

可逆電子透かしの埋め込み容量に関する一考察

矢部 裕久†

岩村 恵市†

†東京理科大学

102-0073 東京都千代田区九段北 1-14-6

{yabe,iwamura}@sec.ee.kagu.tus.ac.jp

あらまし 電子透かしは一般に情報の埋め込みにより原コンテンツは劣化してしまうが、医療画像など、その劣化が問題になる場合がある。そこで、埋め込んだ透かし情報を除去可能な可逆型の電子透かし(可逆透かし)が提案されている。可逆透かしは原画像と埋め込み情報に完全分離できる特徴があるため、複数回の埋め込みを行っても画像劣化がない。本稿では、いくつかの提案されている埋め込み手法を用い、手法別に複数回埋め込みを行い埋め込み容量の限界、また、そのときの画質も測定し比較検討を行う。

A Consideration of Embedding Capacity of Reversible Watermarking

Hirohisa YABE†

Keiichi IWAMURA†

†Tokyo University of Science

1-14-6 Kundankita, Chiyoda-Ku, Tokyo 102-0073, Japan

{yabe,iwamura}@sec.ee.kagu.tus.ac.jp

Abstract In general, a digital watermarking distorts original contents because of a data hiding. However, the distortion like the medical treatment image etc. might become a problem. Then, a digital watermarking of a reversible type (reversible watermarking) is proposed. The reversible watermarking can completely separate the raw image and the hidden data. Therefore, it is unquestionable for the repetition of data hiding. In this paper, the embedding capacity bound of each technique is measured by using some proposed embedding scheme. In addition, the image qualities are evaluated.

1 はじめに

電子透かしとは画像や動画、音声などのデジタルコンテンツに、画質や音質にはほとんど影響を与えずに特定の情報を埋め込む技術のことをいう。一般に、情報を埋め込みにより原コンテンツの不可逆な劣化が起こるが、この劣化が受け入れられない用途がある。そのような用途のために、可逆型の電子透かし(以降、可逆透かしと呼ぶ)が提案されている。可逆透かしと

は、秘密情報と復元情報で構成される透かし情報をデジタルコンテンツに埋め込み、そのコンテンツから透かし情報を抽出した後、復元情報を用いて原コンテンツを復元する技術である。また、通常の電子透かしが画質と耐性と容量をその評価尺度とするのに比べ、可逆透かしは容量のみを評価尺度とする場合が多い。一般に可逆透かしは、原画像の状態情報が不要な手法 [1] と必要な手法 [2][3] とに分けられる。前者は本

来埋めこみたい情報以外に情報を埋めこむ必要がない。一方、後者は本来埋めこみたい情報以外に、原画像を復元するために必要な情報を埋めこむ必要がある。また、情報を埋めこむ領域に着目すると、空間領域に埋めこむ手法と変換領域に埋めこむ手法に分けられる。可逆性を保証するためには、情報を埋め込んだ画像の空間領域での画素値がダイナミックレンジに納まる必要がある。そのため、空間領域で情報を埋めるほうが可逆性を直接保証可能である。

以上のように、いくつかの手法が提案されているが、提案されている手法によって一度に埋め込める情報量に違いがある。一度に多く埋め込めるほうが埋め込み容量の面から見れば優れており、従来の可逆透かしはより多くの埋め込み容量を実現するように改良が行われていったと言える。しかし、可逆型の情報埋め込み法の特徴として、原画像と埋め込み情報の完全分離できるため一度に多く埋め込めなくても、埋め込み回数と埋め込みアルゴリズムさえわかれば複数回埋め込みを行っても問題ない。つまり、一度に少しの情報しか埋め込めない手法でも、複数回埋め込めば多くの情報が埋め込めるといえる。この複数回埋め込みという点に関して言及している文献は著者の知る限りなく、研究している文献もない。

そこで本論文は、いくつかの提案されている手法を用い、手法別および手法を組み合わせる複数回埋め込みを行い埋め込み容量の限界、また、そのときの画質も測定し比較検討を行う。

以降本論文は、2章において従来ある可逆電子透かしのうち、今回比較した手法の概要を説明し、3章において複数回埋め込みによる容量限界の測定の説明、4章で評価実験、5章で評価実験の結果の比較検討をする。

2 可逆電子透かしの埋込法

可逆透かしには原画像の復元に原画像の情報を必要とする手法があるが、その手法は埋め込む情報のビットに従って、画素値の最下位ビットや変換係数の偶奇を変更する手法である。つまり、統計量や偶奇が埋め込む情報と一致して

いれば変更せず、一致していなければ変更する。これは、埋め込んだ情報を抽出可能であるが、情報を埋め込んだ画像と抽出した情報から原画像を復元することはできない。したがって、原画像の状態を示す別の情報が必要であり、この情報も画像に埋め込む必要がある。

一方、原画像の情報が不要な手法は、原画像の情報を埋める必要はない。原画像に依存したパラメータによって情報の埋め込みを制御する。また、情報を埋めた変換係数から抽出した情報を除去することで、容易に原画像の係数を復元することが可能となっている。ただし、変換係数へ埋め込むためパラメータの導出と埋め込み制御は、逆変換を考慮する必要がある。

本論文で使用する手法の「ブロックを基にしたパラメータを用いた可逆電子透かし法 [1]」は原画像の情報が不要な手法であり、「高容量可逆電子透かし法 [2]」「ロケーションマップを用いた可逆電子透かし法 [3]」は原画像の情報を必要とする可逆埋め込み法である。以下にこの3つの手法の概要を説明する。

2.1 ブロックを基にしたパラメータを用いた可逆電子透かし法 [1]

この手法は空間領域で原画像の画素値に情報を埋める。埋め込み対象画素は図1に示すような 3×3 ブロックの中心の画素 g_b である。各ブロックは図2が示すように一部が重複した状態で配置される。埋める情報は、0 から $L-1$ の L 要素からなる L 値系列 w である。すなわち、

$$w = \{w_n | w_n \in \{0, 1, \dots, L-1\}, n = 0, 1, \dots, N-1\} \quad (1)$$

である。また、この L は設定変更可能な値であり、 L の値によって埋め込み容量や埋め込み可能画素数が変化する。また、 $X \times Y$ 画素の画像に対して、最大で

$$N_{Max} = \left\lfloor \frac{X-1}{2} \right\rfloor \left\lfloor \frac{Y-1}{2} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{X-2}{2} \right\rfloor \left\lfloor \frac{Y-2}{2} \right\rfloor \quad (2)$$

の画素に情報を埋めることができる。また、情報を埋める画像は K ビットに量子化された濃淡

画像を仮定する。すなわち、画素値は $0 \sim 2^K - 1$ の範囲にあるものとする。

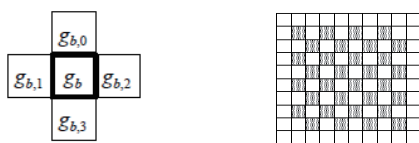


図 1: ブロック図 図 2: ブロック配置

2.2 高容量可逆電子透かし法 [2]

この手法は、空間領域で原画像の画素値を簡単な整数変換を実行した後、変換後の画素値に情報を埋めこむ。この整数変換は、図 3 のように隣り合う 2 つの画素を基に計算し、変換を繰り返す。この手法は非常に計算量が少なく、埋め込み可能な画素に変換できるか否かで異なった変換を行う。また、非常に高い埋め込み容量を実現でき、理論上の最大埋め込み容量は $\log_2 n [bpp]$ となる。ここで、 n は設定変更が可能な値であり、 n の値によって埋め込み容量が変化する。

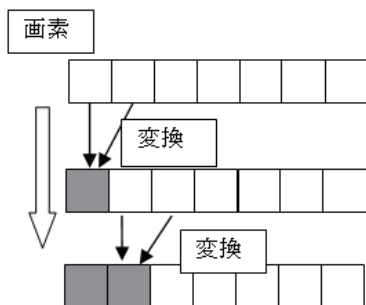


図 3: 変換方法

2.3 ロケーションマップを用いた可逆電子透かし法 [3]

この手法は、図 4 のように 4 つの隣接する画素を 1 ブロックとして、4 つの画素の相関を利用して変換を行う。また、そのブロック配置は図 5 が示すようになっている。情報の埋め込みは、その画素 u_0 とそれ以外の 3 画素の差分を拡張して行う。このとき、閾値 T_h の値を変えることにより埋め込み容量が変化する。また、原画像

の情報を必要とする手法であり、原画像に復元するための情報やロケーションマップを秘密情報と共に画像に埋め込む。ここで、ロケーションマップとは、ある位置の画素に情報が埋め込んであるか否かが判別できる画像情報である。



図 4: ブロック化 図 5: ブロック配置

3 複数回埋め込みによる容量限界の測定の提案

可逆透かしは、手法によって埋め込める情報量が異なる。一度に多く埋め込めるほうが埋め込み容量の面から見れば優れている。しかし、可逆型の情報埋め込み法の特徴として、原画像と埋め込み情報の完全分離できるため一度に多く埋め込めなくても、埋め込み回数と埋め込みアルゴリズムさえわかれば複数回埋め込みを行っても問題ない。つまり、図 6 のように一度に少しの情報しか埋め込めない手法でも、複数回埋め込めば多くの情報が埋め込めるといえる。

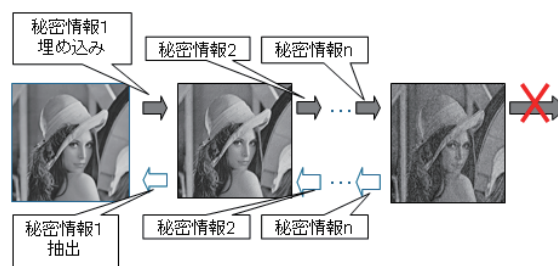


図 6: 複数回埋め込み

可逆透かしの埋め込みを埋め込みができなくなるか、埋め込み容量に変化がなくなるまで埋め込みを繰り返し行い、そのときの容量を限界とする。2 章で説明した 3 つの手法を用い、手法別に複数回埋め込みを行い埋め込み容量の限界、また、そのときの画質を測定し比較検討を行う。このとき、手法によって埋め込み前に設

定できるパラメータがあり、そのパラメータをいろいろ変えて容量限界を測定する。

4 評価実験

4.1 手法別の埋め込み

実験には、図 7、図 8 に示す 512×512 画素の 8bit/画素の濃淡画像 Lena と mandrill を用いた。秘密情報として、擬似乱数を用いた。この条件の下で、手法別にパラメータをいろいろ変えて容量限界、画質を評価する。ここで、(a)(b)(c) を以下の手法とする。

- (a). ブロックを基にしたパラメータを用いた可逆電子透かし法 [1]
- (b). 高容量可逆電子透かし法 [2]
- (c). ロケーションマップを用いた可逆電子透かし法 [3]

手法別の実験方法を以下に説明する。

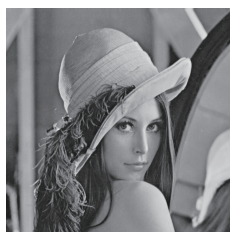
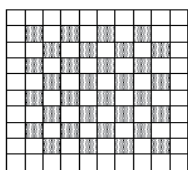


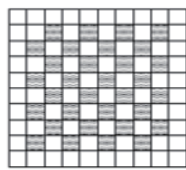
図 7: Lena



図 8: mandrill



(1)



(2)

図 9: ブロック配置

手法 (a) を評価するとき、 3×3 で図 9(1)(2) のブロック配置を交互に用いて繰り返し埋め込みを行う。そのとき、パラメータ L を変えて容量限界を測定する。

手法 (b) の評価は、パラメータ n を変えて容量限界を測定する。

手法 (c) の評価は、閾値 T_h を変えて容量限界を測定する。また、この手法で用いる可逆圧縮には算術符号を用いる。

図 10、図 11 に埋め込み回数に対するその回数目で得られる最大の容量を手法別に示し、表 1 に手法別容量限界を示す。図 12、図 13 に埋め込み容量に対する画質を手法別に示す。ここで、画質の客観評価として PSNR を用いた。また、容量限界時の画像を図 14、図 15 に示す。

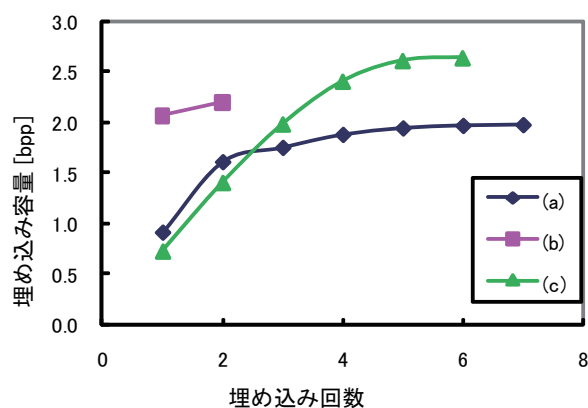


図 10: 埋め込み回数に対する埋め込み容量の関係 (Lena)

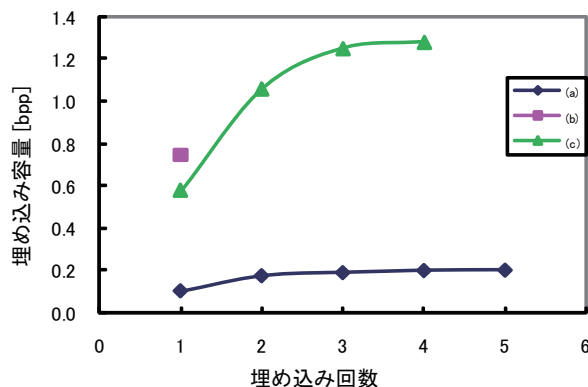


図 11: 埋め込み回数に対する埋め込み容量の関係 (mandrill)

表 1: 手法別容量限界

手法	容量 [bpp]	容量 [bpp]
	(Lena)	(mandrill)
(a)	1.976	0.201
(b)	2.196	0.744
(c)	2.639	1.281

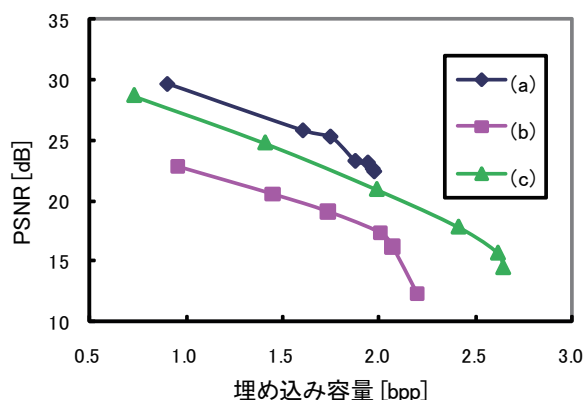


図 12: 埋め込み容量に対する画質の関係 (Lena)

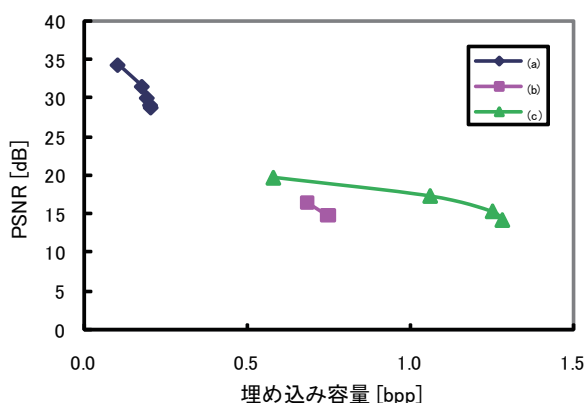


図 13: 埋め込み容量に対する画質の関係 (mandrill)

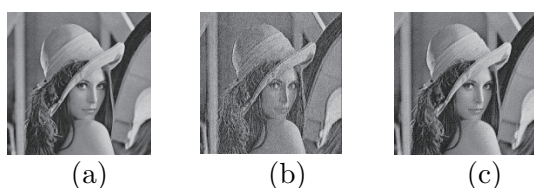


図 14: 容量限界時の画像 (Lena)

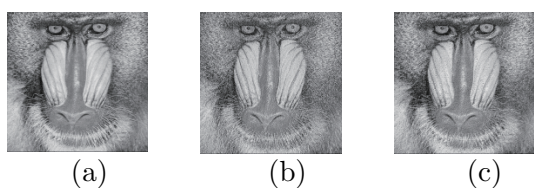


図 15: 容量限界時の画像 (mandrill)

4.2 手法の組み合わせ埋め込み

各手法で限界まで埋め込みを行った画像に、違う手法を用いてさらに埋め込みが行えるかを調べる。表 1 に手法別容量限界を示す。また、表 2、表 3 に各手法で得られた限界まで情報を埋めた画像に、違う手法で追加埋め込みをしたときの容量を示す。ここで、表の追加埋め込み時の手法 (a) はパラメータ $L = 2$ で固定し、埋め込み 2 回で 1 セットとして容量を示している。手法 (b) は $n = 2$ 、手法 (c) は $T_h = 100$ で固定している。

表 2: 追加埋め込み (Lena)

容量限界時の手法	追加埋め込み時の手法	追加容量 [bpp]	合計容量 [bpp]
(a)	(b)	0.442	2.418
	(c)	0.935	2.911
(b)	(a)	-	2.196
	(c)	-	2.196
(c)	(a)	0.183	2.822
	(b)	-	2.639

表 3: 追加埋め込み (mandrill)

容量限界時の手法	追加埋め込み時の手法	追加容量 [bpp]	合計容量 [bpp]
(a)	(b)	0.523	0.724
	(c)	1.017	1.219
(b)	(a)	-	0.769
	(c)	-	0.744
(c)	(a)	0.233	1.515
	(b)	-	1.281

表 2、表 3 の結果より、手法 (a) と手法 (c) を組み合わせたとき、より多く埋めこめることがわかった。この結果より、手法 (a) と手法 (c) で交互に埋め込んだときの容量を測定したところ、Lena の画像で 3.785[bpp]、mandrill の画像で 1.831[bpp] もの埋め込み容量を実現できた。

5 考察および検討

5.1 手法別の埋め込み

図 10、図 11 から、1 回目の埋め込み容量を見ると (b) の手法は (a)(c) の手法と比べて大きい埋め込み容量を得られるが、繰り返し埋め込みを行うと手法 (c) の容量の方が大きくなる。つまり、1 度に埋め込める量が多いからといって、容量限界も大きいわけではないことがいえる。

図 12、図 13 は縦軸の値を固定したときに右に存在するほど情報の埋め込み量が多く、また横軸の値を固定したときに上に存在するほど画質が良い。この画質という観点からみると手法 (a) が優れている。これは、手法 (b)(c) は埋め込みが不可能な画素がある場合、その画素を埋め込み前の画素から変換して用いるのに対し、手法 (a) は、その画素を埋め込み前の画素から変換せずに用いているため画像の劣化が他の手法より少なく済むからである。しかし、手法 (a) は画質という点で他の手法より優れているが、容量限界は一番低い。この結果から、画質良く情報を埋められるからといって多くの情報を埋められるわけではないことがわかる。

5.2 手法組み合わせ埋め込みの考察

表 2、表 3 の結果から、1 つの手法のみで情報を埋めたときの容量を大きく上回る容量が得られた。これは、1 つの手法を繰り返し用いると透かし画像の特定の画素が集中して画素値が変化してしまい情報の埋めにくい画像になるのに対し、違う手法を交互に用いることにより、変化する画素が特定の位置ではなく分散して、情報の埋めやすい画像となるため、より多く埋め込みが行えたと考えられる。

6 まとめ

本論文では、可逆透かしの埋め込みを繰り返し行い埋め込み容量の限界を測定した。実験結果から、1 回の埋め込み容量と最終的な容量の限界は異なることがわかった。さらに、画質を

加えた評価では、より高い容量限界の実現可能性が考察できた。

また、可逆透かしの繰り返し埋め込みを行い、埋め込み容量の限界を測定したが、なぜこのような結果になったかを理論的に考察はできていない。これは、今後の課題である。また、可逆透かしの特徴と似た可逆圧縮を用いて埋め込みを行い容量の限界を調査し、可逆透かしによる埋め込み容量の限界と比較検討することも今後の課題である。

参考文献

- [1] Masaaki FUJIYOSHI, Shuji SATO, Hong Lin JIN, and Hitoshi KIYA, "A LOCATION-MAP FREE REVERSIBLE DATA HIDING METHOD USING BLOCK-BASED SINGLE PARAMETER", in Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing 2007, vol. 3, pp.257-260, 2007.
- [2] D.Colduc, "IMPROVED CAPACITY REVERSIBLE WATERMARKING", in Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing 2007, vol. 3, pp.249-252, 2007.
- [3] Shaowei Weng, Yao Zhao, Jeng-Shyang Pan, and Rongrong Ni, "A NOVEL REVERSIBLE WATERMARKING BASED ON AN INTEGER TRANSFORM" in Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing 2007, vol. 3, pp.241-244, 2007.