予測により、 x_n に対応する残りを誘導することができる。

【0146】

即ち、もしステップ 1804 が min_n は c であることを決定すれば、ステップ 1805 は $d_0(x, b)$ を右シフトさせ、 applyCorrection 手順 (図 16) を呼び出して、 dx_n およびその codeLength におけるゴロム符号長を得る。 min_n が b であれば、ステップ 1806 は、 $d_0(x, b)$ の代わりに $d_0(x, c)$ を使用して同じ動作を行う。

20

【0147】

図 14 における OptimizedLP rates の利点を説明するために、以下の例はそれを、 $\{0, \dots, N-1\}$ における n について、各 QL_n のために反復しなければならないであろう最適化されていない予測プロセスと比較する。

【0148】

QL_n において、 m, n ビットの入力ビット幅を用いた加算器を $(m+n)$ 加算器として表示すると、該最適化されていないプロセスは四つの $[(N-n) + (N-n)]$ 加算器を含んでいる。従って、 $\{0, \dots, N-1\}$ における n についての全体の予測プロセスは、次の各四つを含むであろう： $(1+1)$ 加算器、 $(2+2)$ 加算器、 $(3+3)$ 加算器、 $\dots$ 、 $(N+N)$ 加算器。

30

【0149】

対照的に、図 14 においては、ステップ 1403、1404、1407、1413、1416、および 1417 は、マルチプレクサを使用して、ステップ 1412 および 1420 に含まれる論理を共有することができる。従って、ステップ 1412 および 1420 についてのハードウェア要件を分析することで十分である。

【0150】

図 17 における getUnquantData 手順は、四つの $(N+N)$ 加算器を含んでいる (ステップ 1701、1702、1704、1711、および 1714)。 QL_n において、図 18 からの $\text{derivePostQuantResidual}$ 手順は、四つの $[(N-n) + (N-n)]$ 加算器を含んでいる (ステップ 1801、1809、1805、および 1806)。

40

【0151】

従って、 n が $\{0, \dots, N-1\}$ の全ての QL_n について、最適化されたプロセスは五つの $(N+N)$ 加算器および以下の各四つを含んでいる： $(1+1)$ 加算器、 $(2+2)$ 加算器、 $(3+2)$ 加算器、 $\dots$ 、 $((N-1)+2)$ 加算器。

【0152】

両方の実施についてシリアルアドレスが使用されると仮定すれば、 $(N+N)$ 加算器は $(N+N)$ 加算器よりも $4N-8$ 多いゲートを有している。 $N=14$ について、該最適化

50

された実施は 1 3 2 0 のゲートを含んでいるのに対して、最適化されていない実施は、2 2 9 6 のゲートを含んでいる。従って、最適化は、少なくとも 4 2 . 5 1 % の論理ゲートの節約を提供する。

【 0 1 5 3 】

以下では、図 9 および図 1 2 に描いたような、ラインのローパス部分およびハイパス部分の歪み推定値を改善する方法を記述する。これらの歪みは実際にはウエーブレット・ドメイン歪みであることを想起されたい。

【 0 1 5 4 】

ウエーブレット変換の整数実施は、ウエーブレット・ドメイン歪みが実際の画素・ドメイン歪みにほぼ等しいように、ほぼ直交している。(“ Optimal Quantized Lifting Coefficients for the 9/7 Wavelet ” - S.Barua, K.A.Kotteri, A.E.Bell and J.E.Carletta, Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. を参照されたい) 。しかし、逆ウエーブレット変換の整数実施により導入された丸めノイズは、図 9 および図 1 2 において計算されたウエーブレット・ドメイン歪み推定値の精度を低下させる。

【 0 1 5 5 】

この問題を軽減するためには、丸めノイズが、主にウエーブレット係数の最下位ビット (L S B) に影響することを認めるべきである。何故なら、これらは、整数逆ウエーブレット変換において丸められるビットだからである。従って、復号プロセスの際に、本発明の一実施形態は、逆ウエーブレット変換の直前に、逆量子化されたウエーブレット係数を N ビット (N = 1 , 2 または 3) 左シフトさせることによって、該係数を均一にスケールする。これは、該 N ・ L S B をゼロに設定し、整数逆ウエーブレット変換における丸めノイズを抑制し、ウエーブレット・ドメイン歪み推定値の精度を改善する。この逆ウエーブレット変換の後に、再構成された画素は、均一なスケーリングを反転させるために、N ビットだけ右シフトされるべきである。

【 0 1 5 6 】

該改善された歪み - 推定精度は、{ 3 , 4 , 5 , 6 , 7 } における q H p Y を用いた Daubechies (7 , 9) および Le Gall (5 , 3) ウエーブレット変換について、スケーリングを伴ってまたは伴わずに、標準モバイルビデオシーケンスの最初のフレームの各ライン上で Y 成分歪み - 推定パーセンテージを測定することによって確認される。次に、平均および最大パーセンテージエラーが全てのラインに亘って計算された。表 2 は、パーセンテージエラーの減少を表に纏めたものを示している。

【表 2】

qHpY	ウェーブレット	スケーリング後の平均エラー減少%	スケーリング後の平均エラー減少%
3	D79	5	5
4	D79	2	2
5	D79	0	2
6	D79	0	-1
7	D79	0	0
3	L53	9	10
4	L53	5	7
5	L53	1	0
6	L53	0	1
7	L53	0	1

10

20

【 0 1 5 7 】

表 2

30

この表に見られるように、スケーリングは、特に量子化ノイズに対して丸めノイズが優勢になる傾向がある低量子化レベルにおいて、歪み - 推定エラーを減少させる。

【 0 1 5 8 】

以下の方法は、図 3 に示したエントロピー符号化 3 1 9 ~ 3 2 4 の特性を改善するために使用される。これらのエントロピー符号化器は、データが指数関数的に分布されることを仮定する単純かつ効率的なゴロム符号を使用して実施されたことを想起されたい。データの真の分布が知られていれば、算術符号化器はゴロム符号化よりも高い圧縮比を達成する（“Elements of Information Theory” - T. Cover and J. Thomas, Wiley 1991, Pg. 104 参照）。

【 0 1 5 9 】

40

先行技術において、算術符号化器および復号器はデータ分布の推定値を用いる。これらの推定値は、通常は均一な分布に初期化され、また徐々に実際の基礎分布（underlying distribution）に向けて収斂する。この収斂は遅いので、達成される平均圧縮比は、ゴロム符号化器からのものよりも遙かに良好とは言えない。事実、すぐれた特性を得るためには、算術符号化器は典型的には、計算的に複雑な内容に適應できる方法を用いる（例えば、“Study of final committee draft of joint video specification ITU-T Rec. H.264 | ISO/IEC 14496-10 AVC” - T. Wiegand, Dec. 2002, Awaji MPEG Meeting 参照）。しかし、以下で述べる方法は、ゴロム符号に基づくエントロピー符号化器の特製を改善するために、算術符号化をどのように使用できるかを示している。

【 0 1 6 0 】

50

最初のラインにおいて、当該円コードはゴロム符号化を使用して、上記で述べたようにして当該ラインを符号化する。従って、該復号器は、ゴロム符号化を使用してこのラインを複合する。ライン n ($n > 1$) 上において、該符号化器は、ライン n 上でのデータの分布の推定値としてライン ($n - 1$) の棒グラフを計算する。この推定値は、 B_a ビットを使用するライン n の算術符号化のために使用される。

【0161】

並行して、該符号化器はまた、 B_g ビットを使用するライン n のゴロム符号化を発生する。 $B_a < B_g$ であれば、該符号化器は制御ビットを設定し、ライン n の算術符号化を送信する。そうでなければ、該制御ビットはリセットされ、該ラインのゴロム符号化が送信される。

10

【0162】

それに対応して、ライン n については、該復号器が前記符号化器により送信された制御ビットを調べる。このビットが設定されれば、該符号化器は、ライン n の算術的複合のための推定分布として、ライン ($n - 1$) の棒グラフを使用する。制御ビットがリセットされれば、該復号器はゴロム複合を適用してライン n を復旧する。

【0163】

このスキームにより達成される圧縮率は、常にゴロム符号化器からのものよりも大きく、またはこれに等しい。実際に、ビデオデータは縦軸に沿って高度に相関しているので、ライン ($n - 1$) の棒グラフは、通常はライン 1 の分布についての良好な推定である。この相関は水平エッジでは減少するが、これらのラインにおいて、該符号化器は自動的にゴロム符号化に切替わるであろう。

20

【0164】

以下の最適化は、図 5 に示した低優先度のパケットでのビット数を低減する。これらのパケットは、図 3 における量子化されたハイパスチャンネル $H_p Y$ 、 $H_p U$ 、 $H_p V$ をエントロピー符号化することによって得られることを想起されたい。ゴロム符号化器は、その基礎をなすデータが指数関数的に分布されるならば、ウエーブレット係数の殆どがゼロの回りにクラスターされる一方、少数のものは大きな値を有しているように、うまく動作する。これらの大きな係数は長いゴロム符号を有し、従って低い圧縮比を有するであろう。

【0165】

30

ハイパスチャンネル $H_p Y$ 、 $H_p U$ 、 $H_p V$ における大きなウエーブレット係数は、 Y 、 U 、 V チャンネルにおける対応する位置での垂直エッジに対応する。これらの垂直エッジはまた、それぞれのローパスチャンネル $L_p Y$ 、 $L_p U$ 、 $L_p V$ における不連続性をもたらす。従って、ローパスチャンネルを垂直エッジ検出器で処理することによって、ハイパスチャンネルにおける垂直エッジを予測することができる (“Digital Image Processing using Matlab” by R. Gonzalez, R. Woods and S. Eddins, Prentice Hall 2004 参照)。この予測された垂直エッジをハイパスチャンネルから差し引くことは、垂直エッジが抑制される残りのハイパスチャンネルを生じる。従って、残りのハイパスチャンネルはより少ない大きな値のウエーブレット係数を有し、その結果得られる低い優先度のパケットコンシューマーはより小さいビット数を有する。

40

【0166】

これら低い優先度のパケットを復号するために、復号器はまず、 $L_p Y$ 、 $L_p U$ および $L_p V$ チャンネル並びに残りのハイパスチャンネルを復号する。次に、 $L_p Y$ 、 $L_p U$ および $L_p V$ チャンネルが垂直エッジ検出器を用いて処理され、予測された垂直エッジが残りのハイパスチャンネルに加えられて、 $H_p Y$ 、 $H_p U$ および $H_p V$ を得る。次いで、この復号プロセスは先に述べたようにして継続される。

【0167】

以下は、図 3 における $LeGall(5, 3)$ ウエーブレット変換の整数実施 (integer implementation) のための新たな丸め方法の説明である。JPEG-2000 画像圧縮標準に定義されているように、 $LeGall(5, 3)$ ウエーブレット変換の更新ステッ

50

プは、 $\text{floor}(x + 0.5)$ を使用して x を丸めるが、ここでの x は 0.25 の整数倍であり、また $\text{floor}(y)$ は実際の数 y よりも小さい最も大きな整数を返す (Equation 16 in “An Overview of the JPEG-2000 Still Image Compression Standard” by M. Rabbani and R. Joshi, Signal Processing: Image Communication 17 (2002) 3-48 参照)。 $[-0.5, 0.5)$ における x の値は、 $\text{floor}(x + 0.5)$ によってゼロにマップされる。ハードウェア実施においては、 x および 0.5 はそれらに 4 を乗じることにより整数に変換されて、 $x' = 4x$ および $2 = 4 * 0.5$ を得るであろう。この表現を用いて、図 19 は、JPEG-2000 画像圧縮標準に定義されているように、 $\text{floor}(x' + 2)$ が如何にして実施されるかを示している。

【0168】

10

次に、 $\text{fix}(x + 0.5)$ によって記述される丸め方法を考察する。ここでは、 $\text{fix}(y)$ が y に最も近く且つ y とゼロの間にある整数を返す。 $(-1.5, 0.5)$ にある x の値は、 $\text{fix}(x + 0.5)$ によってゼロにマップされる。ハードウェア実施においては、それらに 4 を乗じることにより、 x および 0.5 が整数に変換されて、 $x' = 4x$ および $2 = 4 * 0.5$ を得るであろう。この表現を用いて、図 20 は、 $\text{fix}(x' + 2)$ がどのように実施されるかを示している。逆ウェーブレット変換において、図 20 は、通常の逆リフティング手順により容易に反転される。

【0169】

図 20 は、総計ならびに 1 のエキストラ付加に対する追加の符号チェックを有している。しかし、先に説明したように、 $\text{fix}(x + 0.5)$ は $(-1.5, 0.5)$ をゼロにマップする一方、 $\text{floor}(x + 0.5)$ は $[-0.5, 0.5)$ をゼロにマップする。従って、 $\text{fix}(x + 0.5)$ は値 $\{-1.25, -1.0, -0.75, -0.5, -0.25, 0, 0.25\}$ をゼロにマップする一方、 $\text{floor}(x + 0.5)$ は値 $\{-0.5, -0.25, 0, 0.25\}$ をゼロにマップする。図 4 におけるエントロピー符号化器は、最短長さ 1 の符合をゼロ値に割り当てることを想起されたい。従って、更新ステップ後に丸めるために JPEG-2000 の $\text{floor}(x + 0.5)$ を使用するウェーブレット変換は、四つの値を長さ 1 の符合にマップするであろう。対照的に、提案された $\text{fix}(x + 0.5)$ 丸めは、七つの値を長さ 1 の符合にマップするであろう。 $\text{fix}(x + 0.5)$ 丸めは、より多くの値を長さ 1 の最短エントロピー符号にマップするので、 $\text{fix}(x + 0.5)$ 丸めと共にウェーブレット変換を使用するロスのない符号化は、JPEG-2000 の $\text{floor}(x + 0.5)$ 丸めを使用するウェーブレット変換よりも大きな圧縮比を与える。

20

30

【0170】

表 3 は、この予測を確認している。最初の欄は、 $\text{fix}(x + 0.5)$ 丸めを用いてロスなしで圧縮された 38 の異なる画像についての圧縮率を示しており、また第二の欄は、 $\text{floor}(x + 0.5)$ 丸めが用いられるときに得られる圧縮比を示している。全ての 38 の画像について、 $\text{fix}(x + 0.5)$ 丸めは $\text{floor}(x + 0.5)$ 丸めよりも大きな圧縮比を与える。上記で指摘したように、 $\text{fix}(x + 0.5)$ 丸めのための追加のハードウェアコストは、 $\text{floor}(x + 0.5)$ 丸めに比較して非常に小さい。 $\text{fix}(x + 0.5)$ 丸めから得られる利益は、デッドゾーン量子化効果に起因するものでないことが強調されるべきである (“Video Coding - An Introduction to Standard Codecs” by M. Ghanbari, IEE 1999, Pg. 26 参照)。特に、デッドゾーンは、量子化器のゼロ - ビン幅 (zero-bin width) を増大させるために、ロスの大きい符号化において使用される。しかし、 $\text{fix}(x + 0.5)$ 丸めは、ウェーブレット変換において生じ、量子化器を使用しないロスのない符号化のためにも利点を提供する。

40

【表 3】

fix(x+0.5)	floor(x+0.5)	
1.5424	1.5406	
1.6538	1.6515	
1.8659	1.8628	
2.0042	1.9997	
2.0772	2.0722	
1.431	1.4282	
1.9745	1.9683	10
1.9566	1.9529	
1.3535	1.3527	
2.293	2.2872	
1.2679	1.2658	
2.211	2.2068	
1.7756	1.7728	
1.7979	1.7954	
1.5603	1.5573	
5.7696	5.7608	
5.0637	5.0536	
4.5117	4.501	20
2.3584	2.3559	
2.0432	2.0413	
1.8649	1.8627	
1.8429	1.8413	
2.7209	2.7166	
2.5593	2.5568	
2.4541	2.4509	
2.4208	2.4187	
3.6332	3.6242	
3.367	3.3621	
3.2681	3.2629	
3.178	3.175	30
2.8535	2.8471	
2.4386	2.4333	
2.2138	2.2087	
2.2368	2.2322	
3.7582	3.7466	
3.4464	3.4363	
3.3439	3.3355	

【 0 1 7 1 】

表 3

40

最後の最適化は、ビデオレート制御特製を改善するための方法に関する。上記図 6 の説明は、maxLsize601、maxHsize602、ByPass603、SelectYuv604およびSelectTfm605が、チャンネル容量推定を使用してこれら制御信号の値を与える表の中にインデックスすることにより得られることを述べている。実際には、チャンネル - 容量の推定はときには信頼性がなく、またチャンネル - 容量推定をビデオレート制御のために直接使用しないことによって、頑丈さを改善することができる。

【表 4】

インデックス	ローパス CR	ハイパス CR	SelectYuv	SelectTfm	ByPass	最悪事例の CRs
1	1	1	1 4:4:4	L53	1	1
2	1	1	2 4:4:4	L53	0	1.6
3	1	1	3 4:4:4	L53	0	2
4	1	1	2 4:2:2	L53	0	2.4
5	1	1	3 4:2:2	L53	0	3
6	1	1	2 4:1:1	L53	0	3.2
7	1	1	3 4:1:1	L53	0	4
8	1	1	4 4:1:1	L53	0	4.571428571
9	1	1	5 4:1:1	L53	0	5
10	1.5	1.5	6 4:1:1	D79	0	6.857142857
11	1.5	1.5	7 4:1:1	D79	0	7.304347826
12	1.5	1.5	8 4:1:1	D79	0	7.68

10

【 0 1 7 2 】

表 4

当該方法を説明するために、表 4 は、ビデオレート制御信号のための 1 2 の設定を示している。ローパス CR およびハイパス CR は、ローパスサブバンドおよびハイパスサブバンドについての目標圧縮比を意味する。これらの量は、下記による $\max Lsize$ および $\max Hsize$ を意味する：

20

$\max Lsize = \text{uncompressed_lowpass_subband_size} / \text{Lowpass CR}$ 、

$\max Hsize = \text{uncompressed_highpass_subband_size} / \text{Highpass CR}$ 、

ここで、非圧縮サブバンドのサイズは、入力された解像度と、ローパスサブバンドサイズおよびハイパスサブバンドサイズの間の 1 : 3 の比を使用して直接計算することができる。

【 0 1 7 3 】

30

最悪事例の CR の欄は、ローパス圧縮比およびハイパス圧縮比、並びに YUV フォーマットを説明することにより、与えられた設定を使用して得られる最小の圧縮比を示している。これらの最悪事例の CR は、図 21 において、任意のピーク信号対ノイズ比 (PSNR) 値と共に、曲線 2160 上の点 2161 ~ 2172 によってプロットされている。しかし、1 2 の設定を使用して実際の画像が処理されるときには、圧縮比および PSNR は、通常はこの最悪事例の曲線よりも高い。例えば、標準のモバイル画像上において、点 2141 ~ 2152 によって表わされる該 1 2 の設定は、図 21 における曲線 2140 を生じる。同様に、該 1 2 の設定を g f x 画像 (点 2121 ~ 2132) および w q 画像 (点 2101 ~ 2112) に適用することにより、それぞれ図 21 における曲線 2120 および 2100 を生じる。曲線 2100 は、曲線 2140 に関連した画像よりも圧縮するのが遙かに容易な画像に対応する；従って、曲線 2100 上の点は、曲線 2140 上の対応する点よりも高い PSNR および CR を有する。

40

【 0 1 7 4 】

以下の例は、上記のビデオレート制御方法を示しており、SXGA ビデオ (1024 x 768 @ 60 Hz) が送信されると仮定している。このビデオフォーマットは、1132 Mbps の生ビットレートを必要とする。送信が始まるときに、MAC からのスループット予測は 525 Mbps である。従って、初期 CR は $1132 / 525 = 2.16$ よりも大きいはずである。

【 0 1 7 5 】

最悪事例の CR から、設定 # 4 は、初期 CR よりも大きい最小の最悪事例 CR を得た

50

めに必要とされる。しかし、ビデオコンテンツが $g \times f$ 画像よりも小さければ、設定 # 4 は、図 2 1 における $g \times f$ 曲線 2 1 2 0 上の点 2 1 2 4 において、当該システムを動作させる。従って、平均 CR は 3 . 5 よりも大きく、これは初期 $CR = 2 . 1 6$ よりも遥かに大きい。

【 0 1 7 6 】

該コンテンツは比較的圧縮が容易なので、本発明の一実施形態は、圧縮されたビデオパケットのサイズをモニターすることによってこの条件を検出することができ、またこの圧縮が、必要とされるものよりも高いことを知ることができる。この条件を検出するに際し、それが $CR > 3$ を備えた $g \times f$ 曲線 2 1 2 0 上の点 2 1 2 3 で動作するように、設定インデックスは 3 にまで減少される。本発明の一実施形態は、過剰圧縮条件を反復して検出し、また $CR > 2 . 5$ を備えた $g \times f$ 曲線 2 1 2 0 上の点 2 1 2 1 に達するまで、該設定インデックスを減少させ続けるであろう。 $g \times f$ 曲線 2 1 2 0 上を点 2 1 2 4 から点 2 1 2 1 へと移動させると、 CR が初期 CR よりも大きいことを保証しながら、 $PSNR$ は約 3 8 d B から約 5 7 d B へと増大する。

【 0 1 7 7 】

先の説明は、圧縮されたパケットの実際のサイズ上でのフィードバックを使用して、 $PSNR$ の改善をカバーしている。本発明のもう一つの実施形態においては、変化するチャネル条件に反応して、無線送信の前にパケットを保持する送信バッファ中でのオーバーフローを防止するために、他のフィードバックを使用することができる。

【 0 1 7 8 】

受信機が全てのパケットのアクノリッジを要求されるならば、アクノリッジされないパケットは再送信されることができる。再送信に際して、送信バッファは再送信の間に排出されないの、 CR を増大させてバッファのオーバーフローを防止するために設定インデックスを増分させることができる。WiMedia・MAC仕様は、取決められた時間スロットを可能にし、その間にビデオ送信が不能にされる (“WiMedia MAC 0.99 RC1” by Multiband OFDM Alliance Special Interest Group, 2005参照)。これらの時間スロットは予め知られているから、該設定インデックスもまた、このような時間スロットの前、最中および直後に増分されることができる。ここでも、送信バッファは不能化された時間スロットの間に排出されないの、この動作はバッファのオーバーフローを防止するであろう。最後に、バッファの満杯度が予め定められた閾値、例えばバッファ容量の 6 5 % を超えるときは何時でも、該設定インデックスは、バッファのオーバーフローを防止するために増大されることができる。再送信に関するフィードバック、不能化された時間スロット、およびバッファ満杯度が存在しないときは、当該レート制御方法は先に説明した動作に戻り、該動作では初期 CR よりも上で動作する間に、過剰圧縮が検出され、設定インデックスが減少されて $PSNR$ を増大させる。

【 0 1 7 9 】

図 2 2 は、本発明の一実施形態に従う改善されたビデオレート制御のための、ファームウェア実施の方法を示すフローチャートである。この方法は、過剰圧縮を検出することによってレート制御特性を改善するために、圧縮されたパケットサイズ上でのフィードバックを使用する。

【 0 1 8 0 】

図 2 2 に描かれたプロセスは、XGAビデオを送信する例 ($1024 \times 768 @ 60 \text{ Hz}$) を介して説明することができる。このビデオフォーマットは、 1132 Mbps の生ビットレートを必要とする。送信が始まると、該システムは、MACから 525 Mbps のスループット予測を得る。従って、初期 CR は $1132 / 525 = 2 . 1 6$ よりも大きいはずである (ステップ 2 2 0 1)。最悪事例の CR から、設定 # 4 が、初期 CR よりも大きい最小の最悪事例の CR を得るために選択される (ステップ 2 2 0 2)。次のビデオパケットは、設定 # 4 でのレート制御動作を用いて発生される (ステップ 2 2 0 3)。

【 0 1 8 1 】

ビデオコンテンツが $g \times f$ 画像と同様であれば、設定 # 4 は、当該システムに対して、

10

20

30

40

50

図 2 1 における $g f x$ 曲線 2 1 2 0 上の点 2 1 2 4 において動作を生じさせる。従って、平均 CR は 3 . 5 よりも大きいであろうし、これは初期 $CR = 2 . 1 6$ よりも遥かに大きい。該コンテンツは比較的圧縮し易いので、圧縮されたビデオパケットのサイズをモニターすることによって (ステップ 2 2 0 4)、この条件を検出し、該圧縮が、必要とされるよりも高いことを確認することができる。このような条件を検出する際に、該システムは、 $CR > 3$ を備えた $g f x$ 曲線 2 1 2 0 上の点 2 1 2 3 で動作するために、設定インデックスを 3 まで減少させる (ステップ 2 2 0 6)。

【 0 1 8 2 】

該プロセスは、過剰圧縮条件を反復して検出し、また図 2 1 における $CR > 2 . 5$ を備えた $g f x$ 曲線 2 1 2 0 上の点 2 1 2 1 に達するまで、該設定インデックスを減少させ続けるであろう (ステップ 2 2 0 8)。 $g f x$ 曲線 2 1 2 0 上を点 2 1 2 4 から点 2 1 2 1 へと移動させると、 CR が初期 CR_y よりも大きいことを保証しながら、 $PSNR$ は約 3 8 d B から約 5 7 d B へと増大する。

【 0 1 8 3 】

図 2 3 は、本発明の一実施形態に従う改良されたビデオレート制御のための、別のハードウェア実施の方法を示すフローチャートである。この方法は、圧縮されたラインサイズ上でのフィードバックを使用して、過剰圧縮を検出する。該ハードウェア実施は、より迅速な応答を保証し、従って上記で述べたファームウェア実施よりも良好な特性を保証する。該プロセスは、レジスタ `unused_bytes_accumulator` をクリアすることによって開始される (ステップ 2 3 0 1)。 XGA の例を再度参照すると、5 2 5 M b p s チャンネル上での送信を維持するために、目的とする CR は 2 . 1 6 であるべきである (ステップ 2 3 0 2)。従って、理想的に言えば、各ラインは $1024 * 3 / 2 . 16 = 1423$ バイトの最大値を占めるべきである。

【 0 1 8 4 】

送信が始まるときに、該システムは、最悪事例の $CR = 2 . 4$ を保証する設定 # 4 を選択する (ステップ 2 3 0 3)。この設定は、4 : 2 : 2 データ、ローパス $CR = 1$ およびハイパス $CR = 2$ でビデオレート制御を動作させ、これは次のことを意味する：

$$\max L size = 1024 * 3 * 0.25 / 1.5 = 512 \text{ バイト}$$

$$\max H size = 1024 * 3 * 0.75 * 0.5 / 1.5 = 768 \text{ バイト}$$

第一のラインは特定の $\max L size$ および $\max H size$ レート制御パラメータを使用して符号化され (ステップ 2 3 0 4)、その後、 $L size$ および $H size$ は、圧縮されたラインのレート制御パラメータにおけるローパスサブバンドおよびハイパスサブバンドの実際のサイズを表す (ステップ 2 3 0 5)。現在の例において、 $L size = 300$ バイト、および $H size = 400$ バイトを仮定すると：

$$\begin{aligned} & (\max L size + \max H size) - (L size + H size) \\ & = 1280 - 700 = 580 \text{ バイト} \end{aligned}$$

である。

【 0 1 8 5 】

これは、圧縮されたラインが、最大の可能なサイズに 5 8 0 バイトだけ達しないことを示している。換言すれば、該ラインは、設定 # 4 に関連した 1 2 8 0 バイトの最大値を犯すことなく、それが実際有使用したものよりも 5 8 0 バイトだけ多く使用できたであろう。従って、ステップ 2 3 0 6 において、該システムは、それらを後続のラインによって再利用できるように、これら 5 8 0 の未使用バイトをレジスタの `unused_bytes_accumulator` に割り当てる。ステップ 2 3 0 7 は、図 2 4 において定義されたクリップ関数を使用して、`unused_bytes_accumulator` を 3 2 K バイトにクリップする。

【 0 1 8 6 】

次に、該システムは、 $\Delta_L = 256$ バイト (ステップ 2 3 0 8)、および $\Delta_H = 368$ バイト (ステップ 2 3 0 9) を設定する。結局、ステップ 2 3 0 4 において次のラインが符号化されるときに、ビデオレート制御は下記を使用することを可能にするであろう

$\text{max L size} + \Delta_L = 512 + 256 = 768$ バイト、(ローパスサブバンドについて) : および

$\text{max H size} + \Delta_H = 768 + 368 = 1136$ バイト、(ハイパスサブバンドについて)。

【0187】

このラインのための有効な最大ラインサイズは、先のラインからの未使用バイトの一部を再生使用することによって増大されるので、ビデオレート制御は、このラインについて厳格さの低い量子化設定を選択してよい。これは、より良好な視覚的品質をもたらす。

【0188】

未使用のバイトが2.4よりも大きいCRを備えたラインから再生されて、525 Mbps未満の瞬間的帯域幅要件をもたらすので、525 Mbpsのスループット制限は経時的に破られない。これら未使用のバイトは、より低いCRで圧縮され得る後続のラインに割り当てられ、525 Mbpsよりも大きい瞬間帯域幅をもたらす。しかし、該システムは未使用のバイトを再生使用し、これはラインを許容可能な最大サイズ、即ち、 $\text{max L size} + \text{max H size} = 1280$ バイトよりも小さくするので、平均帯域幅要件は525 Mbps未満であるように保証される。(1280バイトは、525 Mbpsのスループットを保証する1423バイト制限よりも小さいことを想起されたい)。

【0189】

実際には、高優先度および低優先度のパケットが送信の前に送信バッファに配置されるので、幾つかのライン上で瞬間的に525 Mbpsの帯域幅制限を超えることは深刻な問題ではない。パケットが到着する平均レートが525 Mbpsを超えないと仮定すれば、十分に大きいバッファは、オーバーフローを伴わずに525 Mbpsの一定のレートで排出されてよい。

【0190】

先の説明は、十分に大きい送信バッファが利用可能であれば、瞬間的な大きな帯域幅要件はバッファオーバーフローを生じないことを示している。大きなバッファに関連したコストを低減するために、本発明の一実施形態は以下の技術を使用し、低コストの中程度のサイズのバッファを用いてバッファのオーバーフローを防止する。

【0191】

1) 設定#4はCR=2.4で動作し、これは $1132 / 2.4 = 472$ Mbpsのスループットに対応する。従って、再生されるバイトは平均472 Mbpsの帯域幅要件を生じるであろうが、瞬間的にはそれらは472 Mbpsを超えるかもしれない。しかし、瞬間的帯域幅要件が持続的時間に亘って525 Mbpsを超え、バッファのオーバーフローを生じることは全くありそうにない。

【0192】

2) ステップ2307は、図24に定義されたクリップ関数を使用して、未使用__バイト__アキュムレータを32Kバイトにクリップする。このレジスタを32Kバイトに飽和させることにより、本発明の実施形態は、未使用バイトを再生できる連続するラインの数に上限を定める。従って、525 Mbpsを超える瞬間的な帯域幅要件を備えた連続的なラインの数には上限が定められる。これは、バッファがオーバーフローする可能性を低減する。

【0193】

3) ステップ2308および2309は、 Δ_L および Δ_H をそれぞれ256バイトおよび768バイトにクリップする。この高い方は、最大の圧縮ラインサイズを、 $\text{max L size} + 256 + \text{max H size} + 768 = 2304$ に制限し、これは $2304 * 8 * 768 * 60 = 849$ Mbpsの瞬間宛基帯域幅要件に対応する。瞬間的帯域幅要件は、それが525 Mbpsを超えるときは何時でも上限が849 Mbpsに定められるので、バッファのオーバーフローを生じる可能性は低い。

【0194】

上記で述べたファームウェアおよびハードウェア法は、圧縮されたパケットもしくはラ

10

20

30

40

50

インのサイズに関するフィードバックに基づいて、視覚的品質の改善をカバーする。しかし、変化するチャンネル条件に反応して、無線通信に先立ってパケットを保持する送信バッファにおけるオーバーフローを防止するために、他のフィードバックを使用することができる。

【 0 1 9 5 】

受信機が全てのパケットにアクノリッジすることを要求されるなら、アクノリッジされないパケットは再送信することができる。送信バッファは再送信の間は排出されないので、C Rを増加してバッファのオーバーフローを防止するように、再送信の際に設定インデックスを増分することができる。

【 0 1 9 6 】

WiMedia・MAC明細 (Multiband OFDM Alliance Special Interest Group, 2005による“WiMedia MAC 0.99 RC1”参照) は、ビデオ送信が不能化される取決められた時間スロットを可能にする。これらの時間スロットは予め知られているので、該設定インデックスは、このような時間スロットの前、最中および直後に増分されることができる。ここでも再度、送信バッファは不能化された時間スロットの間に排出されないので、この動作はバッファのオーバーフローを防止するであろう。

【 0 1 9 7 】

最後に、バッファの充分度が、バッファ容量の65%のように予め定められた閾値を超えるときは何時でも、バッファのオーバーフローを防止するために、設定インデックスを増分することができる。再送信、不能化された時間スロットおよびバッファの満杯度に関するフィードバックがないときは、レート制御法は先に記載した動作に戻り、ここでは上記初期C Rを動作させる間に過剰圧縮が検出され、設定インデックスが減少されてP S N Rを増大させる。本開示の実施形態を詳細に説明してきたが、当業者は、本開示の精神および範囲を逸脱することなく種々の変更、置換および変更をなし得ることを理解すべきである。

以下に本願の出願時の特許請求の範囲に記載の発明を付記する。

[1]ビデオレート制御のための方法であって：

ビデオフレームの第一のアクティブラインを受信するステップと；

前記第一のアクティブラインに関連したアクティブビデオデータのための複数の量子化パラメータを決定するステップと；

前記複数の量子化パラメータを符号化システムに提供し、ここでの複数の量子化パラメータは、前記第一のアクティブラインのビデオレートが最大ビデオレートを超えないように、前記第一のアクティブラインの少なくとも一部を符号化するために使用されるステップと；

前記ビデオフレームの第二のアクティブラインを受信するステップと；

を含んでなり、

前記第一のアクティブラインに関連したアクティブビデオデータのための複数の量子化パラメータを決定するステップは、前記ビデオフレームの第二のアクティブラインの水平ブランキング部分の間に少なくとも部分的に行われる方法。

[2]請求項 1 に記載の方法であって、前記第一のアクティブラインを受信することは前記第一のアクティブラインの、ローパス部分を受信すること、および前記第一のアクティブラインのハイパス部分を受信することを含む方法。

[3]請求項 2 に記載の方法であって、前記第一のアクティブラインに関連したアクティブビデオデータのための複数の量子化パラメータを決定することは、前記第一のアクティブラインのローパス部分のための少なくとも一つのローパス量子化パラメータを決定すること、および前記第一のアクティブラインのハイパス部分のための少なくとも一つのハイパス量子化パラメータを決定することを含む方法。

[4]請求項 3 に記載の方法であって、更に、前記第一のアクティブラインの前記ハイパス部分のためのハイパス最大符号化ラインサイズを受信すること、および前記第一のアクティブラインの前記ローパス部分のためのローパス最大符号化ラインサイズを受信すること

10

20

30

40

50

を含んでなり、

前記第一のアクティブラインのローパス部分のための前記ローパス量子化パラメータを決定することは、前記第一のアクティブラインのローパス部分のローパス符号化長さが、前記ローパス最大符号化ラインサイズよりも小さいかどうかを比較することを含み、

前記第一のアクティブラインのハイパス部分のための前記ハイパス量子化パラメータを決定することは、前記第一のアクティブラインのハイパス部分のハイパス符号化長さが、前記ハイパス最大符号化ラインサイズよりも小さいかどうかを比較することを含む方法。

[5]請求項1に記載の方法であって：前記複数の最適量子化パラメータを決定することは、前記第一のアクティブラインのためのビットレート要件を受信することと；

初期スループット推定値を受信することと；

10

初期圧縮比を決定することと；

前記初期圧縮比よりも大きい第二の圧縮比を決定することと；

過剰圧縮を決定すること

を含む方法。

[6]請求項5に記載の方法であって：更に、

圧縮されたビデオパケットサイズを受信することを含んでなり；

前記過剰圧縮を検出することは、前記受信した圧縮されたビデオパケットサイズをモニターすることを含む方法。

[7]請求項5に記載の方法であって：更に、

圧縮されたラインサイズを受信することを含んでなり；

20

前記過剰圧縮を検出することは、前記圧縮されたラインサイズをモニターすることを含む方法。

[8]請求項5に記載の方法であって：過剰圧縮を検出することは、

実際の符号化されたローパスラインサイズを決定することと；

実際の符号化されたハイパスラインサイズを決定することと；

前記実際の符号化されたローパスラインサイズを、先に符号化されたローパスラインサイズと比較することと；

前記実際の符号化されたハイパスラインサイズを、先に符号化されたハイパスラインサイズと比較すること

を含む方法。

30

[9]請求項8に記載の方法であって、前記先に符号化されたローパスラインサイズは最大符号化ローパスラインサイズを含み、また前記先に符号化されたハイパスラインサイズは最大符号化ハイパスラインサイズを含む方法。

[10]請求項2に記載の方法であって：更に、

前記第一のアクティブラインのローパス部分に関連したローパス画素ドメイン歪みを予測することと；

前記第一のアクティブラインのハイパス部分に関連したハイパス画素ドメイン歪みを予測すること

を含んでなる方法。

[11]請求項2に記載の方法であって：更に、

40

ハイパス変換係数を提供することと；

ローパス変換係数を提供すること

を含んでなる方法。

[12]請求項2に記載の方法であって：更に、少なくとも一つの量子化レベルについてのデータを予想することにより、前記第一のアクティブラインのローパス部分のローパス符号化長さを決定することを含んでなる方法。

[13]請求項12に記載の方法であって、前記少なくとも一つの量子化レベルについてのデータを予想することは、前記第一のアクティブラインのローパス部分の近隣に基づいて予想することを含む方法。

[14]ラインに基づくビデオ圧縮のための方法であって：

50

ビデオフレームのラインに基づいて、ビデオフォーマットを選択することと；
 前記ビデオフレームのラインに基づいて、ウェーブレット変換を選択することと；
 前記選択されたウェーブレット変換に基づいて前記ビデオフレームのラインのローパス部分およびハイパス部分を提供することと；
 前記ビデオフレームのラインにおける前記ローパス部分および前記ハイパス部分のための量子化パラメータを受信することと；
 前記量子化パラメータを、前記ビデオフレームのラインにおける前記ローパス部分および前記ハイパス部分に適用すること
 を含んでなる方法。

[15]請求項14に記載の方法であって：更に、
 前記ローパス部分を、指数分布に適合させるように調節することと；
 前記発生されたローパス部分およびハイパス部分を符号化すること
 を含んでなる方法。

10

[16]請求項14に記載の方法であって、前記ビデオフォーマットはRGBフォーマットおよびYUVフォーマットのうちの一つを含む方法。

[17]請求項16に記載の方法であって、前記YUVフォーマットは、4：4：4フォーマット、4：2：2フォーマット、および4：1：1フォーマットのうちの一つを含む方法。

[18]請求項14に記載の方法であって、前記ウェーブレット変換を選択することは、ダウベシーズ(7, 9)ウェーブレット変換およびラガル(5, 3)ウェーブレット変換のうちの一つを選択することを含む方法。

20

[19]請求項14に記載の方法であって、前記ウェーブレット変換を選択することは、予め定められた画像圧縮標準を使用する前記ウェーブレット変換を含む方法。

[20]請求項19に記載の方法であって、前記ウェーブレット変換を選択することは、前記予め定められた画像圧縮標準を使用するウェーブレット変換よりも大きな圧縮比を提供するために、丸め方法を使用するウェーブレット変換を選択することを含む方法。

[21]請求項15に記載の方法であって、前記符号化は、前記ビデオフォーマットのラインに基づいて、算術的符号化およびゴロム符号化の間で選択的にスイッチする符号化器を使用することを含む方法。

[22]請求項21に記載の方法であって、前記符号化は、算術を伴わずに実施されるゴロム符号化器を使用することを含む方法。

30

[23]請求項14に記載の方法であって：更に、
 前記ハイパス部分における垂直エッジを予想することと；
 前記ハイパス部分において前記垂直エッジを抑制することにより、残りのハイパス部分を得ること
 を含んでなり、

前記符号化は、前記残りのハイパス部分を符号化することを含む方法。

[24]請求項23に記載の方法であって、前記ハイパス部分における垂直エッジを予想することは、垂直エッジ検出器を用いて前記ローパス部分を処理することを含み、
 前記ハイパス部分において前記垂直エッジを抑制することは、前記予想された垂直ヘッジ
 を前記ハイパス部分から差し引くことを含んでなる方法。

40

[25]請求項14に記載の方法であって：更に、
 少なくとも一つのハイパスウェーブレット係数を発生させることと；
 少なくとも一つのローパスウェーブレット残差を発生させること
 を含んでなる方法。

[26]請求項25に記載の方法であって：更に、
 少なくとも一つのハイパスウェーブレット係数を符号化することと；
 少なくとも一つのローパスウェーブレット残差を符号化すること
 を含んでなる方法。

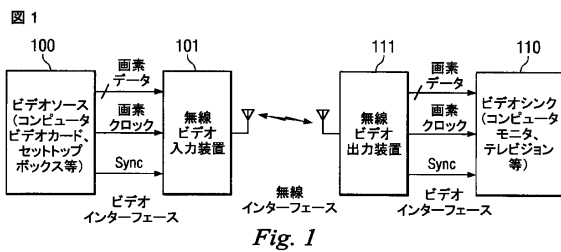
[27]請求項26に記載の方法であって、前記少なくとも一つのハイパスウェーブレット

50

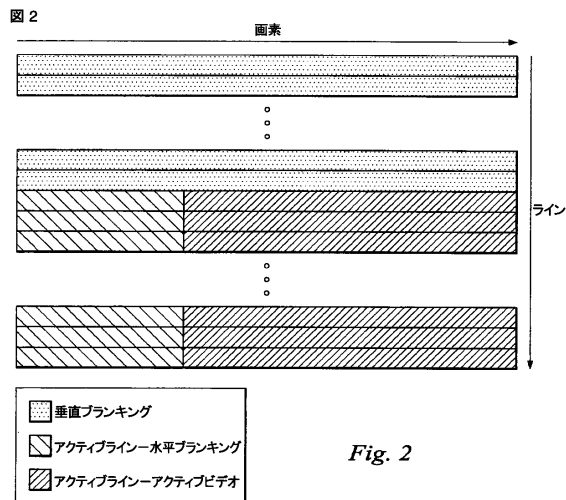
係数を符号化することが、ゴロム符号化を含む方法。

[2 8] 請求項 2 6 に記載の方法であって、前記少なくとも一つのローパスウエーブレット残差を符号化することが、ゴロム符号化を含む方法。

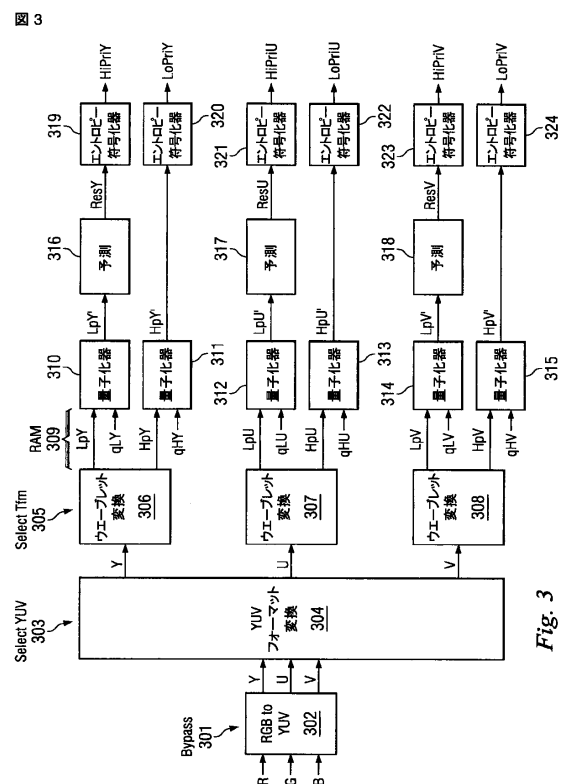
【 図 1 】



【 図 2 】



【 図 3 】



【図 4】

図 4

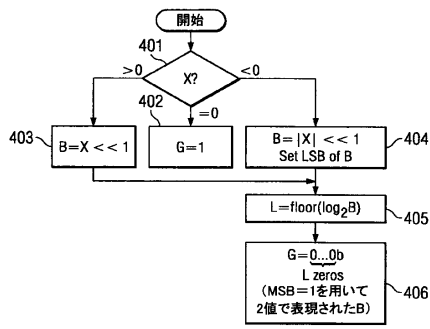


Fig. 4

【図 5】

図 5

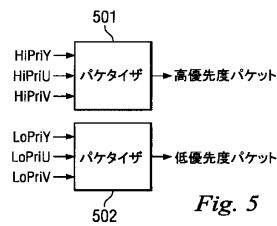


Fig. 5

【図 7】

図 7

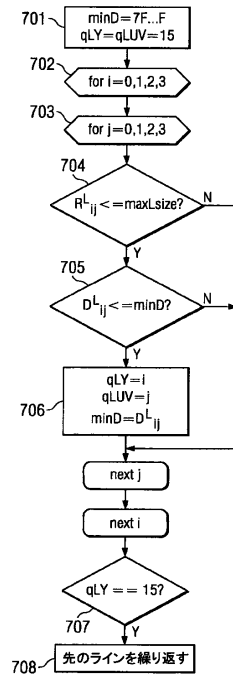


Fig. 7

【図 6】

図 6

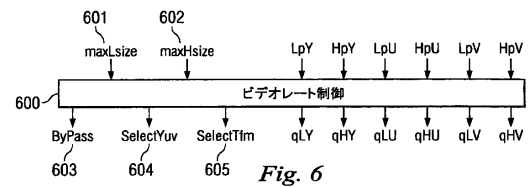


Fig. 6

【図 8】

図 8

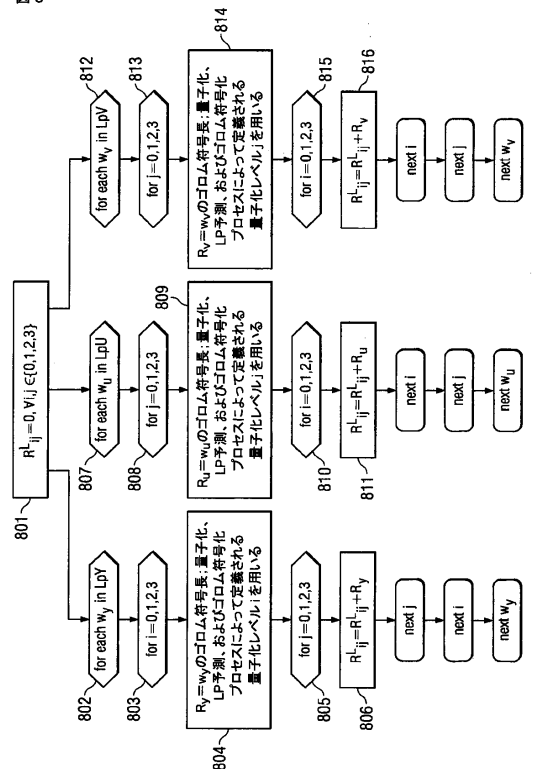


Fig. 8

【図 9】

図 9

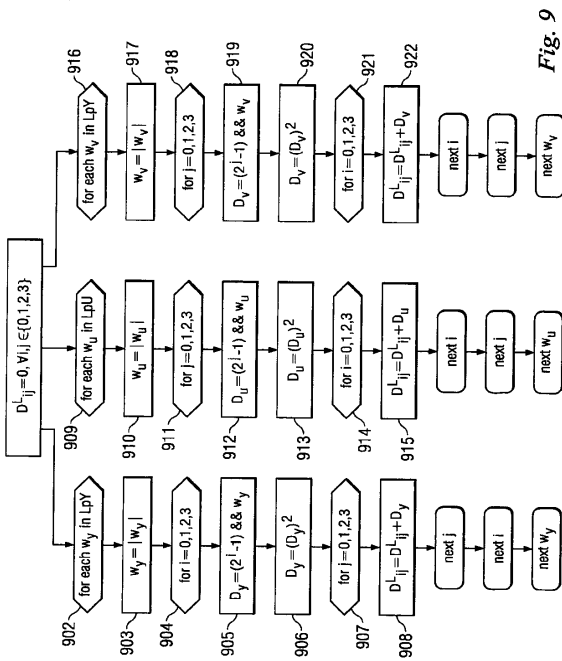


Fig. 9

【図 10】

図 10

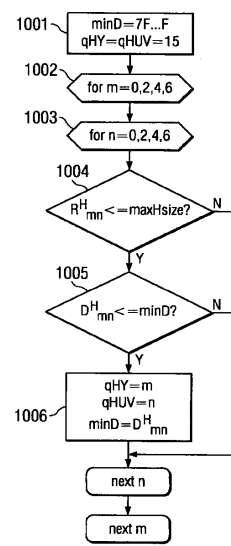


Fig. 10

【図 11】

図 11

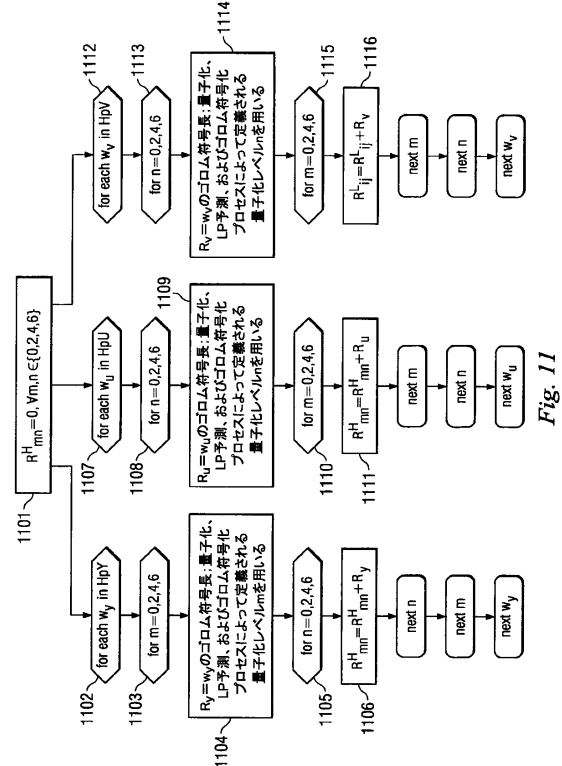


Fig. 11

【図 12】

図 12

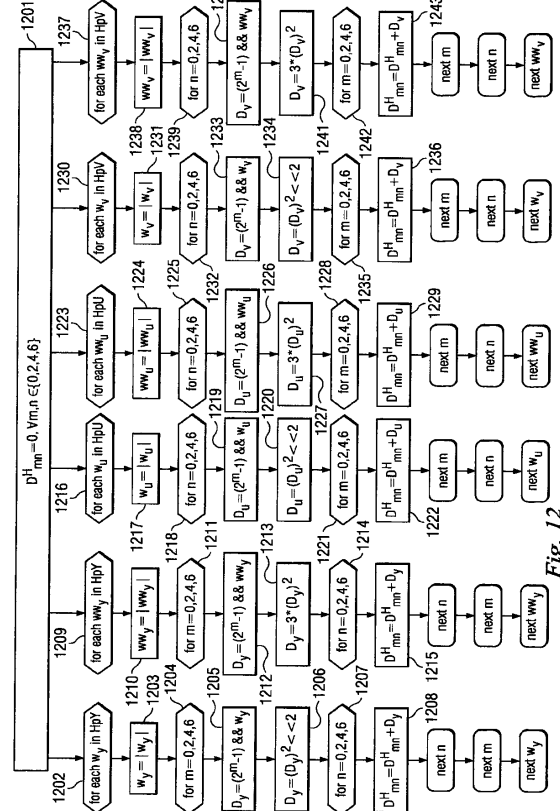


Fig. 12

【図 13】

図 13

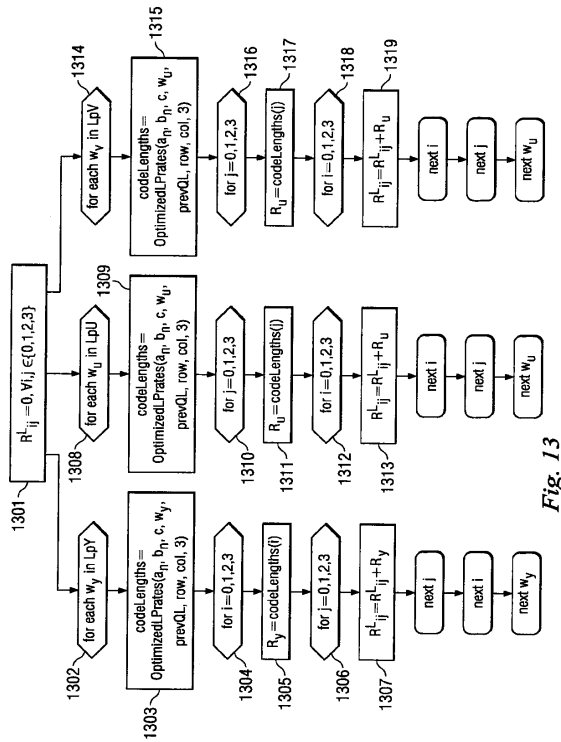


Fig. 13

【図 15】

図 15

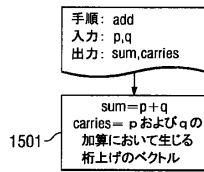


Fig. 15

【図 14】

図 14

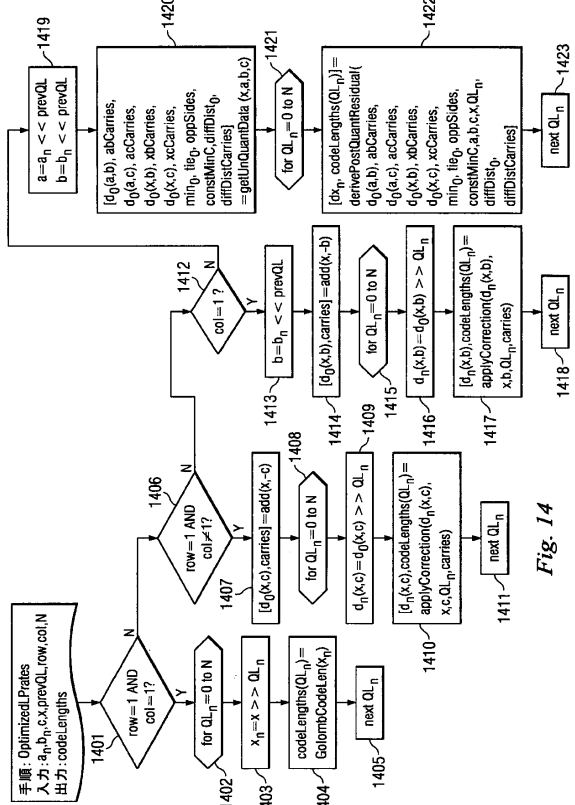


Fig. 14

【図 16】

図 16

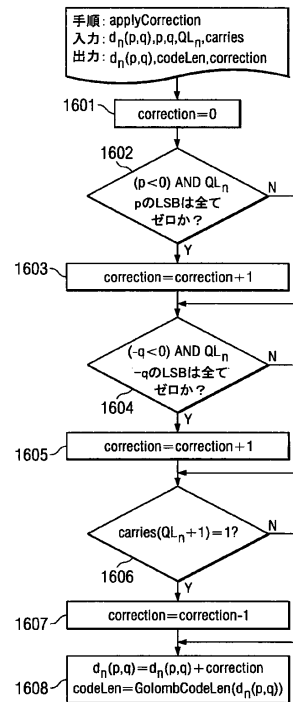
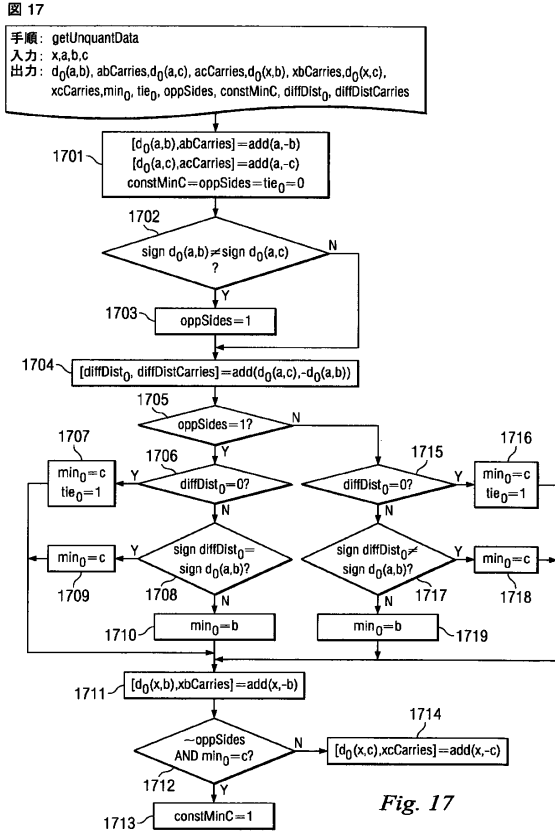
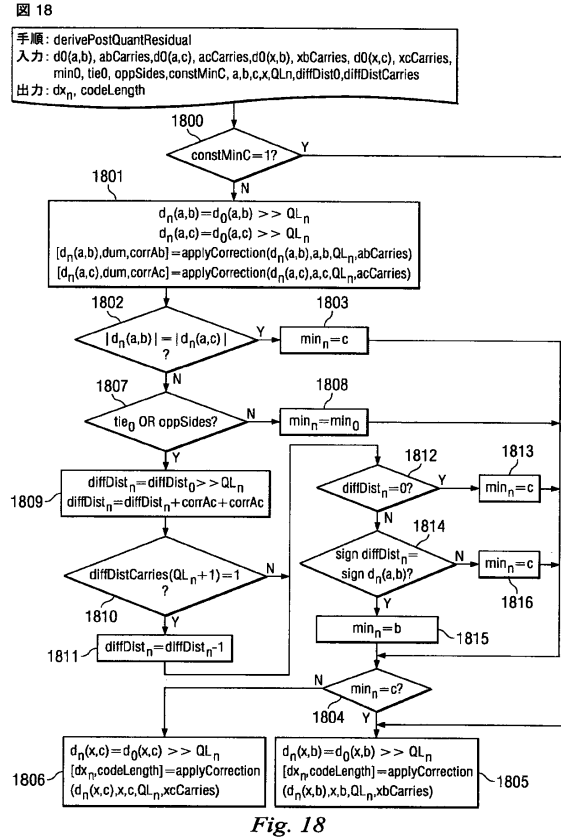


Fig. 16

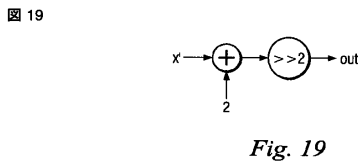
【図 17】



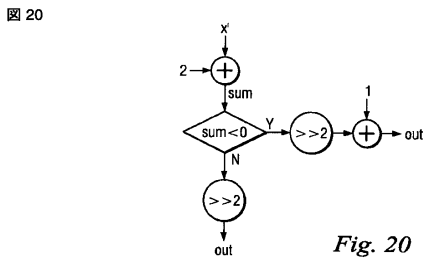
【図 18】



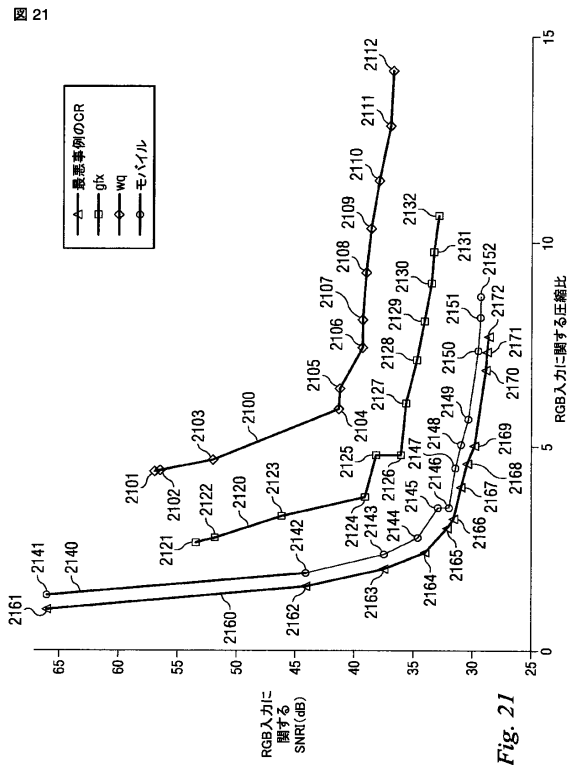
【図 19】



【図 20】



【図 21】



【図 22】

図 22

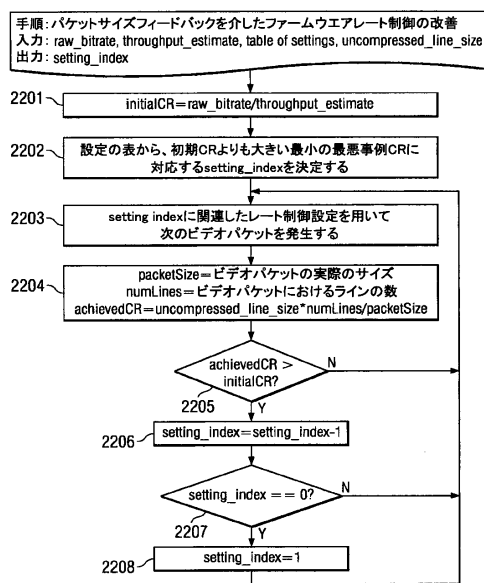


Fig. 22

【図 23】

図 23

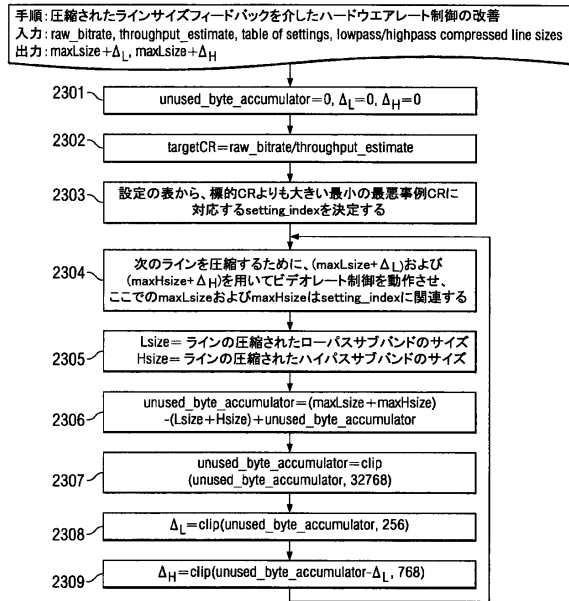


Fig. 23

【図 24】

図 24

$$\text{clip}(x, B) = \begin{cases} x, & \text{if } x \leq B \\ B, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Fig. 24

【図 25】

図 25

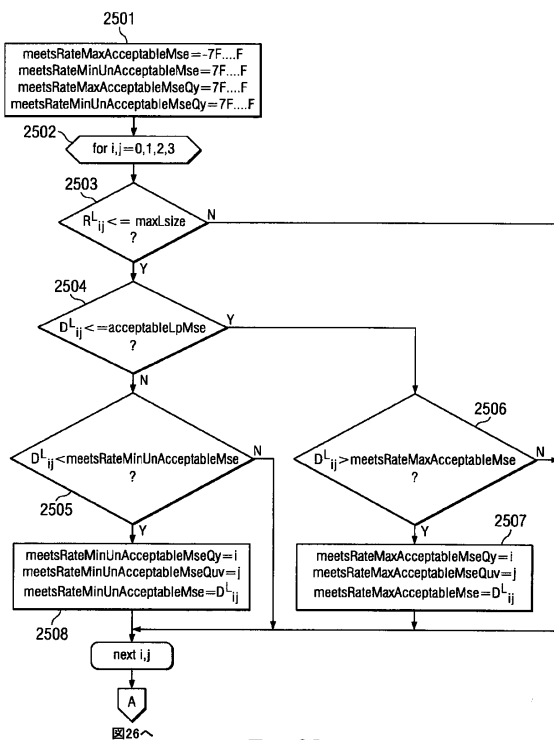


図26へ

Fig. 25

【図 26】

図 26

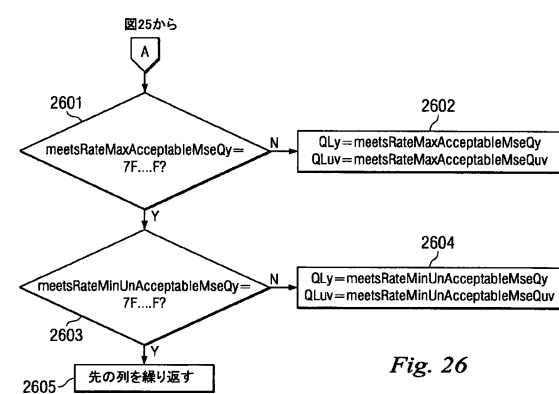


Fig. 26

【図 27】

図 27

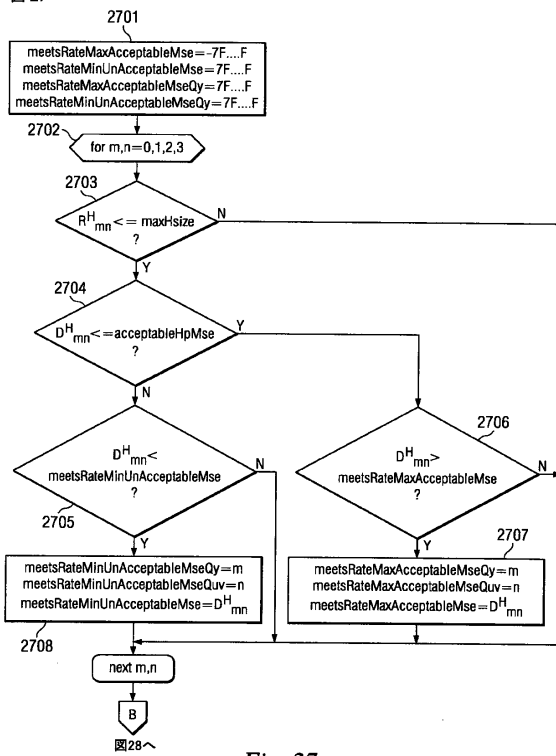


Fig. 27

【図 28】

図 28

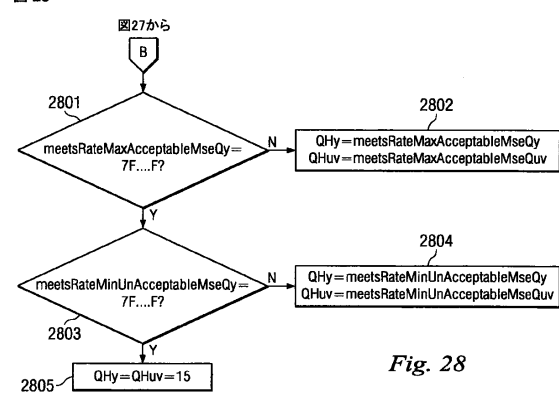


Fig. 28

フロントページの続き

- (74)代理人 100075672
弁理士 峰 隆司
- (74)代理人 100095441
弁理士 白根 俊郎
- (74)代理人 100084618
弁理士 村松 貞男
- (74)代理人 100103034
弁理士 野河 信久
- (74)代理人 100119976
弁理士 幸長 保次郎
- (74)代理人 100153051
弁理士 河野 直樹
- (74)代理人 100140176
弁理士 砂川 克
- (74)代理人 100100952
弁理士 風間 鉄也
- (74)代理人 100101812
弁理士 勝村 紘
- (74)代理人 100070437
弁理士 河井 将次
- (74)代理人 100124394
弁理士 佐藤 立志
- (74)代理人 100112807
弁理士 岡田 貴志
- (74)代理人 100111073
弁理士 堀内 美保子
- (74)代理人 100134290
弁理士 竹内 将訓
- (74)代理人 100127144
弁理士 市原 卓三
- (74)代理人 100141933
弁理士 山下 元
- (72)発明者 フェルナンデス、フェリックス・シー、
アメリカ合衆国、テキサス州 75025、プラノ、プレイヤー・ドライブ 753

審査官 横田 有光

- (56)参考文献 特開平10-336682(JP,A)
特開平03-074986(JP,A)
特表2001-501783(JP,A)
Christos Chrysafis, Antonio Ortega, Line-Based, Reduced Memory, Wavelet Image Compression, IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING, 2000年 3月, V9 N3, P378-389

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H04N 7/24-7/68