

研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18760285  
 研究課題名（和文） 計算機ホログラムを用いた新しい情報セキュリティシステムの構築  
 研究課題名（英文） Construction the Security System using Computer-Generated Holograms  
 研究代表者  
 田中 賢一（TANAKA KENICHI）  
 明治大学・理工学部・准教授  
 研究者番号：80284587

## 研究成果の概要：

本研究では、当該年度、(1)秘密情報として埋め込む計算機ホログラムの最適化、(2)脆弱型となる計算機ホログラムの埋め込み方式の開発、を行った。

秘密情報として埋め込む計算機ホログラムの合成には、画質を最良ならしめるための最適化処理（シミュレーテッドアニーリングや遺伝的アルゴリズム）が用いられている。このため、誤差拡散法においても、入力物体の位置に関して一般性を持たせるために誤差拡散係数を最適化処理によって求める方法が用いられてきたが、合成のための処理時間が長くなるといった問題がある。このため、入力物体の位置が決まれば誤差拡散係数は一意的に求められるようにすることで、計算機ホログラムの合成にかかる時間を大幅に短くすることができることが、明らかになった。

計算機ホログラムを秘密情報として埋め込んだ場合、一般的にはロバスト型の電子透かしあるいはステガノグラフィとなることが知られている。これは、一般的には長所であるが、しばしば短所となる場合があり、脆弱型の電子透かしあるいはステガノグラフィとなる必要性がある場合もある。そこで、計算機ホログラムの合成過程におけるフーリエ変換を複素アダマール変換に置き換えた場合について考察した。その結果、脆弱型電子透かしの特徴であるStirMark攻撃耐性がことごとく弱い性質を見いだすことができた。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	2,000,000	0	2,000,000
2007年度	700,000	0	700,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	210,000	3,610,000

研究分野：電気電子工学

科研費の分科・細目：情報通信工学

キーワード：計算機ホログラム、ディザ法、電子透かし、ステガノグラフィ、情報セキュリティ

### 1. 研究開始当初の背景

電子透かしなどに代表される著作権保護や IC カードなどに代表されるセキュリティ技術の進展は目覚ましいものがある。最近、進展が目覚ましい電子透かし技術には、(1)ロバスト型、(2)脆弱型、の 2 種類が存在する。ところで、ロバスト型の電子透かし自体は確立しておらず、様々な攻撃耐性のある方式は存在しない。また、脆弱型の場合は、偽造防止という観点から有効な方法はぞんざいしない。

### 2. 研究の目的

本研究は、計算機プログラムを利用した電子透かし技術を応用することによる新しい情報セキュリティシステムを構築しようとするものである。すなわち、透かし情報を埋め込むにあたって、透かし情報の符号化に代わって計算機プログラムの生成を行うことで、秘密情報の秘匿性をより高めることが主眼として挙げられる。また、計算機プログラムの特徴は、プログラムに対する一部の傷や、情報欠落による損傷に対する情報の保持力の点で、他のメディアと比較して優れていることである。このことにより、電子透かし技術において弱点とされていた、情報の一部欠落や、傷などの攻撃に対する耐性を向上することができる。これらの特徴を利用することにより、クレジットカードや銀行のキャッシュカードにおいて偽造防止のために付けられるプログラムや IC カードに代わる新しい偽造防止ならびに秘密情報記録媒体として実用化が期待できる。そのための方法を本研究では提案し、実用化に向けた基礎をつくっていくことを目的としている。

### 3. 研究の方法

研究は、フーリエ変換型計算機プログラムを電子透かしとして埋め込んだ場合（ロバスト型）を仮定し、以下のような手順で検討を行った。

- A. 計算機プログラムの画質改善方式の検討  
計算機プログラムの画質改善方式には、誤差拡散法、フーリエ反復法、シミュレーテッドアニーリングによる最適化などがあり、それぞれの得失を検討した。
- B. 計算機プログラムの埋め込み方式の検討  
計算機プログラムを埋め込むにあたり、どのようなディザ行列を選ばよいかと検討した。
- C. 攻撃耐性の検討  
電子透かしとして攻撃耐性を推し量るスタンダードツールとして知られている Stirmark 攻撃を行いその耐性を推し量る。

### 4. 研究成果

(1) フーリエ変換型計算機プログラムを用いた場合。

まず、計算機プログラムにおける画質改善方式としては、計算時間が早く比較的画質の良い誤差拡散法が有効であるという考えに至った。ただ、入力物体の位置に依存して、誤差拡散法における拡散係数を決めなければならないという問題があり、その決定方法について検討した。その結果、入力物体の位置  $(x, y)$  が決定すれば、5 次程度の多項式によって拡散係数を一意に求めることが出来、これまで GA や SPA などのような誤差拡散法における拡散係数の最適化と比較して計算時間の大幅な短縮と、遜色ない画質との両立を図ることが出来た。

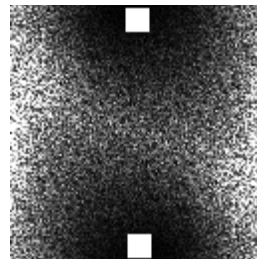


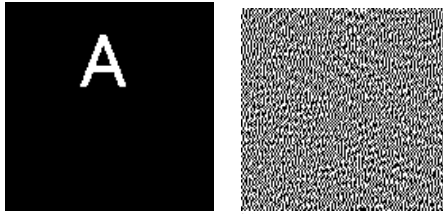
図1 誤差拡散法による計算機プログラム (雑誌論文[4]に示した方法)

次に、計算機プログラムの埋め込みに用いるディザ行列の選定を行った。雑誌論文[1]では、6 種類を示しているが、その中で、秘密情報をもっとも良好に現された結果の一例を示す。



図2 ディザ画像を埋め込んだ2値画像  
この図2の画像を得るためには以下のような手順を経る必要がある。

- (1) 計算機プログラムを作成する。原画像をフーリエ変換し、誤差拡散法により2値化する。



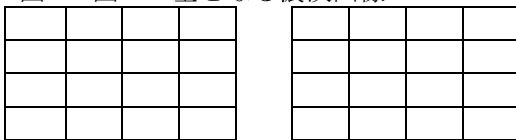
原画像 計算機プログラム

図3 計算機プログラム

- (2) 図4のような濃淡画像（計算機プログラムの縦4倍，横4倍の大きさのもの）をディザ処理により2値化するのであるが，計算機プログラム1画素に対して濃淡画像4×4画素のディザを行うことになるが，そのときのディザの組み合わせは，図5のようなになる．その結果が図2のようになるのである．



図4 図2の基となる濃淡画像



ホログラム画素黒  
図5 ディザ行列

ホログラム画素白

- (3) この図2のような計算機プログラムが埋め込まれた画像をフーリエ変換すること，すなわち，計算機プログラムと見立てた光学再生をすると，図6のようなになる．

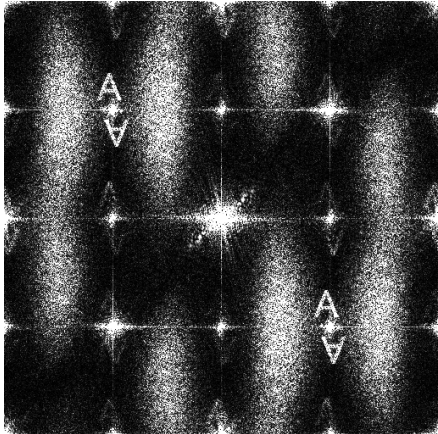


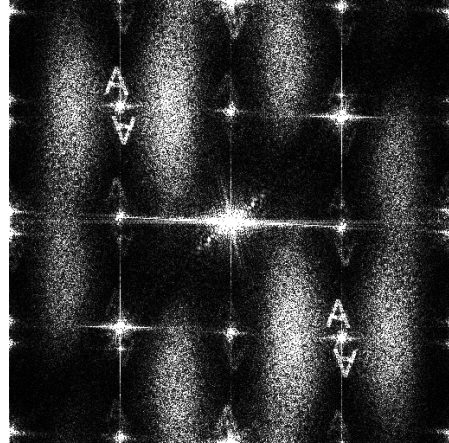
図6 秘密情報抽出結果

さらに，この図2の秘密情報を埋め込んだ

画像の攻撃耐性を推し量るため，StirMark 攻撃を行った．その一例を図7に示すが，このように幾何学的な攻撃に対しても，秘密情報である”A”という文字が現れることから，強い耐性があることが明らかになった．



図2に Affin 変換を加えたもの



秘密情報抽出結果

図7 StirMark 攻撃の一例

このようなことから，フーリエ変換型計算機プログラムをディザ画像に埋め込むことによって，ロバスト型の電子透かしの一方式とすることが出来ることが明らかとなった．この方式は IC チップとともに組み込むことでトレーサビリティへの応用が見込まれると考えられる．

なお，偽造防止のためには，脆弱型になる必要があると考えられるが，今後，複素アダマール変換型計算機プログラムについてより詳細な検討が待たれると考えられる．

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 6 件)

- ① 田中賢一，石附英昭：“ディザ画像に対

する計算機プログラムの埋込み”, 映像情報メディア学会誌, Vol. 60, No. 9, pp. 1459-1472, Sept. 2006.

② 田中賢一: ” 可変計算領域型最小2乗法による逆ハーフトーン処理”, 映像情報メディア学会誌, Vol. 61, No. 1, pp. 98-101, Jan. 2007.

③ 田中賢一: ” SAを用いたカラー画像のハーフトーン処理”, 映像情報メディア学会誌, Vol. 61, No. 6, pp. 828-837, June 2007.

④ 田中賢一, 齋木卓: ” 計算機プログラムにおける物体位置と誤差拡散係数との関係”, 映像情報メディア学会誌, Vol. 62, No. 5, pp. 796-802, June 2008.

⑤ 田中賢一, 高木一平: ” カルマンフィルタを用いた逆ハーフトーン処理”, 電子情報通信学会論文誌 (A), Vol. J91-A, No. 10, pp. 968-973, Oct. 2008.

⑥ 田中賢一, 藤田泰仁, 磯井亮太: ” 複素アダマール変換を用いた擬似計算機プログラムの合成とディザ画像への埋込みの応用”, 映像情報メディア学会誌, Vol. 62, No. 11, pp. 1746-1761, Nov. 2008.

[学会発表] (計 13 件)

① Ken-ichi Tanaka and Susumu Nishi, “Relationship Between Error Diffusion Coefficients and Object Position for Computer-Generated Hologram”, Proc. International Workshop on Advanced Image Technology 2008, P2-11 (2008-01)

② Ken-ichi Tanaka and Yasuhito Fujita, “Computer-Generated Pseudo Hologram with Complex Hadamard Transform and Improvement of Image Reconstruction”, Proc. International Workshop on Advanced Image Technology 2008, P2-11 (2008-01)

③ Ken-ichi Tanaka and Yoshiaki Takahashi, “Improvement of Color Images Halftoning with Simulated Annealing”, Proc. International Workshop on Advanced Image Technology 2008, P-3-1 (2008-01)

④ Ken-ichi Tanaka and Ryota Isoi, “Recognition of Reconstructed Images from Computer-Generated Hologram Used in Digital Watermarking”, Proc. International Workshop on Advanced Image Technology 2008, P-3-1 (2008-01)

⑤ Kouta Sakanaka and Ken-ichi Tanaka, “Improvement of reconstructed image from computer generated psuedo holograms using iterative method”, Proc. International Workshop on Advanced Image Technology 2009, 0049 (2009-01)

⑥ Yohei Kemuriyama and Ken-ichi Tanaka, “Inverse Halftoning of Color Image Using Kalman Filter”, Proc. International

Workshop on Advanced Image Technology 2009, 0049 (2009-01)

⑦ Ken-ichi Tanaka and Ippei Takagi, “Inverse Halftoning Using Kalman Filtering”, Proc. International Workshop on Advanced Image Technology 2009, 0010 (2009-01)

⑧ Yuta Fujita and Ken-ichi Tanaka, “Impovement of Image Reconstruction from Kinoform using Error-Diffusion Method”, Proc. International Workshop on Advanced Image Technology 2009, 0040 (2009-01)

⑨ Susumu Nishi and Ken-ichi Tanaka, “Relationship Between Error Diffusion Coefficients, Object Size and Object Position for CGH”, Proc. International Workshop on Advanced Image Technology 2009, 0011 (2009-01)

⑩ Yasuhito Fujita and Ken-ichi Tanaka, “Improvement of image processing speed of the 2D Fast Complex Hadamard Transform”, Proc. International Workshop on Advanced Image Technology 2009, 0012 (2009-01)

⑪ Yuta Fujita and Ken-ichi Tanaka, “Impovement of Image Reconstruction from Kinoform using Error-Diffusion Method”, Proc. International Workshop on Advanced Image Technology 2009, 0040 (2009-01)

⑫ Yoshiaki Takahashi and Ken-ichi Tanaka, “Improvement of Color Halftoning Using Error Diffusion Method”, Proc. International Workshop on Advanced Image Technology 2009, 0016 (2009-01)

⑬ Yuta Fujita and Ken-ichi Tanaka, “Impovement of Image Reconstruction from Kinoform using Error-Diffusion Method”, Proc. International Workshop on Advanced Image Technology 2009, 0040 (2009-01)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田中賢一 (TANAKA KENICHI)  
明治大学・理工学部・准教授  
研究者番号: 80284587

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし