

特徴量比較による自然画像の著作権保護方式

長田 礼子 青木 輝勝 安田 浩

東京大学大学院工学系研究科

〒153-8904 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学 先端研

Tel : 03-5452-5277 Fax : 03-5452-5278

E-mail: osada@mpeg.rcast.u-tokyo.ac.jp

あらまし デジタルコンテンツの不正コピーにより、著作権保護が重要な問題になっている。デジタル画像コンテンツ著作権保護技術として、これまで電子透かし技術が盛んに研究されてきた。しかし、電子透かしは、ぼかしなどの改竄に非常に弱い。本論文では、編集処理に強いベクトル符号化を用い、特徴量を抽出し比較する著作権保護技術を提案する

キーワード：デジタルコンテンツ / 著作権保護 / 電子透かし / ベクトル符号化 / 特徴量

A Copyright Protection for Natural Image using Comparison of Characteristics

Reiko Osada Terumasa Aoki Hiroshi Yasuda

Graduate School of Engineering, University of Tokyo
4-6-1 komaba, Meguro-ku, Tokyo 153-8904, Japan

Tel : +81-3-5452-5277 Fax : +81-3-5452-5278

E-mail: osada@mpeg.rcast.u-tokyo.ac.jp

ABSTRACT The copyright protection of digital contents is one of the difficult problems because of easy illegal copy. Watermarking protection has been widely studied as a copyright protection technology for image contents. But it is not enough strong to alteration like shading.

In this paper, we propose a new copyright protection technology for digital natural image using vector coding that has robustness to editing. In this system, the characteristics of a image are extracted and compared with its target image's one.

Keywords: digital contents / copyright protection / watermarking / vector coding / characteristics

1. はじめに

近年、映像や音声のデジタル化が進み、インターネットを通じてこれらのコンテンツが流通するようになった。デジタルコンテンツは不正コピーが簡単に可能で、しかもオリジナルとコピーを区別できない。また、改竄された情報についても改竄されたという事実自体を検出することは極めて困難、または不可能である。このため、安全な情報化社会を実現するにあたり、デジタルコンテンツの著作権保護は最も大きな問題の一つである。著作権者が安心できる環境が整備されれば、大量の優良なコンテンツが比較的安価に流通する市場が生まれ、情報・通信・流通産業分野の活性化そして、芸術・文化の質向上が見込まれる。

本論文では、デジタル画像コンテンツの著作権保護技術として、編集処理に強いベクトル符号化を用い、特徴量比較による著作権保護技術を提案する。

2. 著作権保護に関する従来研究とその問題点

現在最も広く研究開発されているデジタルコンテンツ著作権保護技術として、画像に情報を埋め込む「電子透かし技術」がある[1]～[4]。しかし、電子透かしではコンテンツを構成している基本要素、例えば画素単位に透かし情報を埋め込むため、どうしても原画像を劣化させてしまう。また、透かし情報は欠落しないまま永久に保存される必要がある。しかし実際は、ぼかし、切り取り、スケールリング、回転、ファイルフォーマット変換、圧縮、雑音付加等による改竄、変更等で透かし情報が変質もしくは消滅してしまうといったことが問題となっている。

そこで本稿では、画像の特徴量を抽出し著作権登録する手法を検討した。本手法では自然画をベクトル符号化（関数符号化）し、デジタルコンテンツに対する改竄処理に強い著作権保護の実現を目指した。ベクトル符号化することで、拡大縮小に耐性

があり、編集処理を繰り返しても劣化のない、情報流通に適したデータとして扱うことができる[5]。

しかし、自然画像のように色のばらつきの多い画像へのベクトル符号化の適用は単純な画像への適用とは逆に、かえってデータ量が膨大になり実用的ではない。画像の輪郭線集合を関数表現するベクトル符号化方式は文字や地図等の特定の画像に用いられ、この場合は情報圧縮の役割もしている。しかし、自然画像のように色のばらつきの多い画像へのベクトル符号化の適用は単純な画像への適用とは逆に、かえってデータ量が膨大になるため用いられてこなかった。本稿ではこのような背景のもと、自然画像にベクトル符号化を用いるために、新たに符号量圧縮ベクトル符号化技術を開発して用いた。

以上で述べたように、「電子透かし技術」では埋め込む透かし情報を登録しているのに対し、本方式は画像そのものの特徴を登録する点が異なり、元画像を損なうことがない。また、画素レベルではなく、関数レベルで画像を扱い、特徴量も関数で表現するため、変形・改竄に強い方式であるといえる。

本稿では、3.で特徴量を著作権登録情報とする本システムの概要について記述する。3.では、自然画にベクトル符号化を用いるためのデータ量圧縮アルゴリズムを述べた後、何を特徴量として抽出するかを原画像と改竄画像との比較により説明する。次に4.では、本提案手法が実際に変形・改竄に耐性があるか、また従来の電子透かし技術と比較評価し、その結果を考察する。最後に5.で本論文のまとめと今後の課題を整理する。

3. 特徴量比較による著作権保護方式の概要

本方式は以下の4つの機能で構成される。

1. 画像の境界輪郭線の抽出
2. 境界輪郭線の関数符号化
3. 著作権登録データの生成
4. 証明強度判定

以下、上記の機能について記述する。

3.1 画像の境界線の抽出

まず、自然画像の表色系を RGB から YCrCb に変換する。YCrCb に変換した画像を輝度値境界輪郭線で表し、輝度値を高さ方向とした等高線モデルとしてとらえ輝度値毎の境界輪郭線を作成する。

多値画像において、しきい値を 0 から最高画素値 (=255) まで変えていくと 256 枚の 2 値画像群が得られる。画像の境界輪郭線とは、上記の 2 値画像群において、「1」となる画素群を囲む巾を持たない線図形のことで、図形的には垂直水平線のみからなる閉多角形のことである。

この線図形の頂点を辿る向きによって領域の「ヌリ」と「ヌキ」を定める。「1」である領域を右に見る方向にたどるとき、これの囲む領域を「ヌリ」とし(図1灰色の部分)、逆のときこれの囲む領域(「0」の領域)を「ヌキ」(図1白抜きの部分)とする。

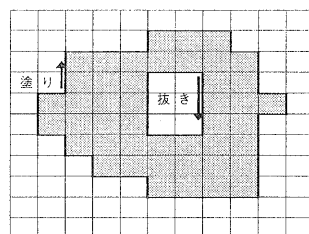
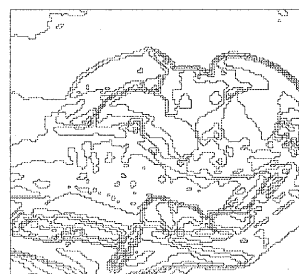
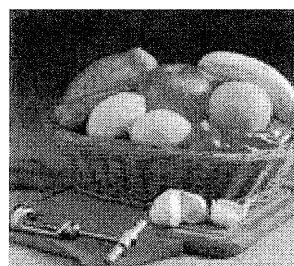


図1 境界輪郭線の塗り／抜きの関係

また、0 から 255 までの輝度で抽出した輪郭線をすべて重ね合わせると、図2下図(上図は元画)に見られるように地図の等高線のようになることが分かる。



(注:見やすくするため、いくつかの輪郭線を間引いている)

図2 重ね合わされた輪郭線

一般的な地図には山頂や谷底などの特徴的な形状が存在しているが、この地図にも同様の形状が存在し、それらは、その画像における特徴点となりうる。そこで、それらの特徴点を列挙するため、重ね合わせた輪郭線の包含関係をそれぞれの輪郭線に定義することにする。(以降、包含関係が定義された輪郭線群を構造化境界輪郭線と呼ぶ)

一旦、構造化境界輪郭線に変換すれば、特徴点(山頂、谷底)を列挙するということは、「内側に輪郭線を持っていない輪郭線を列挙する」という問題に置き換えることができるため、非常に容易なプログラムで特徴点を得ることができる[6]。

3.2 境界輪郭線のベクトル符号化圧縮

構造化境界輪郭線化された画像は、そのままではデータ量が膨大であるため、圧縮が必要である。

提案する圧縮符号化の流れを図3に示す。図3(a)の概念図において、

- ① 原画像の輝度を山の高さに例えて等高線モデルとする
- ② 低周波数成分、高周波数成分に分ける
- ③ 構造化境界輪郭線データについて、各輝度毎の輪郭線の包含関係から「山」単位に領域分割し、関数表現する
- ④ 低・高周波数成分双方の関数をまとめる

という工程で圧縮されたベクトル符号化データが得られる。②で先に周波数分割して別々に処理するのは、滑らかに変化する低周波数成分と、ランダムで一部雑音を含んだ高周波数成分では性質が異なるためである。この結果、輝度値境界輪郭線の抽出後、効率よく領域分割ができる。

一般に、低周波数成分を輝度値境界輪郭線で表し、輝度値を高とした3次元の等高線モデルとして扱うと、図4のように滑らかな変化が見られる。そこで、一つの山のTop境界輪郭線とBottom境界輪郭線を抽出する。得られたTopおよびBottom輪郭線について関数化を行う。受信側では、これらのTop/Bottom境界輪郭線からその間の境界輪郭線を、予測補間して復元することにより復号化を行う。

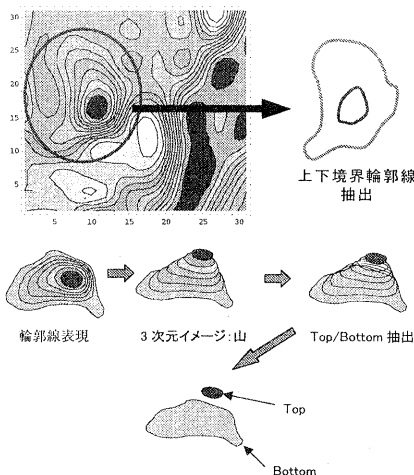


図4 境界輪郭線の省略

3.3 著作権登録データの生成

1) 特徴量の抽出

画像の低周波成分を輪郭線化した場合、それは何らかの形で画像の特徴を現していると考えられる。例として図5に、標準画像「果物かご」(R画像、輝度値:128)における輪郭図形を示す。

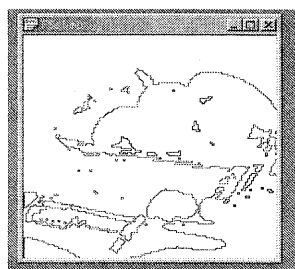
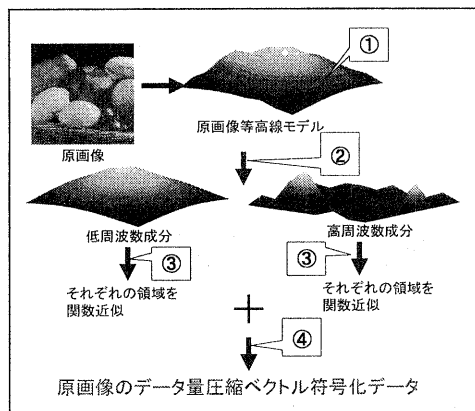
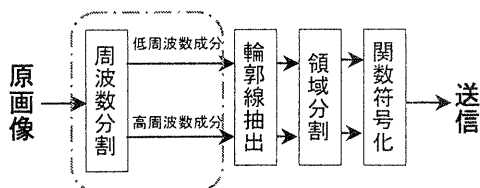


図5 低周波画像の輪郭線例



(a) 概念図



(b) フローチャート

図3 提案する符号化の流れ

本提案手法では、この低周波輪郭線を利用して3.2で得られたベクトル符号化圧縮された「山」のデータについて体積の大きい順にソートを行い、n番目までの「山」を取り出した後、下記の3つについて特徴点として登録を行う(図5)。

- 輝度断面: 山の体積上位2番目までのTop重心におけるxおよびy輝度断面
- 特徴点: 山の体積上位10番目までのTop重心座標における(5×5)範囲の極所領域輝度値
- 枝構造: 山の体積上位10番目までのTopの重心座標、輝度値とBottomの重心座標、輝度値を結ぶ3次元線分(=枝)

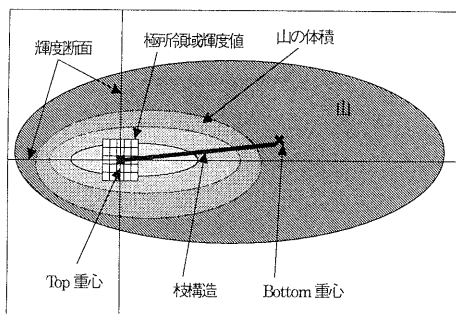


図5 登録される画像の特徴概略図

2) 特徴量の検討

改竄例として、図6に原画像の構造が分かる程度の、ぼかし(ガウス半径2pixels)、変形(画像中心を軸とした100°回転)、そして、モザイク(4pixels)を施した場合におけるR成分の画像の中央を水平に切った時の輝度断面を比較した結果を表す。▲の点を結んだ曲線が原画像のもので、■が改竄画像のものである。いずれも原画像と比較して、ある程度類似しているといえる。

本手法では、1)におけるように輝度断面について「山」の体積上位2位までの山のTop重心点で輝度断面値を取得するようにしており、その意味で画像の特徴をよりの確に表しているといえる。

3.4 証明強度判定方法

原画像と比較対象画像から抽出され登録された特徴について、次の方法により各特徴を比較し、類似度の判定を行う。

1) 輝度断面

2つの画像(A,Bとする)の山の体積順上位2個

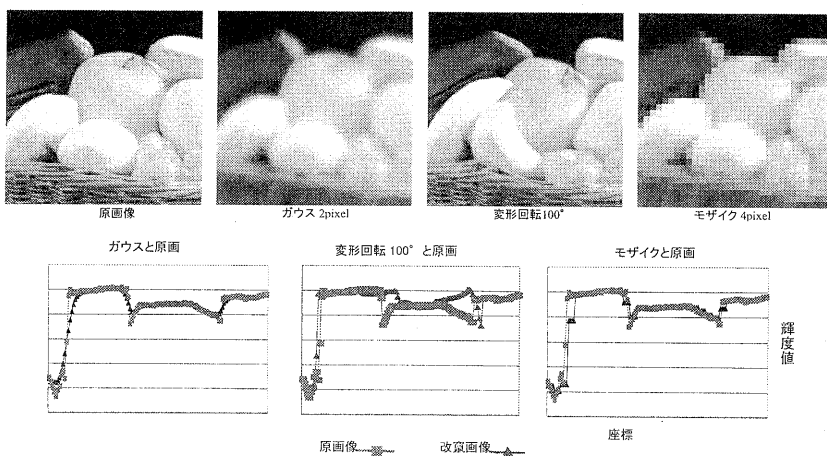


図6 原画像と改竄画像の輝度断面の比較

の輝度断面データについて、それぞれA,Bの縦断面(X座標固定)、横断面(Y座標固定)データについて相関値を求める。これを、Y,Cr,Cbについて行い、得られた相関値の最大値を枝構造データの類似度とする。

2) 枝構造

2つの画像(A,Bとする)における山の体積順上位10個の枝構造データ(それぞれ、座標A1~A10,B1~B10とする)において、 A_i ($i=1\sim 10$)に最も「近い」点をB1~B10から、枝同士の距離計算(A_i のTop重心と B_j のTop重心、および A_i のBottom重心と B_j のBottom重心の距離の和)の距離計算で求める。

距離の近い順にソートを行い、上位5つの枝の距離を計算して、その5つの平均値をA,B2つの画像間の相関値とする。上記計算をY,Cr,Cbについて行い、得られた相関値の最大値を枝構造データの類似度とする。

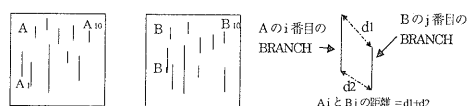


図7 上位10本の枝と枝間の距離計算方法

3) 特徴点

2つの画像(A,Bとする)の山の体積順上位10個の特徴点(それぞれ、座標A1~A10,B1~B10とする)において、 A_i ($i=1\sim 10$)に最も「近い」点をB1~B10から、特徴点同士の座標の距離計算で求める。A1に最も近い距離の B_i (今B2とする)が得られたとすると、これA1からA10まで繰り返し処理を行う。

得られたABの10組のペアについて、

(a) A,B座標の相関値を求める

(b) A, B の局所領域輝度値での相関値を求める
(a)と(b)の相関値を掛け合わせ、これを特徴点の相関値とする。

上記の計算を Y, Cr, Cb について行い、得られた相関値の最大値を特徴点の類似度とする。

4. 証明強度判定の評価と考察

今回提案する輝度断面、枝構造、特徴点の3種の類似度は一画像につき、YCrCbの3輝度で計9個の値が得られる。ここでは「疑わしきは罰す」という考えで、得られた9個のうちの最大値を本手法の総合判定値として判定結果を出す。オリジナル画像に対して、判定基準の評価対象とする変形は、ぼかし、波紋変形、ノイズ付加、色相変換の4種類である。また、参考のため別画像（トランペット、猫）との判定値も求める（図8）。ここで使用する変形画像は利用者が目視により変形したと判断する画像を対象とする。

この結果より、目視で分かる程度の変形はいずれの場合も本手法では非常に高い値が得られ、変形を指摘できることが分かる。なお、別画像は全て0.80以下である。

次に、電子透かしとの性能比較を行う。まず、原画像に Digimarc 社の電子透かしを耐性が一番高いレベルで埋め込む（このとき画質はかなり劣化する）。次に、この画像に埋め込まれた電子透かしが耐えられない度合いまで変形を施し、本手法で原画像と判定できるかどうかを評価する。ここで対象とした変形画像は図9に、本システムにより得られた総合値を表2に示す。ただし、電子透かしは色彩変換には非常に耐性があるため、表の色彩変換の欄は本システムでは耐性があるかどうかを評価するために行ったものである。

表2での総合値はいずれも非常に高い値を示しており、本稿で提案する特徴量比較型方式では、従来の電子透かしでは守れなかった変形・改竄にも耐性があることが分かる。

5. おわりに

本稿では自然画像デジタルコンテンツをベクトル符号化により関数表現し、特徴量を抽出し登録することで著作権を保護する方式を提案した。

表1 判定基準の評価

画像 (pixels)	変形画像	総合値	トラン ペット	猫
ポートレ ート (512x512)	ぼかし	1.00	0.24	0.67
	波紋変形	1.00		
	ノイズ付加	1.00		
	色相変換	1.00		
カフエテ リア (512x512)	ぼかし	0.90	0.37	0.52
	波紋変形	0.89		
	ノイズ付加	1.00		
	色相変換	0.95		
果物かご (512x512)	ぼかし	1.00	0.50	0.76
	波紋変形	1.00		
	ノイズ付加	1.00		
	色相変換	0.98		

このとき抽出する著作権登録としての特徴量データは原画像の特徴を端的に表しているものが望ましい。本手法では、原画像と変形・改竄画像の構造化境界輪郭線データから得られる「山」データから、特徴的輝度断面、枝構造、特徴点の3つの特徴量を抽出し、それを各々比較し総合的に判定する方式とした。

その結果、目立った変形・改竄に耐性があることが分かった。また、電子透かしが保護できない変形・改竄にも耐性があるという結果が得られた。

今回は「疑わしきは罰す」という考えの下で、総合判定結果に、1画像毎に9個得られる類似度の値から最大値を選んで総合値とした。他にも判定要求として、「怪しいが異なる」、「絶対に同じ」などといった判定を行いたい場合、これら9個の値をどう処理するかで、柔軟に対応ができる。

これまで研究されてきた電子透かし技術だけではなく、本研究のような特徴量登録という方式を検討することにより、画像デジタルコンテンツ著作権保護に大いに役立つと考えられる。

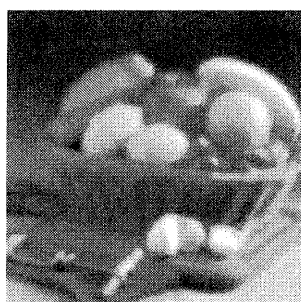
謝辞：本研究に際して、大日本スクリーン（株）の茶谷博美氏、藤本博己氏、中井一博氏、沼田秀穂氏、池田佳代氏、そして日本大学の鈴木理教授にご協力頂きましたことを深く感謝いたします。

参考文献

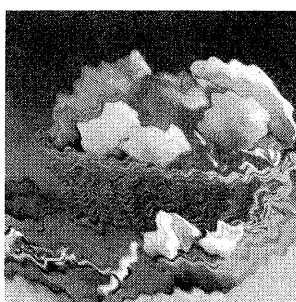
- [1] 井上彰、斎藤直哉，“デジタルコンテンツのノン・パッケージ流通と著作権の保護,” 電子化知的財産・社会基盤 2-13, pp.89-95, (1998.9.19).
- [2] “「電子透かし」がマルチメディア時代を守る,” 日経エレクトロニクス (no.683), pp.99-124, (1997.2.24).
- [3] 松井甲子雄, “電子透かし技術とその評価基準について,” 電子化知的財産・社会基盤 2-14, pp.97-104, (1998.9.19).
- [4] M. D. SWANSON, M. KOBAYASHI and A. H. TEWFIK, “Multimedia Data-Embedding and Watermarking Technologies,” PROCEEDING OF THE IEEE, VOL. 86, NO. 6, JUNE 1998.
- [5] 森浩一, 和田耕一, 寅市和男, “関数化図形表現を用いた紙文書のデジタル化,” 情報学基礎 55-3, デジタル・ドキュメント 19-3 (1999.7.16)
- [6] 浅野哲夫, 木村宗市, 嶋津茂昭 “画像の等高線表現とその応用” 情報処理学論文誌 (Vol 39 No.12 Dec.1998)

表2 電子透かしとの性能比較

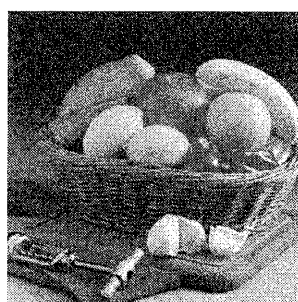
画像	変形画像	総合値
ポートレート (256x256)	ぼかし	1.00
	波紋変形	1.00
	ノイズ付加	0.98
	色相変換	0.99
果物かご (256x256)	ぼかし	0.98
	波紋変形	0.99
	ノイズ付加	0.98
	色相変換	0.89



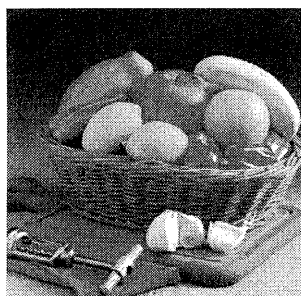
ぼかし画像



波紋変形画像



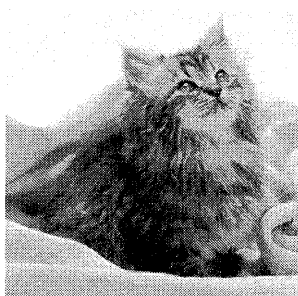
ノイズ付加画像



色相変換画像



トランペット



猫

図 8 判定基準の評価で用いた画像

電子透かしで保護できない変形・改竄度合い



ぼかし画像



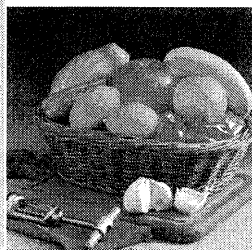
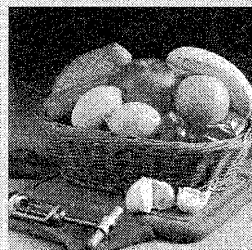
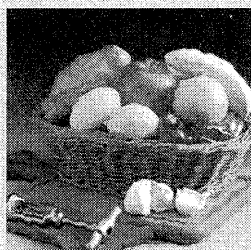
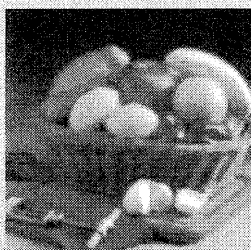
波紋変形画像



ノイズ付加画



色相変換画像



(上段) ポートレート、(下段) 果物かご

図 9 電子透かしとの比較で用いた画像