(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2007-219512
(P2007-219512A)
(43)公開日　平成19年8月30日(2007.8.30)

(51)Int.Cl.			F I			テーマコード（参考）
G09G	5/00	(2006.01)	G09G	5/00	550H	5C058
H04N	5/74	(2006.01)	H04N	5/74	Z	5C082
G09G	5/10	(2006.01)	G09G	5/10	Z	
G09G	5/391	(2006.01)	G09G	5/00	520V	
			G09G	5/00	510Z	

審査請求 未請求　請求項の数 13　ＯＬ　（全 16 頁）

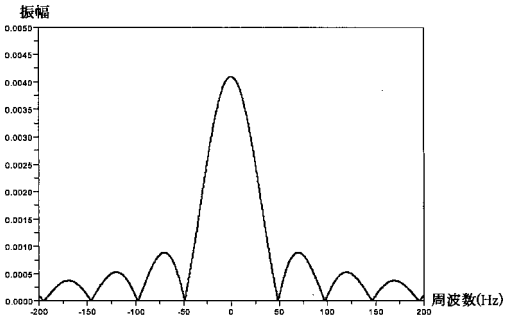
(21)出願番号　特願2007-11371 (P2007-11371)
(22)出願日　平成19年1月22日 (2007.1.22)
(31)優先権主張番号　06290155.8
(32)優先日　平成18年1月26日 (2006.1.26)
(33)優先権主張国　欧州特許庁 (EP)

(71)出願人　501263810
トムソン　ライセンシング
Ｔｈｏｍｓｏｎ　Ｌｉｃｅｎｓｉｎｇ
フランス国，　エフ－９２１００　ブローニュ　ビヤンクール，　ケ　アルフォンス　ル　ガロ，　４６番地
４６　Ｑｕａｉ　Ａ．　Ｌｅ　Ｇａｌｌｏ，　Ｆ－９２１００　Ｂｏｕｌｏｇｎｅ－Ｂｉｌｌａｎｃｏｕｒｔ，　Ｆｒａｎｃｅ
(74)代理人　100070150
弁理士　伊東　忠彦
(74)代理人　100091214
弁理士　大貫　進介
(74)代理人　100107766
弁理士　伊東　忠重

最終頁に続く

(54)【発明の名称】ビデオ画像系列を処理する方法及び装置

(57)【要約】　（修正有）
【課題】映画館における不正複製を防止するための新たな変調手法を提案する。
【解決手段】従来のカムコーダ装置のモデル化ではカムコーダは常にシャッター・スピードの影響を考慮に入れないサンプリング装置とみなされている。カムコーダのシャッターは低域通過フィルタと比較される結果、変調効果は低い値にシャッター・スピードを設定することによって容易に除去することが可能である。主ローブ及びサイドローブを備えたカージナル・サイン関数にカムコーダの特性がスペクトル領域において近いことをシャッター効果の正しい数理モデル化が明らかにしている。よってシャッターがない状態下でカムコーダによって一度記録された視覚アーチファクトを生成するのみならずシャッター・スペクトルのサイドローブを通過させることによって低シャッター・スピード設定にもかかわらずアーチファクトを生成することも可能である変調周波数を選択することを提案する。
【選択図】図７



【特許請求の範囲】
【請求項１】
ビデオ信号によって表されるビデオ画像系列を処理する方法であって、前記系列の各画像の画素組の輝度の振幅を、前記画像について表示する対象の輝度値付近に時間的に変調する変調工程を備え、前記変調は、ディジタル・ビデオ・キャプチャ装置によって前記ビデオ画像がキャプチャされる場合にエイリアシングによってアーチファクトを同時に生成する一方で、人間の眼に見えないよう選ばれ、
変調周波数(f_m)は、関数sinc($\pi f \tau$)の局所的極値を中心とする制限された周波数範囲にあるよう選択され、関数sincはカージナル・サイン関数であり、τは前記ディジタル・ビデオ・キャプチャ装置のシャッター積分時間であることを特徴とする方法。
【請求項２】
請求項１記載の方法であって、前記シャッター積分時間τは、前記ディジタル・ビデオ・キャプチャ装置のサンプリング周波数f_sの逆数に等しくなるよう選択される方法。
【請求項３】
請求項１又は２に記載の方法であって、前記変調周波数は、前記ディジタル・ビデオ・キャプチャ装置の前記シャッター積分時間の逆数が50Hzに等しい場合に、71.5Hz又は122.9Hzの周波数を中心とする制限された周波数範囲にあるよう選択される方法。
【請求項４】
請求項１又は２に記載の方法であって、前記変調周波数は、前記ディジタル・ビデオ・キャプチャ装置の前記シャッター積分時間の逆数が60Hzに等しい場合に、85.8Hz又は147.5Hzの周波数を中心とする制限された周波数範囲にあるよう選択される方法。
【請求項５】
請求項1乃至4の何れか一項に記載の方法であって、特定の周波数Fに対して、前記周波数Fを中心とする制限された周波数範囲がF-Δ以上F+Δ以下に及び、Δは5Hz以上15Hz以下である方法。
【請求項６】
請求項１乃至５の何れか一項に記載の方法であって、前記ディジタル・ビデオ・キャプチャ装置がディジタル・カムコーダである方法。
【請求項７】
ビデオ信号によって表されるビデオ画像系列を処理する装置であって、前記系列の各画像の画素組の輝度の振幅を、前記画像について表示する対象の輝度値付近に時間的に変調する変調器（１０）を備え、前記変調は、ディジタル・ビデオ・キャプチャ装置によって前記ビデオ画像がキャプチャされる場合にエイリアシングによってアーチファクトを同時に生成する一方で、人間の眼に見えないよう選ばれ、
振幅変調に用いる周波数(f_m)は、関数sinc($\pi f \tau$)の局所的極値を中心とする制限された周波数範囲にあるよう選択され、関数sincはカージナル・サイン関数であり、τは前記ディジタル・ビデオ・キャプチャ装置のシャッター積分時間であることを特徴とする装置。
【請求項８】
請求項7記載の装置であって、前記シャッター積分時間τは、前記ディジタル・ビデオ・キャプチャ装置のサンプリング周波数f_sの逆数に等しくなるように選択される装置。
【請求項９】
請求項7又は8に記載の装置であって、変調周波数は、前記ディジタル・ビデオ・キャプチャ装置のシャッター積分時間の逆数が50Hzに等しい場合に、71.5Hz又は122.9Hzの周波数を中心とする制限された周波数範囲にあるよう選択される装置。
【請求項１０】
請求項7又は8に記載の装置であって、前記変調周波数は、前記ディジタル・ビデオ・キャプチャ装置のシャッター積分時間の逆数が60Hzに等しい場合に、85.8Hz又は147.5Hzの周波数を中心とする制限された周波数範囲にあるよう選択される装置。
【請求項１１】
請求項7乃至１０の一項に記載の装置であって、前記変調器によって計算される画像は

、前記変調周波数(f_m)の2倍以上のフレーム・レート(f_r')で出力される装置。
【請求項１２】
請求項11記載の装置であって、前記変調器によって計算される前記画像は、前記画像が前記変調器に入力される前記フレーム・レート(f_r)の倍数に等しいフレーム・レート(f_r')で出力される装置。
【請求項１３】
請求項7乃至12の一項に記載の装置であって、前記ディジタル・ビデオ・キャプチャ装置がディジタル・カムコーダである装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、ビデオ信号によって表されるビデオ画像系列を処理する方法に関し、この方法は、系列の各画像の画素組の輝度の振幅を、その画像について表示する対象の輝度値付近に時間的に変調する変調工程を備える。この変調は人間の眼に見えないものである。
【背景技術】
【０００２】
固定画像であっても動画像であっても視覚コンテンツは一般に、作成者の権利に関連した独占性の保証の恩恵を受ける作品である。その複製は一般に、作成者及びその受益者に報酬を与えることを可能にする厳密に定義されたフレームワーク内でのみ許される。
【０００３】
こうした法的ルールが正しく遵守されることを確実にするために、不正コピーを防止するか、又は、使用不能になる程度に複製の品質を十分に劣化させるためのシステムが多く開発されている。
【０００４】
この意味合いで、特許文献１には、表示されている間にカメラによって画像が（例えば、映画館でカムコーダを用いて）複製されることをなくそうと努めることを目的とすることが開示されている（他に、特許文献２及び３を参照のこと）。特許文献１には、海賊行為防止のメッセージを表す特定の画素の輝度の振幅を、メッセージが人間の眼に見えないようになるが、カムコーダによって撮影される系列においてアーチファクトが生じる高速度で表示する対象の値付近に時間的に変調することが提案されている。前述の解決策は、フリッカ融合周波数（約50Hz）よりも高いレートでの変調を必要とし、したがって、高画像リフレッシュ・レート（少なくとも約100Hz）を有するシステムのみにあてはまる。表示レートが低い（50Hz又は60Hz）システムに施せば、人間の眼は変調を見ることが可能であり、変調によって、表示画像の表示が目に見えて劣化することになる。
【特許文献１】欧州特許第1237369号明細書
【特許文献２】欧州特許第1345428号明細書
【特許文献３】国際公開第01/33846号パンフレット
【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
この手法の主たる欠点は、低シャッター・スピード設定にカムコーダを設定することによって海賊行為防止メッセージを容易に除去することが可能であることである。
【課題を解決するための手段】
【０００６】
本発明の目的は、ディジタル動画像のカムコーダ複製上にエイリアシング・アーチファクトをもたらし、低シャッター・スピード設定を撃破することができる方法を作り出すことである。
【０００７】
本発明では、主ローブ及びサイドローブを備えたカージナル・サイン関数にカムコーダの特性がスペクトル領域において近いことをシャッター効果の数理モデル化によって明ら

かにしている。よって、本発明によれば、シャッターがない状態下でカムコーダによって一度記録された視覚アーチファクトを生成するのみならず、シャッター・スペクトルのサイドローブを通過させることによって、低シャッター・スピード設定にもかかわらずアーチファクトを生成することも可能である変調周波数を選択することを提案する。

【０００８】

よって、本発明の目的は、ビデオ信号によって表されるビデオ画像系列を処理する方法によって解決される。この方法は、系列の各画像の画素組の輝度の振幅を、その画像について表示する対象の輝度値付近に時間的に変調する変調工程を備える。上記変調は、ディジタル・ビデオ・キャプチャ装置によってビデオ画像がキャプチャされる場合にエイリアシングによってアーチファクトを同時に生成する一方で、人間の眼に見えないよう選ばれる。本発明によれば、変調周波数は、関数sinc(πfτ)の局所的極値を中心とする制限された周波数範囲にあるよう選択される。関数sincはカージナル・サイン関数であり、τはディジタル・ビデオ・キャプチャ装置のシャッター積分時間である。

【０００９】

標準的なケースでは、シャッター積分時間τは、ディジタル・ビデオ・キャプチャ装置（例えば、PALカムコーダやNTSCカムコーダ）のサンプリング周波数f_sの逆数に調節される。

【００１０】

本発明によれば、その標準的なケースでは、PALカムコーダ（50Hzに等しいサンプリング周波数）を撃破するために、変調周波数は、よって、71.5Hz又は122.9Hzの周波数を中心とした制限された周波数範囲にあるよう選択される。NTSCカムコーダ（60Hzに等しいサンプリング周波数）の場合、変調周波数は、85.8Hz又は147.5Hzの周波数を中心とした制限された周波数範囲にあるよう選択される。

【００１１】

本発明は、ビデオ信号によって表されるビデオ画像系列を処理する装置にも関する。この装置は、系列の各画像の画素組の輝度の振幅を、その画像について表示する対象の輝度値付近に時間的に変調する変調器を備える。上記変調は、ディジタル・ビデオ・キャプチャ装置によってビデオ画像がキャプチャされる場合にエイリアシングによってアーチファクトを同時に生成する一方で、人間の眼に見えないよう選ばれる。本発明によれば、変調周波数は、関数sinc(πfτ)の局所的極値を中心とする制限された周波数範囲にあるよう選択される。関数sincはカージナル・サイン関数であり、τはディジタル・ビデオ・キャプチャ装置のシャッター積分時間である。

【００１２】

前述のように、シャッター積分時間τが、ディジタル・ビデオ・キャプチャ装置のサンプリング周波数f_sの逆数に調節される場合、変調器によって用いられる変調周波数は、PALカムコーダを撃破するために、71.5Hz又は122.9Hzの周波数を中心とした制限された周波数範囲にあるよう選択され、NTSCカムコーダを撃破するために、85.8Hz又は147.5Hzの周波数を中心とした制限された周波数範囲にあるよう選択される。

【００１３】

更に、変調器によって計算された画像は、変調周波数の2倍以上のフレーム・レートで出力される。好ましくは、このフレーム・レートは、画像が変調器に入力されるフレーム・レートの倍数に等しい。

【発明を実施するための最良の形態】

【００１４】

本発明の例示的な実施例を添付図面に示し、より詳細に以下の記載で説明する。

【実施例】

【００１５】

本発明は、映画館における不正複製を防止するための新たな変調システムを規定する。他の変調手法がカムコーダを撃破するために既に提案されているが、その何れも、カムコーダ装置をモデル化するうえで正しい仮説を立てていない。前述の伝統的な手法では、カ

ムコーダは常にサンプリング装置としかみなされない一方、好適なモデルはシャッター・スピードの影響を考慮に入れるべきである。カムコーダのシャッターは伝統的には、機能的手法におけるサンプリング・プロセスの前に配置される可変カットオフ周波数低域通過フィルタと比較される。その結果、変調効果は、低い値（低カットオフ周波数）にシャッター・スピードを設定することによって容易に除去することが可能である。本発明では、主ローブ及びサイドローブを備えたカージナル・サイン関数にカムコーダの特性がスペクトル領域において近いことをシャッター効果の数理モデル化によって明らかにしている。よって、本発明によれば、シャッターがない状態下でカムコーダによって一度記録された視覚アーチファクトを生成するのみならず、シャッター・スペクトルのサイドローブを通過させることによって、低シャッター・スピード設定にもかかわらずアーチファクトを生成することも可能である変調周波数を選択することを提案する。

【００１６】

本発明を詳細に説明する前に、人間の視覚系、フーリエ変換、サンプリング・プロセス及び振幅変調についての情報を少し示す。

【００１７】

いくつかの精神身体研究によれば、人間の視覚系（すなわちHVS）は、空間周波数及び時間周波数の別々の範囲に対して選択的な感度を有する。前述の研究は通常、空間領域及び／又は時間領域における輝度の周期変動（正弦的変動）に対する人間の観察者の反応を解析することからなる。「空間周波数」の語は、視覚の度毎のサイクル数を表す一方、「時間周波数」の語は秒毎のサイクル数を表す。本出願では、「周波数」の語は、時間周波数を表す。

【００１８】

周波数によるHSVの輝度フリッカ感度を図１に示す。輝度フリッカは、50Hz以上の周波数の場合、感知できなくなる。

【００１９】

フーリエ変換は、周波数（すなわち「スペクトル」）領域において時変関数を解析するうえで周知のツールである。x(t)を連続関数とする。これに対応するフーリエ変換は、

【００２０】

【数１】

$$F[x(t)] = X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j2\pi ft}dt \qquad (1)$$

として記述することが可能である。対応する逆フーリエ変換は、

【００２１】

【数２】

$$F^{-1}[X(f)] = x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(f)e^{j2\pi ft}df \qquad (2)$$

である。

【００２２】

フーリエ変換は振幅及び位相角によって規定されるが、焦点を当てる唯一の関心データは振幅である。周知の関数及び演算子の時間領域から周波数領域への変換の例を以下の表１に表す。

【００２３】

【表１】

$x(t) = F^{-1}[X(f)]$	$X(f) = F[x(t)]$
1	$\delta(f)$
$e^{-j2\pi f_0 t}$	$\delta(f + f_0)$
$a.x(t) + b.y(t)$	$a.X(f) + b.Y(f)$
$x(t).y(t)$	$X(f) * Y(f)$
$x(t) * y(t)$	$X(f).Y(f)$
$e^{-j2\pi f_0 t}.x(t)$	$\delta(f + f_0) * X(f) = X(f + f_0)$
$\cos(2\pi f_0 t) = \frac{e^{-j2\pi f_0 t} + e^{j2\pi f_0 t}}{2}$	$\frac{1}{2}(\delta(f + f_0) + \delta(f - f_0))$
$\delta(t - t_0)$	$e^{-j2\pi f t_0}$
$\sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \delta(t - nT_s)$	$\sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \frac{1}{T_s} \delta(f - \frac{n}{T_s})$

フーリエ変換は、アナログ・ディジタル変換手法及びディジタル・アナログ変換手法（ADC／DAC）の場合に非常に有用となる。アナログからディジタルへの関数の変換は常に時間サンプリング・プロセスから始まる。時間サンプリング・プロセスは、連続表現空間から離散表現空間に切り替わることからなる。この離散化プロセスは、当該関数と、T_s、隔てられた、ディラックのデルタ関数の無限級数との乗算によって数理モデル化することが可能である。ここで、T_sはサンプリング周期であり、$f_s=1/T_s$はサンプリング周波数である。

【００２４】

【数３】

$$\{x_n\} = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} x(nT_s) = x(t).\sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \delta(t - nT_s) \qquad (3)$$

関数x(t)のサンプリング・プロセスは図２によって示す。表１に提示した変換を用いれば、離散関数 $\{x_n\}$ のフーリエ変換は

【００２５】

【数４】

$$F[\{x_n\}] = F\left[x(t).\sum_{n=-\infty}^{n=+\infty}\delta(t-nT_s)\right]$$
$$= F[x(t)] * F\left[\sum_{n=-\infty}^{n=+\infty}\delta(t-nT_s)\right]$$
$$= X(f) * \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty}\frac{1}{T_s}\delta(f-\frac{n}{T_s})$$
$$= f_s\sum_{n=-\infty}^{n=+\infty}X(f-nf_s)$$

として記述することが可能である。

【００２６】

すなわち、空間／時間領域において関数をサンプリングすることによって、図３に示すように周波数領域においてピリオダイザーション（periodization）がもたらされる。この図では、関数x(t)のスペクトルは周波数帯［0-F］にわたって広がっている。この図によって示すように、x(t)は｛x_n｝から完全に回復することが可能であるが、それは、F［x(t)］を、F［｛x_n｝］に対する低域通過フィルタリング処理によって回復することができるからである。しかし、ロスレスのアナログ・ディジタル／ディジタル・アナログ変換を行うために、選ばれるサンプリング時間／周波数に関して、特に注意しなければならない。サンプリング周波数f_sが２Fよりも低い場合、F［x(t)］の周期は重なる傾向にあり、よって、図４に示すスペクトルF［｛X_n｝］につながる。この新たなスペクトルは、元のスペクトルF［x(t)］を回復することを可能にするものでない。エイリアシングと呼ばれる重なる現象は、周知のナイキスト・シャノンのサンプリング定理が守られる場合、ないようにすることが可能である。この定理によれば、信号をサンプリングする（例えば、アナログ信号からディジタルに変換する）場合、サンプリングされたバージョンからオリジナルを完全に再構成することができるためにはサンプリング周波数が入力信号の帯域幅の2倍よりも大きくなければならない（すなわち、$f_s > 2F$）。

【００２７】

したがって、何れのサンプリング装置とも同様に、カムコーダはエイリアシング・アーチファクトを生成しかねない。海賊行為防止システム又はカムコーダ防止システムの場合、前述のエイリアシング・アーチファクトをカムコーダに生成させることが有用であり得る。カムコーダのサンプリング周波数f_s(インタリーブ・フィールドの場合、50Hz（PAL）／60Hz（NTSC）)を処理することは可能でないので、本発明の原理は、カムコーダによってフィルタリングされない特定の変調周波数による振幅周波数を用いることによってビデオ信号の帯域幅Fを増加させることである。

【００２８】

振幅変調（AM）は、変調信号の振幅によって搬送波信号の振幅が変動する変調の形式である。基本的なAM処理は、変調信号（例えば、x(t)）を周波数f_mの搬送波信号c(t)と乗算することからなる。搬送波信号c(t)は、$c(t)=\beta\cos(2\pi f_m t)$として定義される。振幅変調信号$X_{AM}(t)$は、

$x_{AM}(t)=x(t).(1+c(t))=x(t)+x(t).\beta\cos(2\pi f_m t)$

である。信号$X_{AM}(t)$のフーリエ変換は、

$X_{AM}(t)=X(f)+X(f)*1/2(\delta(f-f_m)+\delta(f+f_m))=X(f)+1/2(X(f-f_m)+X(f+f_m))$

である。

【００２９】

このフーリエ変換のグラフィック表現を図５に示す。これは、変調信号の振幅スペクト

ルX(f)及び振幅変調信号の全振幅スペクトル$X_{AM}(f)$を示す。

【００３０】

図５を参照すれば、記録されたビデオ系列上にエイリアシング・アーチファクトをこの振幅変調によって生成することがいかに有用であるかが容易に分かり得る。変調周波数f_mが、限度$f_s/2$を上回るようにビデオ信号の帯域幅を増加させる程度に十分高く、追加のスペクトル・コンテンツが人間の視覚系に見えないようになる程度に十分高い場合、この追加のコンテンツはカムコーダ獲得中に重なり、人間の観察者が感知することができるアーチファクトを作成することになる。警告メッセージを作成するために、特許文献１に開示された警告メッセージを表す特定の画素組に変調を施すものとする。

【００３１】

今まで、変調ベースのカムコーダ防止手法は、カムコーダをサンプリング装置としてしかみなしていない。このことは、以下で分かるように間違った仮説である。カムコーダ技術では、視覚信号の記録／サンプリング・プロセスはまず、特定時間量、CCD／CMOSセンサにそれが露光されることを必要とする。露光は通常、「シャッター・スピード」として表される。しかし、大半のビデオ・カメラにおいて用いられるシャッターは、機械的なものでなく、期間であり、スピードではない。チップ・カメラの「シャッター」スピードは、サイクルが繰り返される前に光誘起電荷がチップ内に電気的に蓄積することが可能である時間の逆数を表す。周波数領域では、シャッターは通常、低域通過フィルタと比較される。露光時間はフィルタのカットオフ周波数に直接的に関連している。

【００３２】

秒毎に25フレームを記録するPALカムコーダ装置の場合、実際のサンプリング周波数f_sは、インタレース・フレームを用いるので50Hzである。ナイキスト・シャノンのサンプリング定理に基づけば、エイリアシング・アーチファクトを生成するために、変調周波数f_mは、$f_s/2$よりも高い何れかの値に設定すべきである。このことは、$f_m > 25Hz$という条件につながる。

【００３３】

しかし、合法の受け手によって変調効果が感知されないようにするために、変調周波数f_mは、人間の観察者がフリッカを感知することが可能な周波数帯（図１を参照のこと）に配置されるべきでない。よって、第２の条件は、$f_m > 50Hz$である。

【００３４】

この新たな条件は、更に制約的な条件である。映画の標準によってリフレッシュ・レートが秒毎２４画像に設定されていることは周知のことである。動画像に対する海賊行為の試行の場合、1/50（標準である（PALカムコーダの場合の値））にカムコーダのシャッター・スピードを設定することによって動きが修正されるものでないが、それは動きが12Hzを超えることは決してないからである。更に、1/50のシャッター・スピードが、50Hzのカットオフ周波数を有する低域通過フィルタに等しい場合、かつ、カムコーダにおけるサンプリング・プロセスの前にフィルタリング・プロセスが行われるので、fm＞50Hzという条件でシャッター・プロセスを通過させる変調効果を生成することは決して可能でない。その場合、エイリアシング・アーチファクトを生成することは不可能なはずである。

【００３５】

しかし、シャッターが単に低域通過フィルタでなく、適切な振幅変調によってエイリアシングを生成することが可能であることを示す、シャッター特性の数理モデル化を以下に示す。

【００３６】

露光時間が、シャッターによる入射光によってCCD／CMOSセンサが露光される間隔である一方、積分時間は、カムコーダのクロックが、電荷を捕捉し、保持するよう設定される間隔として定義される。CCDの場合、CCDがクリアされると積分が始まる。クリアの終了から、CCDが読み出し始めるまでカウントされる。積分時間は、カムコーダの読み出しエレクトロニクスの特性によって範囲が定められるが、露光時間に等しいとみなし得る。よって、シャッター効果は、

【００３７】
【数５】

$$x_{shut}(t) = \int_{t-T}^{t} x(\tau)d\tau \qquad (3)$$

の式によってモデル化することが可能である。
【００３８】
ここで、Tはシャッター・スピードであり、
x(t)は入力信号であり、
$x_{shut}(t)$は出力信号である。
【００３９】
積分されると、入力信号x(t)は、カムコーダのサンプリング・プロセスに入る。記録された系列$x_{rec}(t)$の実際のモデルは次いで、
【００４０】
【数６】

$$x_{rec}(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty}\left[\int_{t-T}^{t} x(\tau)d\tau\right].\sum_{n=-\infty}^{n=+\infty}\delta(t-nT_s) \qquad (4)$$

として記述することが可能である。
【００４１】
式３中の変数の２つの変更を用いれば、$x_{shut}(t)$は、
【００４２】
【数７】

$$\begin{aligned} x_{shut}(t) &= \int_{t-T}^{t} x(\tau)d\tau \\ &= \int_{-T}^{0} x(\varphi+t)d\varphi \quad \text{with} \quad \varphi = \tau - t \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} x(\varphi+t).\mathrm{rect}_T(\varphi+\frac{T}{2})d\varphi \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} x(\chi).\mathrm{rect}_T(\chi-t+\frac{T}{2})d\chi \quad \text{with} \quad \chi = \varphi + t \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} x(\chi).\mathrm{rect}_T(-\chi+t-\frac{T}{2})d\chi \\ &= [x * \mathrm{rect}_T](t-\frac{T}{2}) \end{aligned} \qquad (5)$$

として記述可能であることになる。（rect_τ（・）は偶関数である）
ここで、rect_T（・）は、
【００４３】

【数８】

$$\mathrm{rect}_T(t)=\begin{cases}1 & \text{if} \quad t\in\left[\dfrac{-T}{2},\dfrac{T}{2}\right]\\ 0 & \text{else}\end{cases}$$

として定義される矩形関数である。

【００４４】

この結果は特に、関数$x_{shut}(t)$の対応フーリエ変換をみると非常に興味深い。

【００４５】

【数９】

$$\begin{aligned}F[x_{shut}(t)] &= F\left[\left[x*\mathrm{rect}_T\right]\left(t-\frac{T}{2}\right)\right]\\ &= F\left[\left[x*\mathrm{rect}_T\right](t)\right]e^{-j\pi fT}\\ &= F[x(t)]F[\mathrm{rect}_T(t)]e^{-j\pi fT}\\ &= X(f).T\mathrm{sinc}(\pi fT).e^{-j\pi fT}\\ &= X_{shut}(f)\end{aligned} \qquad (6)$$

式(6)中の項$e^{-j\pi fT}$が、$x_{shut}(t)$の位相に対する影響のみを有する一方、シャッター調節によって誘起された低域通過フィルタ処理の実際の数理モデルを項sinc(πfT)が規定することになる。図６は、周波数帯0-50Hzについてのカージナル・サイン関数sinc(πfT)のグラフィック表現である。1/50のスピードに設定された場合、シャッターは、50Hz（-3dBのカットオフ周波数を考慮に入れた場合、更に低い周波数）のカットオフ周波数を有する低域通過フィルタとしてふるまう。そのために、変調アーチファクトを生成するうえでの試行は全て、合法な受け手の眼に見える（25Hz＜f_m＜50Hzの場合。図１を参照のこと）か、又は、シャッターによって除去される（f_m＞50Hz）ことになる。

【００４６】

数理モデルを用いてシャッターの影響を調査することは、しかし、役に立たないものでない。図７は、周波数帯全体にわたる関数sinc(πfT)のグラフィック表現を示す。これは、非常に興味深い結果となっている。カットオフは50Hzで検出されるが、関数sinc(.)は、激しいサードローブ効果を示している。これは、特定の高周波にシャッターを通過させることがなお可能であることを意味する。関数sinc(.)は、πの倍数である点（すなわち、sinc(πfT)の場合、１/Tの倍数である周波数）についてゼロ交差を示すことが知られている。本出願では、焦点を当てるに値する点は、サイドローブ極値の位置を示す点である。局所的極値は、関数がゼロの導関数を有する場合に求められる。

【００４７】

【数１０】

$$\begin{aligned}\frac{d(\mathrm{sinc}(x))}{dx}&=0\\ \frac{x.\cos(x)-\sin(x)}{x^2}&=0\\ x.\cos(x)-\sin(x)&=0\end{aligned} \qquad (7)$$

式７に対する解析解を求めるのは簡単でない。しかし、この関数sinc(x)は多項式である。

【００４８】
【数１１】

$$\mathrm{sinc}(x)=\sum_{n=0}^{+\infty}\frac{(-1)^n}{(2n+1)!}x^{2n} \qquad (8)$$

さもなければ、サイン関数とのその密接な関係が理由で、カージナル・サインのサイドローブのピークは、±π/2の奇倍数付近（主ローブのみを含む間隔［-π,π］以外）にある可能性が最も高い。高信頼度の平行根近似を式(7)に与えることが可能であるため、平方根を求めるニュートン・ラフソン反復法を用いて数値的に解くことが可能である。

【００４９】
【数１２】

$$x_{n+1}=x_n-\frac{x_n.\cos(x_n)-\sin(x_n)}{d(x_n.\cos(x_n)-\sin(x_n))/dx_n}=x_n+\frac{x_n.\cos(x_n)-\sin(x_n)}{x_n.\sin(x_n)} \qquad (9)$$

ここで、$n\in[0,n_{max}]$は反復子であり、x_0は、関数sinc(x)のサイドローブ毎の平方根初期値である。

【００５０】
式(9)の実現手法によって、sinc(x)の極値が以下の点を与えられる。

【００５１】
【表２】

ｻｲﾄﾞﾛｰﾌﾞ	ﾋﾟｰｸ位置	ﾋﾟｰｸ位置（Hz）	ﾋﾟｰｸ値
主ﾛｰﾌﾞ	$x=0$	$f=0$	$\lvert\mathrm{sinc}(x)\rvert=1$
1st	$x=\pm4.4934095$	$f=\pm\frac{4.4934095}{\pi T}=71.51$	$\lvert\mathrm{sinc}(x)\rvert=0.2172336$
2nd	$x=\pm7.7252518$	$f=\pm\frac{7.7252518}{\pi T}=122.95$	$\lvert\mathrm{sinc}(x)\rvert=0.1283746$
3rd	$x=\pm10.904122$	$f=\pm\frac{10.904122}{\pi T}=173.54$	$\lvert\mathrm{sinc}(x)\rvert=0.0913252$

前述の点は、$f_s=1/T$のシャッター・スピード構成を撃破するために変調周波数f_mとして用いることが可能な周波数を規定する。図８の図に示すように、サンプリングされた変調信号のサイドローブはエイリアシングをもたらすが、それは、シャッター・スペクトル利得の減衰がサイドローブ付近で、変調信号を完全に除去する程度に十分強くないからである。この信号の一部はシャッターを通過し、人間の眼に見える周波数に対してエイリアシングをもたらすことができることになる。

【００５２】
図８は、周波数領域における４つの図を示す。第１の図は、ビデオ信号を表すベースバンド信号X(f)のスペクトルを示す。第２の図は、カムコーダによって記録された対応する信号のスペクトルを示す。第３の図は、周波数f_mの搬送波信号に対して振幅変調される信号のスペクトルX(f)を示す。生成される信号は$X_{AM}(f)$と呼ぶ。第４の図は、先行する表に表すピーク位置に変調周波数が近い場合のサンプリング変調信号のスペクトルを示す。
【００５３】
よって、本発明によれば、画素位置組を選択して複製防止パターン（例えば、警告メッセージ）を形成する。振幅変調は、先行する表中のサイドローブについて表す周波数値のうちの１つに実質的に等しいレートで、選択された画素の輝度の振幅が変調されるように前述の選択された画素に施される。よって、関数sinc(πft)の導関数がゼロである、ゼロとは異なる周波数値fのうちから変調周波数を選ぶ。ここで、τはカムコーダのシャッター積分時間である。選ばれる変調周波数はよって、関数sinc(πft)の局所的な極値である。
【００５４】
例えば、第１のサイドローブ(f=4.4934095/πT)の周波数を変調周波数として用いる場合、
PALカムコーダにおけるT=1/50のシャッター設定を撃破するためのf_m=71.51Hz、
NTSCカムコーダにおけるT=1/60のシャッター設定を撃破するためのf_m=85.82Hz、及び
更に高い値にシャッター・スピード1/Tが設定される場合のf_m=50.00Hz
の変調周波数を用いることが可能である。
【００５５】
当然、変調周波数は、前述の変調周波数fmを中心とする制限された周波数範囲において（例えば、範囲[f_m-Δ,f_m+Δ]において）選択することも可能である。ここで、Δは5Hz以上15Hz以下である。例えば、Δ=10Hzの場合、fmは、PALカムコーダにおけるT=1/50のシャッター設定を撃破するために範囲[61.51Hz,81.51Hz]において選択され、NTSCカムコーダにおけるT=1/60のシャッター設定を撃破するために[75.82Hz,95.82Hz]において選択される。
【００５６】
他のシャッター構成は通常、露光時間Tを更に低い値に設定し、２つの変調周波数の何れかを通過させることになる。
当然、第２のサイドローブ又は第３のサイドローブの周波数を変調周波数として用いることが可能である。
【００５７】
不正防止パターンの例（例えば、警告メッセージ）を図１０に示す。M(x,y,t)を警告メッセージの画素の輝度値（0又は1）とし、C1(x,y,t)、C2（x,y,t）及びC3（x,y,t）を、空間における座標(x,y)上及び時間における座標t上にある画素の３つの色成分とする。３重項｛C1,C2,C3｝は、赤色空間・緑色空間・青色空間（すなわち、C１=赤色、C2＝緑色、及びC3=青色）にあるか、又は更にHVSフレンドリーな空間（CIEのXYZやYxyなど）にあり得る。非RGB色空間を用いる利点は、線形理論に準拠した領域において処理することである。
【００５８】
赤色空間・緑色空間・青色空間における変調の場合、変調画素値｛C1',C2',C3'｝が、
【００５９】
【数１３】

$$\forall i \in [1,3] \quad C_i'(x,y,t) = \begin{cases} C_i(x,y,t).(1+\beta_i \cos(2\pi f_m t)) & \text{if} \quad M(x,y,t)=1 \\ C_i(x,y,t) & \text{if not} \end{cases}$$

として計算される。ここで、変調係数β_iは、画素値が決して飽和状態に達しないように

するよう念入りに選ばれる（例えば、輝度値が8ビットで符号化される場合、255）。

【００６０】

図１０は、本発明の方法の考えられる回路実現形態の構成図である。この方法は、より具体的には、変調器１０において実現される。変調器１０は、表示する対象の画像の画素値を受信する。信号Pも変調器に供給される。この信号は、複製防止パターンに入力画素が属するか否かを示す。

Iを、フレーム・レートがf_r（例えば、f_r=24Hz）の入力画素（すなわち、R、G、B、又はこれらの組み合わせ）の強度とし、I_1、I_2、I_3…を、フレーム・レートがf_r’の出力変調画素の強度とする。複製防止パターンの画素の輝度の振幅は、変調周波数f_mによって変調される。フレーム・レートf_r’は、変調周波数f_mの2倍以上であるように選ばれ、好ましくは、f_rの倍数であるように選ばれる（ナイキスト・シャノンのサンプリング定理の条件はビデオ・プロジェクタによって満たされるべきである）。例えば、f_r’=3f_rの場合、変調器は、画素値Iに対して３つの画素値I_1、I_2、I_3を生成する。画素値I_1、I_2、I_3は、

$In=I(1+\beta\cos(2\pi f_m n/f_r'))$　(n=1乃至3(=f_r'/f_r)の場合)

などのように定義される。

【００６１】

前述の変調画素は次いで、ビデオ・プロジェクタ２０によって表示される。

【図面の簡単な説明】

【００６２】

【図１】人間の眼のフリッカ感度を示す図である。

【図２】関数x(t)の一様なサンプリングを示す一対の図である。

【図３】時間領域及び周波数領域におけるサンプリング・プロセスを示す一対の図である。

【図４】サンプリング周波数が低いサンプリング処理を示す一対の図である。

【図５】ベースバンド信号及び振幅変調信号の周波数帯域幅を示す一対の図である。

【図６】関数sinc(πfT)の振幅を0-50Hzの周波数帯について示す図である。

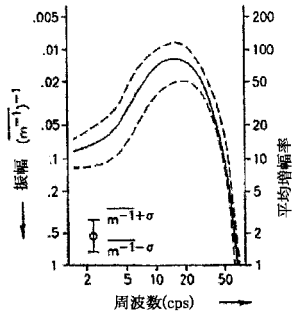
【図７】関数sinc(πfT)の振幅をフルスペクトルについて示す図である。

【図８】本発明の方法を示す４つの図である。

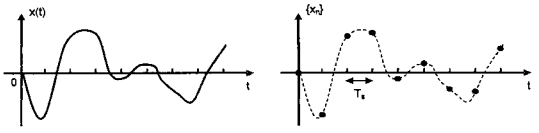
【図９】警告メッセージの例を示す図である。

【図１０】本発明の回路実現形態を示す図である。

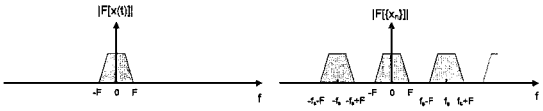
【図１】



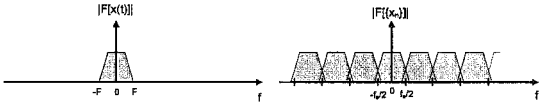
【図２】



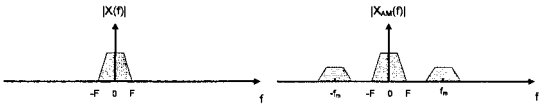
【図３】



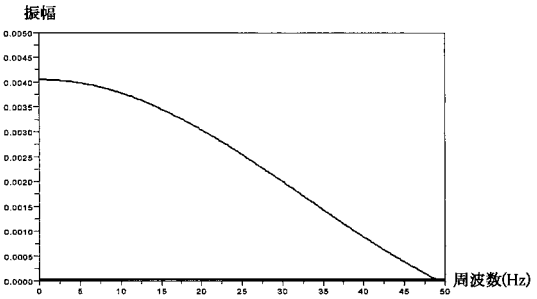
【図４】



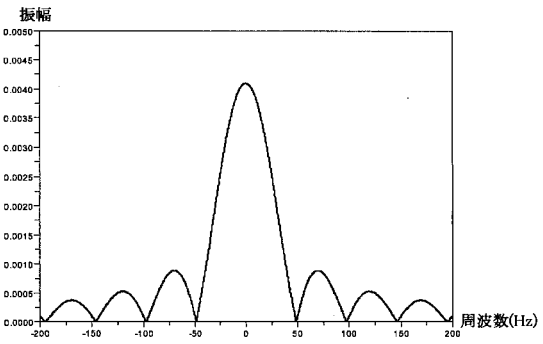
【図５】



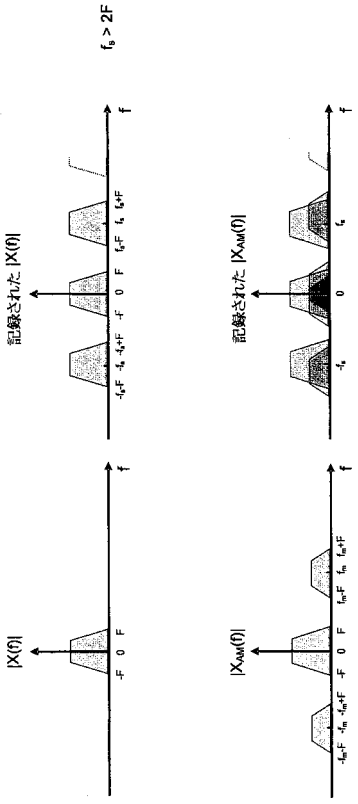
【図６】



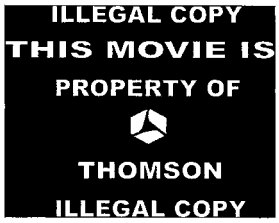
【図７】



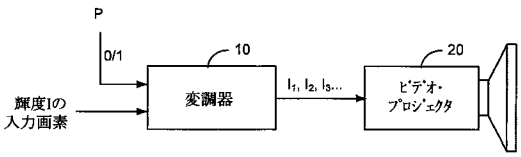
【図８】



【図９】


ILLEGAL COPY
THIS MOVIE IS
PROPERTY OF
THOMSON
ILLEGAL COPY

【図１０】


P
0/1
10
変調器
20
ビデオ・
プロジェクタ
輝度Iの
入力画素

フロントページの続き

(72)発明者　パスカル　ブルドン
フランス国，３５３４０　ル・グラン・フジェレ，リュ・デュ・ポン・サン・フレ　７４
(72)発明者　ロラン　ブロンド
フランス国，３５２３５　トリニェーフイヤール，リュ・ピエールージャケ・エリアス　３０
(72)発明者　ティエリ　ボレル
フランス国，３５５３０　ノワイヤル・シュル・ヴィレーヌ，リュ・デュ・コマンダン・デスゲ１２－２

Ｆターム(参考)　5C058 BA01 BA35 BB06 BB17
5C082 AA03 AA37 BA02 BA20 BA27 BA35 BA41 BB15 BB22 BC19
BD09 CA01 CA11 CA21 CA55 CA81 DA76 MM05 MM10