

ブロックの分散・平均値を用いた画像電子透かし

A Watermarking Algorithm for Images Using Block Variances and Averages

桃井秀人† 中村栄治†† 沢田克敏††
Hideto MOMOI, Eiji NAKAMURA, Katsutoshi SAWADA

Abstract This paper presents a watermarking algorithm using statistics of image blocks such as their pixel value variances and averages, and demonstrates its performance via simulation experiment results. This algorithm utilizes human vision characteristics such that subjective image quality degradation is little in edge and texture portions, and embeds watermark information in a way that blocks with higher variance have priorities for their watermark information embedding. Furthermore, in the algorithm, pixel values are quantized beforehand by selecting an appropriate number of blocks in order to enhance its robustness against attacks trying to erase the watermarked information. The simulation experiment results show that the algorithm can enhance its robustness against quantization attacks while suppress image quality degradation.

1. はじめに

近年、インターネットの急速な普及拡大により、文書、音声、画像といった様々な情報がデジタル化され、それらデジタルコンテンツを配布するコンテンツビジネスが普及してきた。しかし、デジタルコンテンツはコンピュータ上で編集や複製、配布といった作業が容易に行えることから、違法であるにもかかわらず、無断で複製し配布するといった著作権の問題が生じている。日本で問題となったファイル交換ソフトのWinMXやWinnyはその典型であり、コンテンツビジネスにとって大きな脅威となっている。このような著作権問題を抑制する対策の一つとして、電子透かしが注目されている。

電子透かし技術とは、人間の知覚（視覚・聴覚）の特性を利用し、静止画、動画像、オーディオ等のデジタルコンテンツに対して、コンテンツ自体とは別の情報を、人間に知覚できないように埋め込む技術である。例えば、デジタルコンテンツの中に著作権固有の識別信号を埋め込むことで、不正コピー者に無言の圧力を与え、あるいは著作権侵害に対する検証の道具として用いることができる。

本研究では、静止画像の著作権保護を目的とした電子透かしを対象とした。その電子透かしに求められる要件として(1)「透かし情報の埋め込みによってコンテンツの品質が大きく

劣化しないこと」(2)「透かし情報を改ざんまたは消しようとする攻撃に対して強いこと」などが上げられる。これらの要件を満たす電子透かしの開発を目的として、「エッジ部など画素値変化の著しい部分では画質劣化を検知しにくい」という人間の視覚特性を利用し、分散値の高いブロックから順に透かし情報を埋め込む方式を提案する。この方式は、劣化が目立たない部分から優先的に透かし情報が埋め込まれるため画質劣化を軽減することができる。

以下、2章では「ブロックの分散・平均値を用いた画像電子透かし」を提案し処理アルゴリズムを述べる。3章ではシミュレーション実験によりその特性を検討する。最後に4章では本稿のむすびを述べる。

2. ブロックの分散・平均値を用いた画像電子透かし

2・1 概要

人間には、「画像のエッジ部分などのように輝度変化の著しいところでは、画素値を変更しても画質劣化を検知しにくい」という視覚特性がある。この性質を利用して、分散値の高いブロックから順に透かし情報を埋め込む。これにより、劣化が目立ちにくい部分から優先的に埋め込まれるため、埋め込みによる画質劣化を軽減することができる。

本方式の構成は、埋込み位置の探索、埋込み処理、攻撃耐性向上のための量子化、の3つの部分からなる。

† 愛知工業大学大学院 電気電子工学専攻 (豊田市)

†† 愛知工業大学 工学部 情報通信工学専攻 (豊田市)

2・2 埋込み位置の探索

輝度変化の著しい部分を探すためにブロック内の分散値を用いる。分散とは、それぞれのデータの平均値からの距離を 2 乗した値の平均であり、画素値の散らばり具合を見る目安となる。そのため、分散値の高いブロックが輝度変化の著しいブロックであると言える。

本方式では、まず原画像を複数画素から成るブロックに分割する。各ブロックの分散値を求め、分散値の最も高いブロックから順番に透かし情報を埋め込んでいく。これにより、視覚特性上、画質劣化を検知しにくい部分から透かし情報が埋め込まれていくことになる。

2・3 埋込み処理

埋込み位置の探索で特定したブロックに対し、透かし情報の 1/0 をブロック内の平均値の偶/奇に対応させることで埋め込む。図 2.1 に透かしビットの埋め込み処理の例を示す。平均値を操作する際、ブロック内の全画素を均一に増減させることで、分散値を維持したまま平均値を操作できる。同図では、透かしビット“1”を平均値の偶数に、透かしビット“0”を平均値の奇数に対応させている。分散値を維持する必要があるのは、分散値が透かし情報の埋込み位置と順番を表しているため、その値が変化してしまうと透かし情報を正しく取り出せなくなるからである。

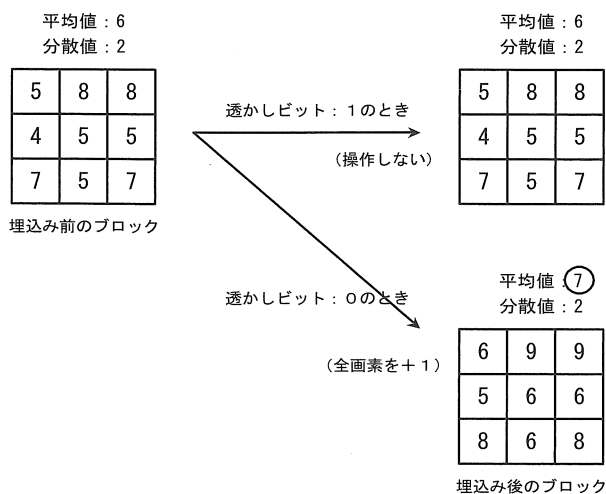


図 2.1 透かしビットの埋め込み処理

2・4 攻撃耐性向上のための量子化

透かし情報を消去しようとする攻撃に対して耐性を持たせるために予め画像値を量子化する。これは量子化によって隣接画素値間隔を拡げることで、攻撃されたときに分散値が変化しにくくするためである。この量子化を施す範囲は、分散値の上位 n 番目までのブロックの画素値とする。ここで n は埋め込む透かし情報のビット数以上の数として設定する。画像の全ブロックを量子化する場合が耐性は最も強くなるが、

画質劣化が大きくなってしまいうため、埋め込む情報量にあわせて量子化する範囲 (m) を適切に設定する。

2・5 埋込み/抽出アルゴリズム

(1) 埋込みアルゴリズム

- ① 原画像をステップサイズ s で量子化 (画素値 $\div s$ 、四捨五入) する。
- ② その量子化画像を $m \times m$ 画素のブロックに分割し、各ブロックの分散値を求める。
- ④ 分散値の一番高いブロックから順に透かし情報を埋め込む。具体的には、ブロック平均値の偶/奇を透かし情報の 1/0 に対応させるように必要に応じてブロック内の全画素を $+1$ または -1 だけ変化させる。このときブロックの分散値は維持される。
- ④ 埋込み済み量子化画像を逆量子化 (画素値 $\times s$) する。
- ⑤ 分散値の上位から $n+1$ 番目以後のブロックの画素値を量子化前の原画像の画素値に戻す。ここで n は透かし情報のビット数以上の数として設定する。

(2) 抽出アルゴリズム

- ① 埋込み済み画像をステップサイズ s で量子化する。
- ② その量子化画像を $m \times m$ 画素のブロックに分割し、各ブロックの分散値を求める。
- ③ 分散値の一番高いブロックから順に、平均値の偶/奇を判別し、透かし情報の 1/0 を抽出する。

3. シミュレーション実験

提案方式の特性 (埋込み後の画像品質、攻撃耐性) を明らかにするため、計算機によるシミュレーション実験を行った。

3・1 実験条件

- ・評価画像：Lenna (512×512[pixel], 8[bit/pixel], 図 3.1 参照)
- ・透かし情報：sample50 (50×50[pixel], 1[bit/pixel], 図 3.2 参照)
- ・ブロックサイズ：3×3[pixel]
- ・埋込み量子化ステップサイズ： $s=2, 4, 6, 8, 10$
- ・量子化する範囲：①全ブロック
 - ② $n=2500$ (透かし情報量 [2500bit] と同数)
 - ③ $n=3000$ (透かし情報量+500)
 - ④ $n=4000$ (透かし情報量+1500)

・攻撃方法：量子化

・攻撃量子化ステップサイズ： $s'=2, 3, \dots, 8, 9$

攻撃量子化ステップサイズ s' とは、埋込み画像に対して量子化による攻撃を加えるときのステップサイズである。量子化による攻撃は、画素値 X に対して次の式で表す処理を行うことで透かし情報を消去しようとするものとする。

$X' = [X \div s' + 0.5] \times s'$
 []は小数点以下切捨てを表す。



図 3.1 原画像

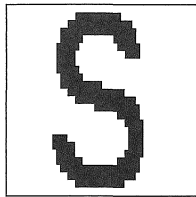


図 3.2 透かし情報

3・2 実験結果と考察

図 3.3 に全ブロックを量子化した場合の埋込み済み画像、
 図 3.4 に $n = 2500$ までのブロックを量子化した場合の埋込み
 済み画像を示す。



図 3.3 全ブロック量子化の埋込み済み画像



図 3.4 $n=2500$ まで量子化の埋込み済み画像

図 3.3 は画像全体を量子化しているため、画像全体に量子
 化による劣化が目立ってしまっている。一方、図 3.4 では、
 透かし情報 (2500bit) が埋め込まれているブロックのみしか量

子化されてなく、さらにそのブロックは分散値が高く劣化を
 検知しづらい部分であるため、劣化がほとんどわからない。

図 3.5 に埋込み量子化ステップサイズと埋込み済み画像の
 画品質の関係を示す。画品質は SNR で表す。

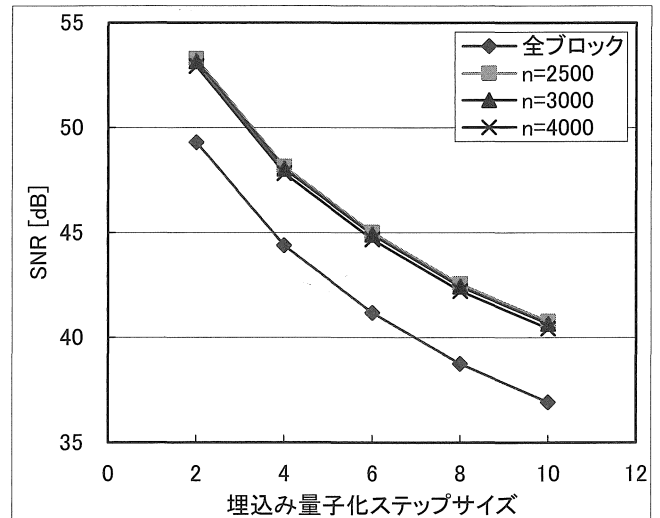


図 3.5 埋込み量子化ステップサイズと画品質の関係

全ブロックを量子化する場合に比べ、 $n = 2500$ の場合
 SNR が 4dB ほど高い。また、 $n = 2500$ を $n = 3000, 4000$ の場
 合と比べると SNR にほとんど違いがない。これは量子化す
 るブロック数を 500 や 1500 程度増やしても、画像全体に占
 める割合が低いためである。

図 3.6、図 3.7、図 3.8、図 3.9 に各量子化範囲の埋込み済み
 画像に対して量子化ステップサイズ 8 で量子化攻撃を行い、
 その後に抽出した透かし情報を示す。

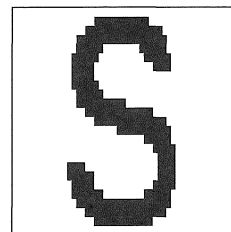


図 3.6 全ブロック量子化
誤り率：0.0%

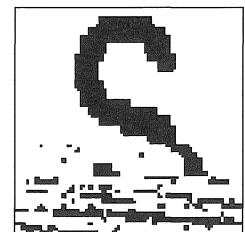


図 3.7 $n=2500$ まで量子化
誤り率：12.8%

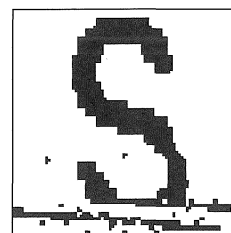


図 3.8 $n=3000$ まで量子化
誤り率：9.3%

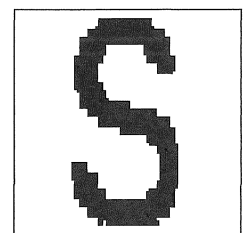


図 3.9 $n=4000$ まで量子化
誤り率：0.1%

図 3.6 の全ブロックを量子化した場合は、誤り率が 0.0%であるのに対し、図 3.7 の $n=2500$ (透かし情報[2500bit]を埋め込んでいるブロックのみ) までを量子化した場合は、画像の下から約 4 分の 1 の部分が変化し、誤り率が 12.8%になっている。これは量子化攻撃によって、予め量子化を施していないブロックの分散値が、透かし情報の埋め込まれているブロックの分散値よりも高くなってしまい、そのため透かし情報の取り出し順位が変わってしまったためである。図 3.8、図 3.9 は、埋め込む情報量よりも多くのブロックを予め量子化した場合で、 $n=2500$ の場合よりも誤り率が低くなっているのがわかる。これは、透かし情報量よりも多くのブロックを量子化したことにより、埋め込まれているブロックの範囲内で分散の順位の変動が少なくなったためである。

図 3.10 に埋込み量子化ステップサイズ 10 で埋め込んだ画像に対して各種ステップサイズで量子化攻撃を行い、その後抽出した透かし情報の誤り率を示す。

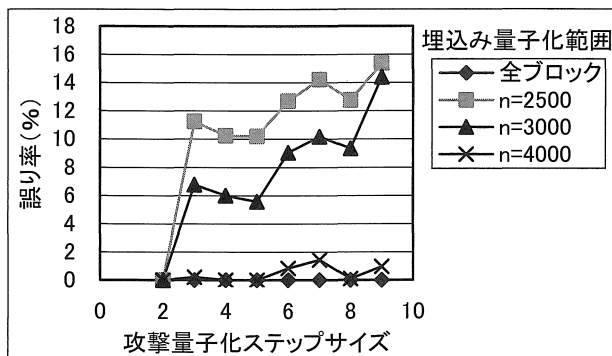


図 3.10 攻撃量子化ステップサイズと誤り率の関係

図 3.10 から、全ブロックを量子化する場合に誤り率が 0%で攻撃耐性が高いのに対し、 $n=2500$ の場合は誤り率が 10~

18%となり攻撃耐性が低くなっている。また $n=3000, 4000$ のように量子化するブロックを増加させるほど誤り率が低くなり、 $n=4000$ ではほぼ 0%になっている。一方、先に図 3.5 で示したように $n=4000$ と $n=2500$ の場合では画品質にはほとんど差がない。

以上のことより、2500bit 程度の情報量を埋め込む場合は、ブロックの分散値の上位 4000 までを量子化すれば、画質劣化が少なく、攻撃耐性は高いことがわかる。

4. むすび

本稿では、「画像のエッジ部分のように輝度変化の著しいところでは、画素値を変更しても画質劣化を検知しにくい」という人間の視覚特性を利用し、分散値の一番高いブロックから順に透かし情報を埋め込む電子透かし方式を提案した。計算機シミュレーション実験によりその特性を検討し、予め量子化を施す範囲を適切に設定することにより、画質劣化を抑えつつ攻撃耐性を上げられることを確認した。

本稿では、量子化による攻撃に対する耐性しか検討していないため、今後の課題として JPEG 圧縮などの攻撃に対しても検討することが上げられる。

参考文献

- [1] 松井甲子雄：電子透かしの基礎，森北出版株式会社，1998。
- [2] 松井甲子雄：電子透かし技術とその評価項目，画像電子学会誌，Vol.27，No.5，pp.475-482 (1998.10)
- [3] 岡一博，松井甲子雄：埋込み関数を用いた濃淡画像への署名法，電子情報通信学会論文誌，D-2 Vol.J80-D-2，No.5，pp.1186-1191 (1997.05)

(受理 平成 17 年 3 月 17 日)