

輪郭保存に基づく電子透かしの画質向上方式

吉浦裕*, 越前功*, 安細康介*, 田口順一*, 佐々木良一*, 黒須豊**

* (株)日立製作所 システム開発研究所、** (株)日立製作所 ソフトウェア事業部

Abstract

画質劣化の防止は電子透かしの本質的な課題であり、その方法としては、画像のうち透かしの目立ちにくい場所に透かしを挿入することが有効である。しかし従来方式は、目立ちにくい場所の選定基準が不適切なため、物体の輪郭部に透かしを挿入し輪郭を崩していた。本論文では、画像の各部分において最も輝度変動の小さい方向を求め、その方向線上での輝度の分散を、当該部分における透かしの目立ちにくさの程度とする。評価実験を通じて、提案方式により物体の輪郭の崩れが防止できることを示すとともに、この方式がピクセル値変更型の電子透かしシステム一般に適用できることを明らかにする。

Improving Image Quality in Digital Watermarking base on Contour Preserving

Hiroshi Yoshiura*, Isao Echizen*, Kosuke Anzai*, Jun'ichi Taguchi*, Ryoichi Sasaki* and Yutaka Kurosu**

* Systems Development Lab., Hitachi, Ltd. ** Software Division., Hitachi, Ltd.

Abstract

Maintaining image quality is an essential requirement for digital watermarking. Previous methods for maintaining image quality, however, embedded watermarks onto contours of objects and distorted the contours because they used inadequate criteria for deciding which portions of an image is suitable for hiding watermarks. This paper proposes a new criterion that avoids distortion of object contours. Experimental evaluations have shown the effectiveness of the proposed method and also have shown that the method can be generally applied to watermark systems of the type of changing pixel intensity.

1. はじめに

デジタルコンテンツの著作権保護の技術として電子透かしが期待されている。電子透かしの方式はコンテンツの種類に依存するが、本論文では代表的なコンテンツである静止画を取り上げる。

電子透かしの保護対象となる画像は、美術画像や証拠写真などデリケートな画像なので、電子透かし挿入による画質の劣化は許されない。そこで、画質劣化の防止は電子透かしの最も重要な技術課題である。

電子透かしの画質劣化防止については従来から多くの研究があるが、以下の問題が残っている。

(1) 従来方式の多くは、「透かしの目立ちにくい部分に透かしを多く挿入し、目立ちやすい部分には少なく挿入する」という原理に基づ

くが、透かしの目立ちにくさの判断基準が不適切である。

(2) 検出方式など電子透かしの他の技術と組合せてシステム毎に提案される場合が多く、汎用性に欠ける。

本論文では、ピクセル輝度変更型の電子透かしを対象として、上記の問題への解答を提案する。以下、2章では、従来の電子透かしにおける画質劣化防止を概観する。3章では、変更許容度に基づく汎用的な画質劣化防止の方式を提案する。4章では提案方式の有効性を評価し、5章では結論を述べる。

2. 従来の電子透かしにおける画質劣化の防止

2.1 用語の定義

(1) 透かし挿入：画像に情報を挿入するために

ピクセルの輝度値を変更すること

- (2) 透かし挿入強度：透かしの挿入に伴うピクセル輝度の変更量（絶対値）
- (3) 透かしの挿入量：画像またはその一部分における全ピクセルの透かし挿入強度の和。

2. 2 従来方式の問題点

画質劣化防止の従来方式には以下の3種類がある。

- (1) 透かしを画像全体に均一に挿入することで目立たなくする[1]。
- (2) 検出しやすい場所や画像処理の影響を受けにくい場所に挿入することで、挿入量を削減し、間接的に画質劣化を防止[2-4]。
- (3) 視覚的に透かしの目立ちにくい場所に挿入[5-7]。

上記のうち(1)の均一挿入は、挿入ビット数、要求される画像処理耐性などから各ピクセルの透かしの強度は一意的に決まるので、画質劣化防止のためにこれ以上工夫する余地はない。(2)の挿入量削減は、検出方法や想定する画像処理に依存するため汎用性に乏しい。

(3)の視覚依存の挿入は、透かしの目立ちにくい場所の選定方法に関して工夫の余地がある。

また、この選択方法は、検出方法や想定する画像処理とは独立に一般化することが可能である。従って、視覚依存の挿入は画質劣化防止の最も有望な方法である。

ところが、従来の視覚依存挿入には以下の問題があった。

問題1： 物体の輪郭の崩れ

視覚依存挿入の具体的な方式としては、画像の乱雑な部分すなわちピクセル値の変動が大きい部分に透かしを挿入するものが多い。ところが、この方式は物体の輪郭という視覚的に重要な部分を崩してしまう。

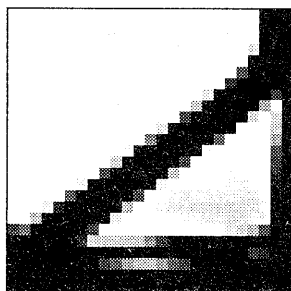
例えば、図1(a)(b)は原画の例、(c)は透かし挿入画像である。(c)の透かし挿入にあたっては、各ピクセルについて、周囲の5x5ピクセルの分散を計算し、その値が大きいピクセルほど透かしの強度を強く挿入した。ところが、図1(b)では、物体の輪郭が崩れている。これは、輪郭の外側と内側の輝度差が大きいことため透かしが目立ちにくい場所と判断し、透かしの強度を強く挿入したためである。

問題2： 汎用性の不足

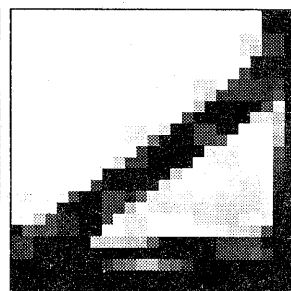
視覚依存の挿入方法は、本来は、検出方法や



(a) 原画(全体)



(b) 原画(輪郭部分)



(c) 従来方式による透かし挿入画像

図1 従来方式の問題点

画像処理とは独立に一般化できる。しかし、実際に提案された方法は、特定の検出方法と組み合わせられていたり、特定の画像処理を想定したものであり、汎用性に乏しい。

以上から、解決すべき技術課題は下記の通りである。

課題1：視覚依存の挿入において、輪郭の崩れを防止

課題2：検出方法や画像処理とは独立な汎用的な方法を確立

3. 一次元最小分散に基づく汎用的な画質劣化防止方式

3.1 課題解決の方針

- (1) 透かしの目立ちにくさを判断するための新しい基準を設ける。その基準は、輪郭部分を目立ちやすいと判断する。
- (2) 透かし挿入システムを、挿入処理と挿入制御処理から構成する(図2)。挿入制御処理は以下の性質を有する。
 - ・上記の新しい基準に基づいて透かしの目立ちにくさを判定し、挿入処理に制御情報を出力する。
 - ・この制御情報は、画像の部分毎に透かし挿入の優先度を指定する。挿入処理は、この情報を用いることで画質劣化のない透かし挿入を行う。
- (3) 上記の制御信号は、様々な挿入処理と組合せ可能な汎用的なものである。

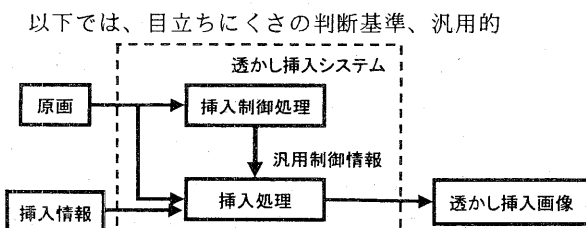


図2 提案する透かし挿入システムの構成

な制御信号、制御信号の生成方法を具体的に提案する。

3.2 一次元最小分散に基づく目立ちにくさの判断

本節では、透かしの目立ちにくさを判断するための基準を提案する

(1) 基準の満たすべき性質

画像の性質と透かしの目立ちにくさとの関係を実験的に分析した結果、以下が判明した。新しい基準は、この実験結果と整合する必要がある。

- ・前述の図1(b)のような輪郭部分では透かしは目立ちやすい。

- ・輪郭部分以外では、図3(a)のような高周波成分の少ない部分では透かしは目立ちやすく、図3(b)、(c)のように高周波成分が増加するほど透かしは目立ちにくくなる。

(2) 基準の具体例

図4のように、輪郭をまたぐ方向線上ではピク

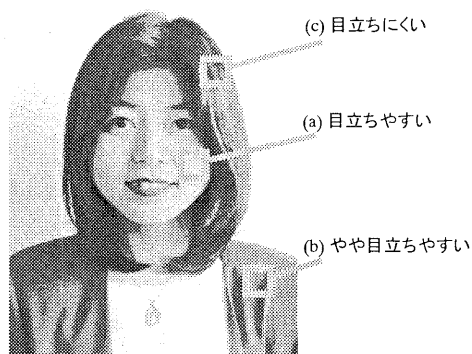


図3 透かしの目立ちにくさの例

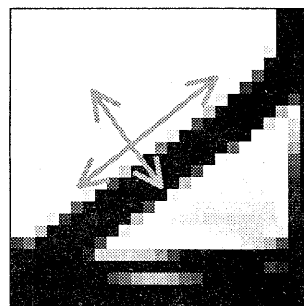


図4 方向に依存した輝度の変動

セル輝度の変動は大きい、輪郭に沿う方向線上ではピクセル輝度の変動は小さい[8]。また図3(a)のような高周波成分の少ない部分では、どの方向でもピクセル輝度の変動は小さい。一方、図3(b),(c)のような高周波成分の多い部分では、どの方向でもピクセル輝度の変動は大きい。

以上から、画像の部分における透かしの目立ちやすさの基準として、

「各方向線上のピクセル輝度の分散を計算したときの最小値：

$\text{MIN}(A(\theta))$ where $A(\theta)$ =傾き θ の方向線上のピクセル輝度の分散」

を用いる。この値を一次元最小分散と呼ぶことにする。一次元最小分散が大きいほど透かしが目立ちにくいと判断する。

この基準によれば、輪郭部分では一次元最小分散は小さい値となるので透かしが目立ちやすいと判断する。高周波成分の少ない部分では一次元最小分散は小さいので透かしが目立ちやすいと判断し、高周波成分が多くなるほど目立ちにくいと判断する。従って、基準は妥当と考える。

3.3 汎用制御情報

一般にピクセル輝度変更型の電子透かしでは、1または複数のピクセルから成るブロックに画像を分割し、ブロック単位で輝度を変更する。ブロックの輝度変更は、そこに含まれるピクセルの輝度変更により実現される。従って、画質劣化防止のための制御情報として下記の二種類を設ければ汎用的に利用できる。

(1) ブロックの変更許容度

ブロックに変更を加えた時の目立ちにくさの程度。例えば、ブロックB1の変更許容度がブロックB2の変更許容度より大きいとは、B2に変更を加えるよりもB1に変更を加える方が目立ちにくいことを示す。

(2) ピクセルの変更許容度

ピクセルに変更を加えた時の目立ちにくさの程度。

3.4 汎用制御情報の生成方法

ピクセルの変更許容度、ブロックの変更許容度の順に述べる。

(1) ピクセルの変更許容度

当該ピクセルにおける一次元最小分散をピクセルの変更許容度とする。すなわち、当該ピクセルを中心とする各方向線上の輝度の分散を求め、その最小値をピクセルの変更許容度とする。

(2) ブロックの変更許容度

ブロックに含まれるピクセルを $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ とする。ピクセル p_i の変更許容度を $f(p_i)$ とすると、ブロックの変更許容度は $g(f(p_1), f(p_2), \dots, f(p_n))$ で与えられる。 g の数学的な性質としては、様々なものが挙げられる。例えば、単調性 ($\partial g(x_1, x_2, \dots, x_n) / \partial x_i > 0$ for arbitrary x_i) がある。しかし、これらの性質は g の満たすべき必要条件であって十分条件ではない。従って、 g の決定には、候補となる関数が透かしの目立ちにくさの実験データに沿っているかを確認する必要がある。ここでは、 g の候補として平均演算すなわち $g(x_1, x_2, \dots, x_n) = (x_1 + x_2 + \dots + x_n) / n$ を取り上げ、その妥当性は実験により示すことにした。

4. 評価

4.1 画質劣化防止の効果

(1) 輪郭の崩れの防止

図5は、提案方式での透かし挿入画像を示す。すなわち、画像を 2×2 ピクセルのブロックに分割し、3.3節で述べたブロックの変更許容度に基づいてブロック毎の透かし挿入量を決定し、さらに、ピクセルの変更許容度に基づいてブロック内のピクセルの透かし強度を決定した。画像全体の透かし挿入量は図2(c)と同じである

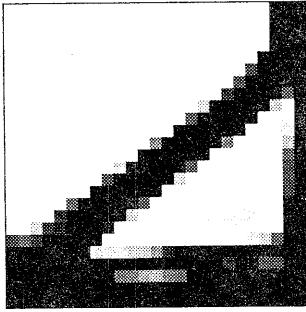


図5 提案方式による透かし挿入画像

が、各ピクセルの透かし強度は異なっている。結果として、窓枠のくずれが解消している。

(2) 画質劣化防止の全般的な効果（[9]で報告済だが簡単に繰り返す）

図6は、画像の10%のピクセルに透かしを挿入する方式において、ピクセルの選択及び各ピクセルの透かし強度をランダムに決定した場合と、提案方式に基づいて決定した場合を比較したものである。透かし挿入量と画質劣化の関係を、ランダム方式と提案方式の各々について主観評価で求めた。その結

果、同等の透かし挿入量では、ランダム方式よりも提案方式の画質劣化が小さいことが明らかになった。

4.2 汎用性

提案方式を用いて、性質の異なる二つの電子透かしシステムを開発した。その開発において、ブロック及びピクセルの変更許容度を利用することで、高画質の電子透かしを実現することができた。これらのシステムの概要を下記に述べる。なお、これらはプロトタイプであり、実用システム[10]とは異なる。

(1) 検出に原画を用いるシステム

- ・仕様：256x256ピクセルの画像に著作権者IDと購入者IDを挿入。誤り率は $1.0E-8$
- ・挿入：原画をブロックに分割。ビット毎に複数のブロックを対応付け、ビット値が1ならば

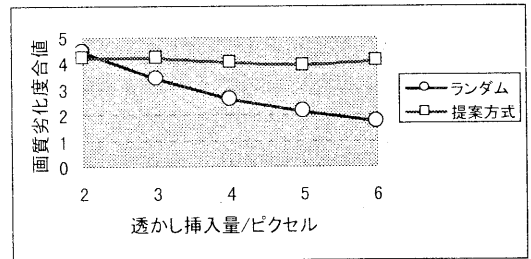


図6 透かし挿入量と画質劣化の関係

対応するブロック集合の輝度を増加、0ならば減少。

- ・検出：ブロックの輝度を原画と比較し、多数決によりビットの値を決定
- ・提案方式の利用：輝度を増減するブロックを、画像内の全ブロックから選択するときに、変更許容度の大きいものを優先。また、ブロック内のピクセルの輝度変更は、ピクセルの変更許容度に依存。
- ・結果：画質については、原画と透かし挿入画像をモニター上に並べて表示し、透かし挿入個所を教えても相違が判別できない。画像処理耐性については、1/30までのJPEG圧縮、任意角度の回転、1/2から2倍までの拡大/縮小、それらの組み合わせ、および各種画像フィルタに耐える。

(2) 検出に原画を用いないシステム

- ・仕様：256x256ピクセルの画像に著作権者IDと購入者IDを挿入。検出誤り率 $1.0E-6$
- ・挿入：原画を分割し1領域で1ビットを表現。各々の領域に疑似ランダムノイズ(PN)を重畳。
- ・検出：原画の各領域において既知のPNとの相関を検出することで、ビットの値を決定。
- ・提案方式の利用：1つのPNにおける輝度変更の総量は検出誤り率から決まる。この総量を、ピクセルに割り振るときに、変更許容度の大きいピクセルを優先的する。
- ・結果：画質については、原画と透かし挿入画像を並べて透かし挿入個所を教えれば判別で

きるが、教えなければ殆ど判別できない。原画がなければ透かしは判別できない。耐性については、上記(1)の原画を用いるシステムとほぼ同等。

5. 結論

画質劣化の防止は電子透かしの最も重要な技術課題であるが、従来の画質劣化防止の方式には以下の問題があった。

- (1) 透かし挿入により物体の輪郭が崩れる。
- (2) 特定のアプリケーションでのみ有効であり、汎用性に欠ける。

この問題を解決するために、本論文では以下の方式を提案し、実験評価を通じてその有効性を明らかにした。

- (1) 一次元最小分散に基づいて透かし挿入量を制御することで輪郭の崩れを防止する。
- (2) 透かしの挿入を、画像の輝度値を変更する処理と、これを制御する処理から構成する。画質劣化防止の機能を制御処理に集約し、これを一般化することで、汎用性な画質劣化防止の方式を確立する。

なお、提案方式は動画用の電子透かしにも適用可能である[11,12]。

参考文献

- [1] 大西ほか, 多重解像度解析とPN系列を利用した電子透かし法, 信学論, Vol.J80-D-II, No.11, 1997.
- [2] 清水ほか, ピクセルブロックによる静止画像データハイディング, 第53回情処全国大会, 1996.
- [3] 酒井ほか, 周波数変換に基づいた電子透かし技術の画質評価に関して, 信学技報, ISEC 97-22, 1997.
- [4] 小林ほか, 近傍ピクセルの性質を用いたデータハイディング, 第56回情処全国大

会, 1998.

- [5] M.Swanson, et al., Multimedia Data-Embedding and Watermarking Technologies, Proc.of THE IEEE, Vol.86, No.6, 1998.
- [6] 酒井ほか, 著作権保護のためのウェーブレット変換を用いた電子透かし方式の安全評価, 情処学論, Vol.38, No.12, 1997.
- [7] 高橋, 「電子透かし」がマルチメディア時代を守る, 日経エレクトロニクス, 2-24, No.683, 1996.
- [8] 木戸ほか, 方向依存型フィルターを用いたMRI画像の画質改善, 信学論, Vol.J79-D-II, No.8, 1996.
- [9] 越前ほか, エッジ保存型電子透かし方式, 情処コンピュータセキュリティシンポジウム'98, 1998.
- [10] 吉浦ほか, 電子透かしとその応用, 日立評論, Vol.80, No.7, 1998.
- [11] H.Yoshiura, et al., VSP: A Digital Watermark Method for Motion Picture Copyright Protection, Proc. 1998 IEEE International Conference on Consumer Electronics, 1998.
- [12] H.Yoshiura, et al., General Quality Maintenance Module for Motion Picture Watermarking, to appear in Proc. 1999 IEEE International Conference on Consumer Electronics, 1998-6.