

デジタルカメラによる復号が可能な潜像技術： 一様な画像への誤差拡散法による埋め込み

生源寺 類^{1,a)}

概要：我々はチェッカパターンを重ね合わせることで秘密画像が浮かび上がる潜像技術、チェッカパターンキャリアスクリーン画像を提案している。また、キャリアスクリーン画像では、物理的なパターンの重ね合わせの他に、適切なサンプリング間隔でのサンプリング処理による復号も可能である。このようなサンプリング処理による復号手法として、市販のデジタルカメラの液晶モニタへの表示処理を利用した復号手法を提案している。デジタルカメラを用いた復号において、コントラストの良い復号結果を得るためには、キャリアスクリーン画像を低解像度で出力する必要がある。しかしながら、キャリアスクリーン画像を低解像度で出力した場合、秘密画像の露見が問題となるため潜在化処理が必須となる。特に有効な潜在化手法として誤差拡散法による自然画像への埋め込みを提案している。本稿では、一様な画素値を持つ画像への埋め込みにおける潜在化効果について調査したので報告する。

Digital Camera Decoded Carrier-Screen Images: Embedding into Uniform Images by Error Diffusion Method

RUI SHOGENJI^{1,a)}

Abstract: As a kind of carrier-screen images, we have developed checkered-pattern carrier-screen images, which can be physically decoded by superimposing a sheet of a checkered pattern. Also we propose a decoding method using an ordinary compact digital camera. To obtain better decoding result using a digital camera, the carrier-screen image should be displayed at low resolution. However if the carrier-screen image is displayed at low resolution, the secret information can be detected when you look carefully. So a hiding process is important technique. One of a hiding method, we propose a hiding method by embedding the carrier-screen image into another significant image. In this paper, we investigate the imperceptibility of the carrier-screen image which embedded into a uniform image.

1. はじめに

周期的なパターンを重ね合わせることで、秘密画像が浮かび上がる潜像技術としてキャリアスクリーン画像 [1] がある。復号に用いる周期的なパターンを、キャリアスクリーンと呼び、多数の平行線で構成される万線や周期的な点で構成される網点などがよく用いられる。秘密画像の符号化は、キャリアスクリーンの一部の位相や角度、大きさなどを変調することで行われる。キャリアスクリーン画像は通常、高解像度で出力されるため、肉眼では一様な領域

として認識される。復号は対応するキャリアスクリーンの重ね合わせの他に、サンプリング処理による復号も可能である。このようなキャリアスクリーン画像は、有価証券等の偽造防止や絵本 [2], [3] などのエンタテインメント分野で利用されている。

我々は、キャリアスクリーンとしてチェッカパターンを用いたチェッカパターンキャリアスクリーン画像を提案している [4]。従来のキャリアスクリーン画像と同様に、チェッカパターンの重ね合わせやサンプリング処理による復号が可能である。特にサンプリング処理による復号では、デジタルカメラの液晶モニタへの表示処理を利用した復号手法 [5] を提案している。また、キャリアスクリーンとし

¹ 静岡大学 大学院工学研究科
Shizuoka University, Hamamatsu, Shizuoka 432-8561, Japan
^{a)} shogenji@sys.eng.shizuoka.ac.jp

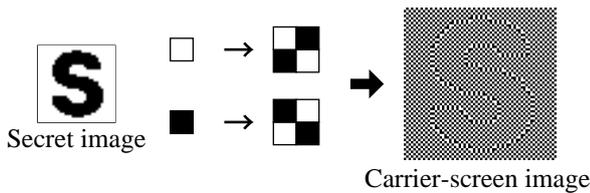


図 1 キャリアスクリーン画像の生成

Fig. 1 Encoding process of a carrier-screen image.

てチェッカパターンを用いているため、生成されるキャリアスクリーン画像は正画面素構造となる。そのため、液晶ディスプレイなどのデジタルデバイスへの表示に適している。さらに、従来の画像処理手法が容易に適用可能であるため様々な拡張が可能であり、これまでに解像度多重化 [6] や角度多重化 [7], 自然画像への埋め込み [8] 手法を提案している。

デジタルカメラを用いた復号では、イメージセンサによって取得したキャリアスクリーン画像を再サンプリングすることで復号を行っているため、コントラストの良い復号結果を得るためには、従来のキャリアスクリーン画像と比較して、低解像度で出力する必要がある。

しかしながら低解像度で出力した場合、キャリアスクリーン画像の詳細な構造が識別可能となり、秘密画像の露見が問題となる。そのため、潜在化処理が必須である。潜在化処理として誤差拡散法による自然画像への埋め込みは非常に有効である。自然画像への埋め込みは、キャリアスクリーン画像と埋め込み対象である濃淡画像との合成および誤差拡散法によるハーフトーン処理で行われる。本稿では、埋め込み対象である濃淡画像をカバー画像と呼ぶ。

一方、カバー画像の画素値が一様な領域において、十分な潜在化効果得られないことが確認されている。そこで本研究では、一様な画素値を持つカバー画像における誤差拡散法による埋め込みの潜在化効果について調査したので報告する。

2. チェッカパターンキャリアスクリーン画像

チェッカパターンキャリアスクリーン画像の生成処理の概略図を図 1 に示す。符号化は以下のルールに従い秘密画像の各画素をキャリアスクリーンを構成する補助画素に置き換えることで行われる。補助画素は、2種類の相補的な 2×2 画素のチェッカパターンを使用する。秘密画像の画素が白であれば一方の補助画素に置き換え、秘密画像の画素が黒であれば他方の補助画素に置き換える。すなわち、秘密画像の画素が白の場合と黒の場合とで、白黒を反転した補助画素を配置することで秘密画像を符号化する。また、補助画素のサイズが、 2×2 であるため、生成されるキャリアスクリーン画像のサイズは、縦、横ともに、秘密画像の 2 倍になる。

図 2 に示す秘密画像を符号化したキャリアスクリーン画



図 2 秘密画像

Fig. 2 Secret image.

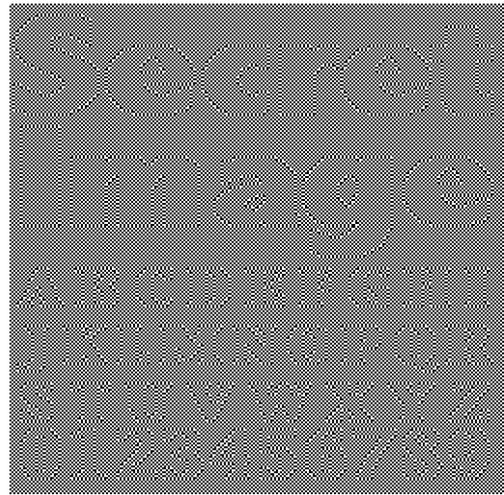


図 3 キャリアスクリーン画像

Fig. 3 Carrier-screen image.

像を図 3 に示す。出力されたキャリアスクリーン画像は十分な解像度を有していないため、秘密画像のパターンの輪郭が露見していることが確認できる。

復号は従来のキャリアスクリーン画像と同様に、キャリアスクリーンであるチェッカパターンの重ね合わせ、あるいは適切なサンプリング間隔でのサンプリング処理により行われる。我々は、サンプリング処理による復号手法として、デジタルカメラを利用した復号を提案している。図 4 にデジタルカメラを用いた復号例を示す。復号処理は、液晶ファインダへ画像を表示するためにイメージセンサで取得したキャリアスクリーン画像を再サンプリングする過程を利用して行われる。復号に使用したデジタルカメラでは、デジタルカメラを 45° 傾けることでコントラストの良い復号結果が得られた。また、表示したキャリアスクリーン画像は白黒の 2 値画像を用いているが、復号結果には偽色が生じている。これらは液晶ファインダへの表示処理において、平滑化などによる近傍画素処理が行われているためであると考えられる。さらに、デジタルカメラを復号に利用した場合、手ぶれなどの影響により精細な位置合わせは困難である。しかしながら十分に認識可能な復号結果が得られており、このことはキャリアスクリーン画像の歪みなどの劣化に対してロバストな復号が可能であることを示すものである。

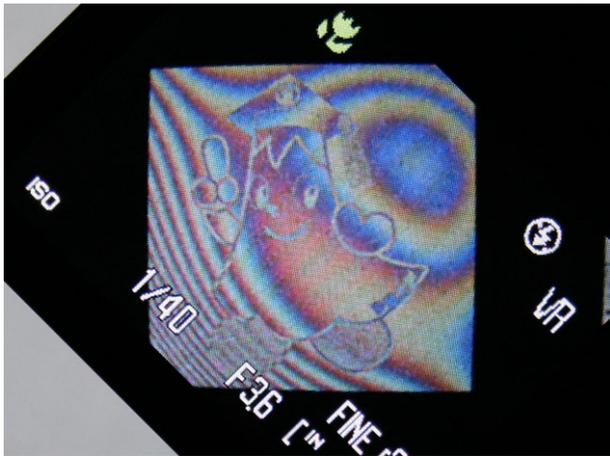


図 4 デジタルカメラを用いた復号例

Fig. 4 Decoding example with a digital camera.

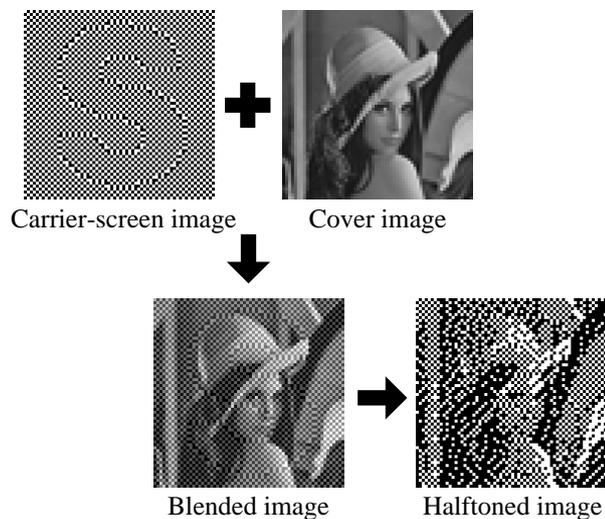


図 5 埋め込み処理

Fig. 5 Embedding process.

3. 誤差拡散法による埋め込み

カバー画像への埋め込み処理の概略図を図 5 に示す。埋め込み処理は、キャリアスクリーン画像とカバー画像との合成および誤差拡散法によるハーフトーン処理の 2 段階で行われる。カバー画像として 256 階調のグレースケール画像を用いる。合成処理は、画素値の加減算により行う。カバー画像、キャリアスクリーン画像および合成量を、それぞれ $f(x, y)$, $g(x, y)$, w とすると、合成画像 $h(x, y)$ は次式で表される。

$$h(x, y) = \begin{cases} f(x, y) + w, & \text{if } g(x, y) \text{ is white,} \\ f(x, y) - w, & \text{if } g(x, y) \text{ is black.} \end{cases} \quad (1)$$

すなわち、キャリアスクリーン画像の画素が白であれば、カバー画像の対応する画素に画素値 w を加算し、キャリアスクリーン画像の画素が黒であれば、画素値 w を減算することで合成する。



図 6 カバー画像

Fig. 6 Cover image.

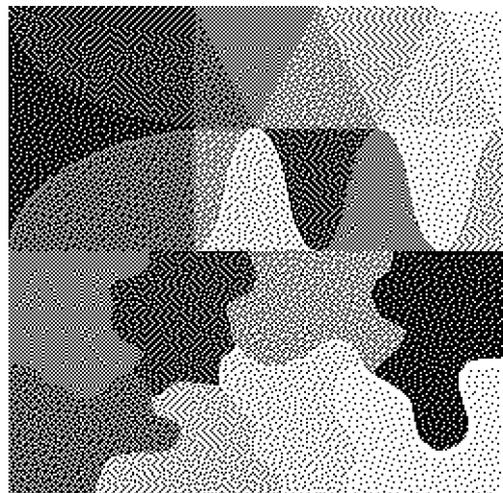


図 7 潜在化キャリアスクリーン画像

Fig. 7 Embedded carrier-screen image.

次に、合成画像を誤差拡散法により 2 値化することで、潜在化キャリアスクリーン画像が生成される。本稿では、誤差拡散法におけるしきい値を 127.5 とし、拡散係数は Stucki[9] のものを使用した。

誤差拡散法による埋め込みの例として、図 6 に示すカバー画像にキャリアスクリーン画像 (図 3) を埋め込んだ結果およびチェッカパターンの重ね合わせによる復号結果をそれぞれ図 7, 図 8 に示す。カバー画像にキャリアスクリーン画像を埋め込みことで、秘密画像のパターンが知覚されにくくなっていることが確認できる。

4. 一様なカバー画像への埋め込み

前節では、カバー画像へキャリアスクリーン画像を埋め込むことで、潜在化できることを示した。しかしながら、一部の領域において、十分な潜在化効果が得られていない。そこで、一様な画素値を持つカバー画像へキャリアスクリーン画像の埋め込みを行い、このときの潜在化効果に



図 8 復号結果

Fig. 8 Decoded result.

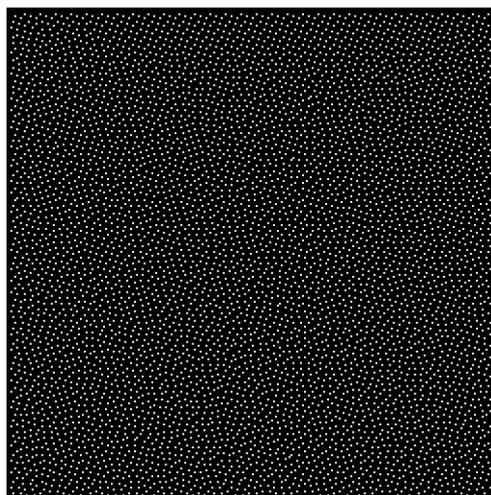
ついて調査した。

すべての画素の画素値が同じである、一様な画像をカバー画像として作成した。作成したカバー画像は、0~255の画素値を持つ256枚のカバー画像である。これらの画像に対して、合成量 w を48として、図3に示すキャリアスクリーン画像を埋め込む。図9に一様な画像の画素値をそれぞれ0, 80, 120としたときの潜在化キャリアスクリーン画像を示す。画素値0のカバー画像に埋め込んだ潜在化キャリアスクリーン画像では、秘密画像のパターンの露見が無いのに対して、画素値120のカバー画像に埋め込んだ潜在化キャリアスクリーン画像では、秘密画像のパターンが露見していることが確認できる。

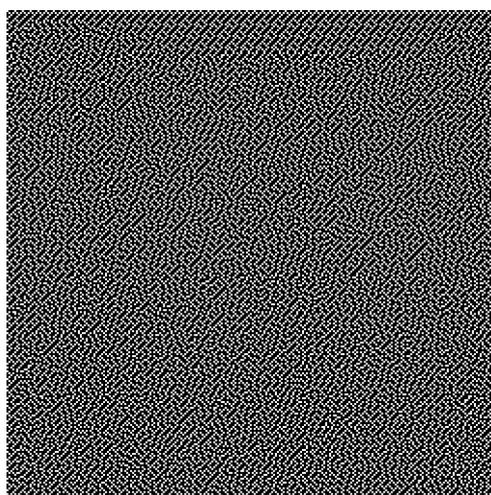
秘密画像のパターンの露見は、主にパターンのエッジ部分で顕著であることから、エッジ検出を行い潜在化効果を評価する。エッジ検出手法として、Difference of Gaussian (DoG) 処理を適用した。基準画像として、埋め込みを行っていないキャリアスクリーン画像に対してDoG処理を行った画像を使用した。DoG処理を行った潜在化キャリアスクリーン画像および基準画像に対して、しきい値処理による2値化を行い、エッジ部分の比較を行う。これらの画像のハミング距離を求め、総画素数で正規化したものを潜在化効果 (Imperceptibility) とした。図10に一様な画像の画素値と潜在化効果との関係を示す。誤差拡散法のしきい値付近で、潜在化効果がほとんど得られていないことが確認できた。このことから、しきい値付近の値を持つ一様な領域では、カバー画像の画素値を変調する必要があると言える。

5. まとめ

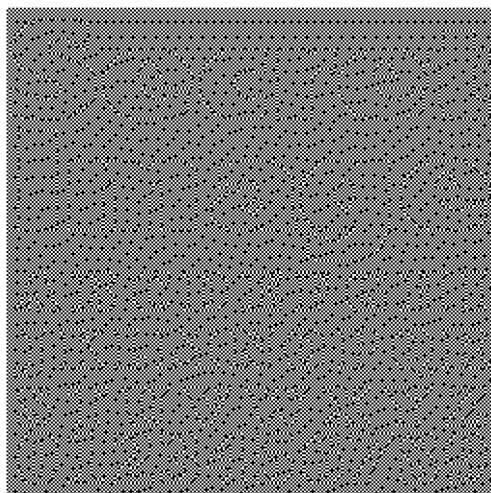
本稿では、チェッカパターンキャリアスクリーン画像の誤差拡散法を利用した潜在化手法において、一様な画素値を持つカバー画像における潜在化効果について調査した。誤差拡散法のしきい値付近の値を持つ一様な領域におい



(a) 画素値: 0



(b) 画素値: 80



(c) 画素値: 120

図 9 一様な画像への埋め込み例

Fig. 9 Embedding with uniform cover images.

て、潜在化効果がほとんどないことが確認された。任意のカバー画像に対して、高い潜在化効果を得るためには、カバー画像の一様な領域に対してノイズを加えるなどの前処理を行う必要があると言える。

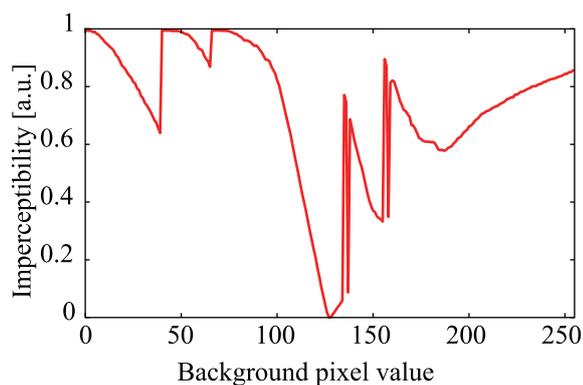


図 10 一様画像の画素値と潜在化効果

Fig. 10 Pixel value of uniform image vs imperceptibility.

謝辞 本研究は JSPS 科研費 24700164 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] R. L. van Renesse: *Optical Document Security*, 3rd ed., Artech House, Norwood, MA, (2005).
- [2] 香川元太郎: *かずの冒険〈野山編〉*, 小学館 (2009).
- [3] *ポケモン マジックルーペで だいぼうけん!*, 小学館 (2012).
- [4] R. Shogenji and J. Ohtsubo: "Hiding Information Using a Checkered Pattern," *Optical Review*, **16**, 5, pp. 517–520, (2009).
- [5] 生源寺類, 大坪順次: "デジタルカメラによる復号を目的としたキャリアスクリーン画像", *電子情報通信学会技術研究報告* **111**, 123, pp. 1–6, (2011).
- [6] R. Shogenji and J. Ohtsubo: "Resolution multiplexing method for checkered-pattern carrier-screen images," in *Proceedings of DHIP2012* (2012).
- [7] 生源寺類, 大坪順次: "チェッカパターン視覚復号型暗号における秘密画像の角度多重埋め込み", 第 71 回応用物理学会学術講演会 講演予稿集, p. 03-093 (2010).
- [8] R. Shogenji and J. Ohtsubo: "Hiding Method for Checkered-Pattern Carrier-Screen Images by Embedding into Halftone Images," in *Proceedings of ITC-CSCC2012*, D-W1-01 (2012).
- [9] P. Stucki: MECCA - a multiple error correcting computation algorithm for bi-level image hard copy reproduction, *Research report RZ1060*, IBM Research Laboratory, Zurich, Switzerland, (1981).