

# 直交関数系でつくる電子透かし

青森職業能力開発短期大学校 佐々木隆幸\*

青森職業能力開発短期大学校 川守田 聡

Digital Watermark made by Orthogonal Functions

Takayuki SASAKI, Satoshi KAWAMORITA

## 要約

これは電子透かしを制作し復元することを目的としたものである。情報技術の発展により多数のユーザ間で情報交換が容易になっている。反面、画像の改ざんや無断複写、著作権侵害、秘密情報の盗聴など社会的トラブルも発生している。そこで、これらを解消できるような電子透かしを制作する方法を開発した。その方法は直交関数系を用いた方法で、容易に電子透かしを制作することができ、簡単に復元できる方法である。この電子透かし制作・復元には3つの発想を用いている。1つ目は、情報信号に微小なランダム信号を加算してもほぼ情報信号と同じに見えるということ、2つ目は、直交関数系を用いることにより電子透かしを手軽に制作・復元できるということ、そして3つ目は、+1 か-1 の擬似ノイズを透かし情報に事前に乗算することで透かし情報をより一層ランダム化できるということの3つの発想である。制作した電子透かし画像と復元した電子透かし情報の画像を用いて、改ざんや、無断複写、そして秘密情報交換などへの適用例を報告する。

## I はじめに

情報技術産業の充実により、デジタルコンテンツの送信・受信が容易になり、しかも一度に大量のコンテンツを手軽に送信・受信できるようになった。このことはユーザ間の情報交換において有益なことである。創作した作品やアイデアを不特定多数の人々に広く発表したいとき、限定された特定少数の人々との情報交換したいときなどに便利で有効なものとなっている。反面、デジタルコンテンツの複写や修正に技術が悪用され不利益にはたらく場合もある。たとえば、工事現場のデジタル写真が改ざんされた状態で報告された事例や、創作者が多くの時間と費用をかけて制作したコンテンツが、いとも簡単に無断複写された事例、そして第三者に秘密情報が盗み見られた事例など

が、社会的トラブルとして現実に起きている。

そこで、デジタル情報交換において、コンテンツの改ざんの有無を見つけ出す方法、無断コピーを防ぎ著作者の権利を主張できる方法、そして秘密情報を安全に伝達できる方法<sup>(1) (2)</sup>として、直交関数系を用いて電子透かしを制作したので、それについて報告する。

既存の電子透かしに採用される直交関数系の大半は超越関数<sup>(3)(4)(5)</sup>であり、直交多項式による電子透かしはほとんど見当たらない。ここでは、電子透かしづくりに直交多項式が有意義であることを、従来の超越関数による電子透かしづくりと併記する形で示した。また、電子透かしづくりに直交多項式が有意義であることが学生の電子透かしづくりに役立つものとする。なぜならば、学生にとって多項式が身近な式であるからである。たとえば、4点  $x = 0, 1, 2, 3$  で定義される直

交多項式は、

$$1, 1 - \frac{2}{3}x, 1 - 3x + x^2, 1 - \frac{47}{3}x + 15x^2 - \frac{10}{3}x^3$$

という4つの多項式である。学生は、このような多項式に関する知識を、超越関数に関する知識よりも豊富にもっている。これらの多項式を入口とすることで、電子透かしづくりに取り組みやすくなるものとする。

## II 制作の発想

直交関数系でつくる電子透かしづくりは3つの発想に基づく。

ここで用いる用語を整理しておく。埋め込みたい透かし情報を電子透かし情報（または透かし情報）、電子透かし情報を埋め込む土台となる画像を土台画像、埋め込める状態につくり変えられた電子透かし情報の画像をホログラム、そして電子透かし情報が埋め込まれた土台画像を電子透かし画像（または電子透かし）と呼ぶことにする。

また、ランダム信号とはその自己相関関数がデルタ関数である信号を通常は指すが、ここでは自己相関関数がデルタ関数に近い信号であるならば、その信号もランダム信号と呼ぶ。電子透かしの条件は、埋め込まれた電子透かし情報の状態がランダム信号であること、その電子透かし情報は復元できることとする。

### 1 発想1 微小なランダム信号の加算

1つ目の発想は、ある情報信号に微小な信号を加えても、その微小な信号が微小であればあるほど、情報信号だけが見える。しかも、その微小な信号がランダムであればあるほど、そのランダム信号は情報信号に埋もれ、目立たなくなるという発想である。このことを下の式に書き表す。

$$\begin{aligned} & (\text{情報信号}) + (\text{微小なランダム信号}) \\ & \approx (\text{情報信号}) \end{aligned}$$

したがって、電子透かし情報を微小なランダム信号に変換<sup>6)</sup>することができれば、電子透かし情報を他の情報信号の中に透かしとして埋め込むことができる。

### 2 発想2 直交関数系による関数の展開

2つ目の発想は、直交関数系を用いて関数を展開するとランダム信号に変換することができるという発想である。

$(N+1)$ 個の点  $i = 0, 1, 2, \dots, N$  において定義された関数系  $\{\varphi_j(i)\} (j = 0, 1, 2, \dots, N)$  が内積

$$\sum_{i=0}^N \varphi_j(i) \cdot \varphi_k(i) = 0 \quad (j \neq k) \quad \dots\dots(1)$$

かつ  $\neq 0 \quad (j = k)$

を満たす直交関数系であれば、同じ点上で定義された関数  $f(i) (i = 0, 1, 2, \dots, N)$  を

$$f(i) = \sum_{j=0}^N a_j \cdot \varphi_j(i) \quad \dots\dots(2)$$

$$\text{ただし、} a_j = \frac{\sum_{k=0}^N f(k) \cdot \varphi_j(k)}{\sum_{k=0}^N \varphi_j(k) \cdot \varphi_j(k)}$$

と展開することができる。

すなわち、関数  $f(i) (i = 0, 1, 2, \dots, N)$  を係数  $a_j (j = 0, 1, 2, \dots, N)$  に書き換えたのである。

### 3 発想3 擬似ノイズでランダム信号化

発想2で得た係数  $a_j (j = 0, 1, 2, \dots, N)$  をより一層ランダム信号化するために、電子透かし情報に事前に擬似ノイズを乗算するという発想である。この乗算は直交関数系で展開する前段階で行う。その理由を述べる。

電子透かし情報を図1（以降、横軸は画素数、縦軸は大きさ）とする。これを、たとえば直交関数系

$$\left\{ \sin\left(\frac{j\pi}{N+1}i\right) \right\} \quad (i, j = 0, 1, 2, \dots, N)$$

で展開すると、係数  $a_j (j = 0, 1, 2, \dots, N)$  を得る。そのグラフを図2に示す。図2の左側には大きく変化している部分がある。しかし右側部分はほぼ一定で変化が小さい。変化する部分と、そうでない部分が明瞭

になることから、これをそのまま電子透かしとして使用すると、電子透かしの有無が目立つ。

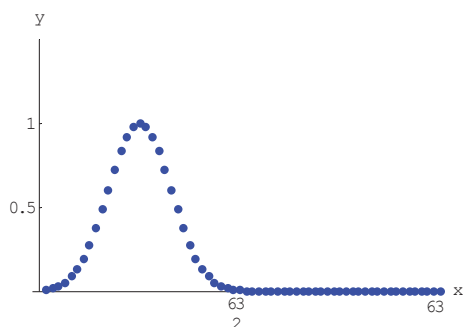


図 1 電子透かし情報

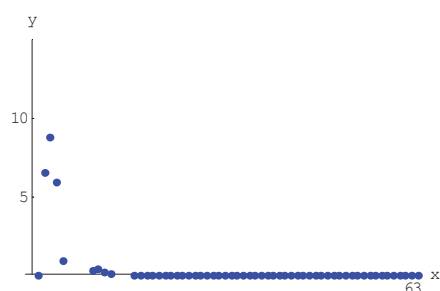


図 2 展開係数

そこで、擬似ノイズとして「+1」と「-1」で構成される擬似ノイズ系列を、電子透かし情報に乘ずる。図 3 が擬似ノイズ系列を乗算したグラフで、図 4 がそれを直交関数系で展開した後のグラフである。

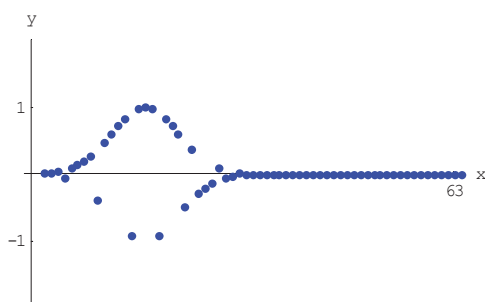


図 3 ノイズつき電子透かし情報

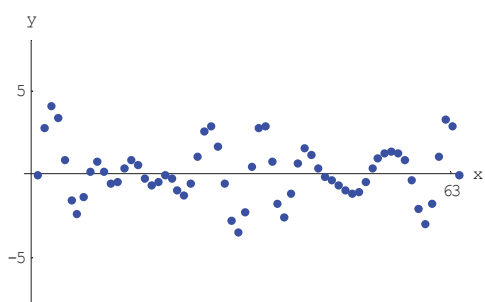


図 4 展開係数

図 4 からデータが広範囲に散在しランダム化している様子がわかる。

### Ⅲ 電子透かしの制作

3 つの発想を用いて、電子透かし画像をつくる。その手順を述べる。

最初に、電子透かし情報を用意する。

そして、(電子透かし情報) × (±1の擬似ノイズ系列)

次に、直交関数系で展開し、展開係数を算出する。

最後に、展開係数に微小な定数を掛け算し、土台画像と足し算して、電子透かし画像を得る。

電子透かしづくりに用いた直交関数系は 2 種類ある。代数関数グループからは直交多項式を、超越関数グループからは正弦関数を採用した。それぞれの場合について述べていく。

用意した電子透かし情報と、土台画像をそれぞれ図 5、図 6 に示す。ピクセルサイズは 64×64 で、ファイル形式はビットマップ形式である。また、以降では  $N$  を 63 とする。



図 5 電子透かし画像

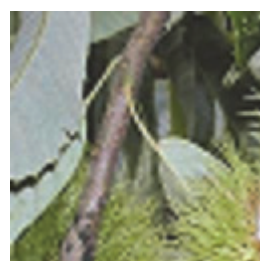


図 6 土台画像

#### 1 直交多項式でつくる電子透かし

##### 1-1 用いる直交多項式とそのグラフ

ここに用いた直交多項式  $P_j^N(i)$  は

$$P_j^N(i) = \sum_{k=0}^j (-1)^k \frac{(j+k)!}{k!(j-k)!k!} \cdot \frac{i!(N-k)!}{N!(i-k)!} \quad (i, j, k = 0, 1, 2, \dots, N) \quad \dots\dots(3)$$

で表される。

最初の  $j = 0, 1, 2, 3$  のときの直交多項式を示す。

$$P_0^N(i) = 1 \quad \cdots \cdots (4)$$

$$P_1^N(i) = 1 - \frac{2i!}{63(-1+i)!} \quad \cdots \cdots (5)$$

$$P_2^N(i) = 1 + \frac{i!}{651(-2+i)!} - \frac{2i!}{21(-1+i)!} \quad \cdots \cdots (6)$$

$$P_3^N(i) = 1 - \frac{10i!}{119133(-3+i)!} + \frac{5i!}{65(-2+i)!} - \frac{4i!}{21(-1+i)!} \quad \cdots \cdots (7)$$

それぞれのグラフを図 7、8、9、10 に示す。

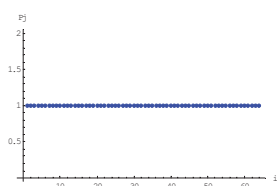


図 7 式 4

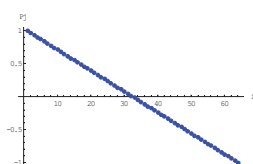


図 8 式 5

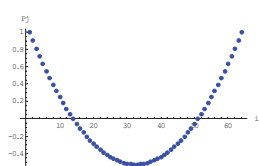


図 9 式 6

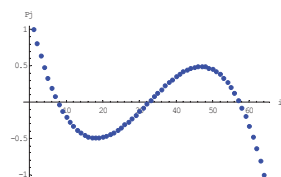


図 10 式 7

あわせて、 $j = 59$  のときの  $P_{59}^N(i)$  のグラフを図 11 に示す。最大値、最小値はそれぞれ  $+2.29 \times 10^{14}$ 、 $-2.29 \times 10^{14}$  である。

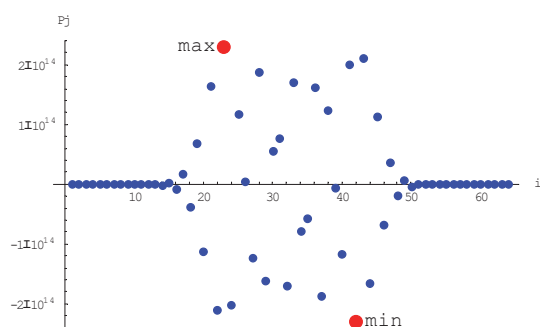


図 11 直交多項式  $P_{59}^N(i)$

ここに用いた直交多項式  $P_j^N(i)$  全体での最大値、最小値は

$$\text{最大値 } P_N^N(32) = 9.16 \times 10^{17}$$

$$\text{最小値 } P_N^N(31) = -9.16 \times 10^{17}$$

である。

$i = 0, 1, 2, \dots, N$  および  $j = 0, 1, 2, \dots, N$  における直交関数系  $P_j^N(i)$  の数値表は表 1 のとおり。

表 1 直交多項式  $P_j^N(i)$  の数値表

	0	1	32	62	63	i
0	1	1	...	1	...	1
1	1	0.97	...	-0.016	...	-0.97
...	...	...	...	...	...	...
32	1	-15.8	...	739.6	...	-15.8
...	...	...	...	...	...	...
62	1	-61	...	$-1.5 \times 10^{16}$	...	-61
63	1	-63	...	$9.16 \times 10^{17}$	...	63
j						

$P_j^N(i)$  の数値表をソフトウェア・プログラムにあらかじめ組み入れておく。

## 1-2 展開係数の求め方

次に、電子透かし情報を直交多項式で展開したときの係数を算出する。

電子透かし情報の画像は 2 次元関数  $f(x, y)$  で表現されるが、簡単化して、色が 1 種類で画像は 1 次元の場合で述べる。画像は点  $i = 0, 1, 2, \dots, N$  で定義されているものとする。透かし情報の画像は  $f(i)$  で与えられる。この透かし画像をランダムな画像に変換するために、前述の発想 2 と発想 3 による加工処理を行う。

最初に、 $f(i)$  に値が +1 と -1 の擬似ノイズ系列を乗ずる。その結果を  $f'(i)$  とする。

引き続き、それを直交多項式  $P_j^N(i)$  で展開する。

このときの展開係数  $a_j$  を電子透かし情報のホログラムとして取り出す。

その展開係数  $a_j$  は

$$a_j = \frac{\sum_{k=0}^N f'(k) \cdot P_j^N(k)}{\sum_{k=0}^N P_j^N(k) \cdot P_j^N(k)} \quad \cdots \cdots (8)$$

として算出できる。一連の過程を図 12 に示す。

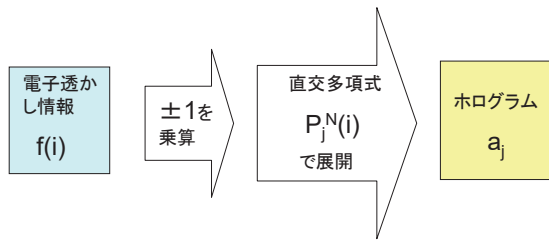


図 12 直交多項式でつくる電子透かし

以上で、1 次元における電子透かし情報の個々のデータが、表 2 に示すように、1 次元のホログラムの個々のデータに書き換えられたことになる。

表 2 電子透かし情報とホログラムのデータ対応

$i = 0$	$i = 1$	$i = 2$	$\cdots$	$i = N$
$f(0)$	$f(1)$	$f(2)$	$\cdots$	$f(N)$
$a_0$	$a_1$	$a_2$	$\cdots$	$a_N$

このことを残り  $N$  個の 1 次元画像に対して繰り返す、さらに残り 2 色に繰り返すと、電子透かし情報から 1 枚のホログラムを得ることができる。図 13 は、図 5 の電子透かし情報から作り出されたホログラムである。

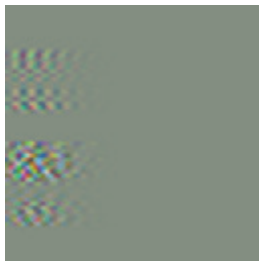


図 13 ホログラム

### 1-3 土台画像への埋め込み方法

このホログラムを微小なランダム信号とするために、定数  $0.0625 (=1/16)$  を乗ずる。それを土台画像に加算する。これが前述の発想 1 である。



図 14 土台画像



図 15 電子透かし画像

それにより、つくられたのが電子透かし画像である。土台画像と制作できた電子透かし画像を図 14 と図 15 に並べて示す。

## 2 正弦関数でつくる電子透かし

### 2-1 用いる正弦関数とそのグラフ

ここに用いた正弦関数は次のとおりである。

$$\left\{ \sin\left(\frac{j \cdot \pi}{N+1} i\right) \right\} \quad (i, j = 0, 1, 2, \dots, N)$$

$j = 0, 1, 2, 3$  のときの正弦関数を示す。 $j = 0$  は例外として採用する。

$$j = 0 \text{ のとき、} \left\{ \sin\left(\frac{0 \cdot \pi}{N+1} i\right) \right\} \quad \cdots \cdots (9)$$

$$j = 1 \text{ のとき、} \left\{ \sin\left(\frac{1 \cdot \pi}{N+1} i\right) \right\} \quad \cdots \cdots (10)$$

$$j = 2 \text{ のとき、} \left\{ \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{N+1} i\right) \right\} \quad \cdots \cdots (11)$$

$$j = 3 \text{ のとき、} \left\{ \sin\left(\frac{3 \cdot \pi}{N+1} i\right) \right\} \quad \cdots \cdots (12)$$

それぞれのグラフを図 16、17、18、19 に示す。

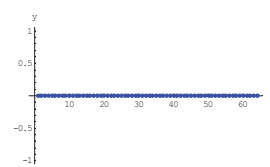


図 16 式 9

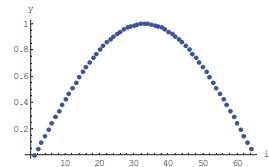


図 17 式 10

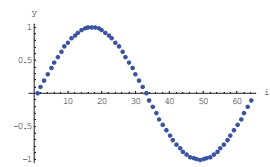


図 18 式 11

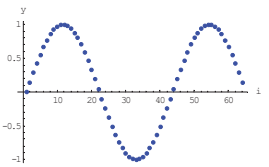


図 19 式 12

併せて、 $j = 59$  のときの  $\left\{ \sin\left(\frac{59 \cdot \pi}{N+1} i\right) \right\}$  のグラフを図 20 に示す。最大値、最小値はそれぞれ  $+1$ 、 $-1$  である。

正弦関数  $\left\{ \sin\left(\frac{j \cdot \pi}{N+1} i\right) \right\}$  全体での最大値、最小

値は、それぞれ+1、-1である。

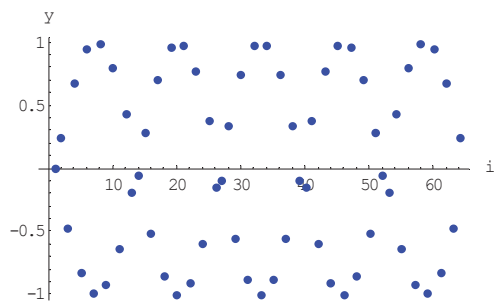


図 20 正弦関数  $\left\{\sin\left(\frac{59\pi}{N+1}i\right)\right\}$

$i = 0, 1, 2, \dots, N$  および  $j = 0, 1, 2, \dots, N$  における正弦関数  $\left\{\sin\left(\frac{j \cdot \pi}{N+1}i\right)\right\}$  の数値表は表 3 のとおり。  
正弦関数のこれらの数値はソフトウェア・プログラムの実行中に算出する。

表 3 正弦関数  $\left\{\sin\left(\frac{j \cdot \pi}{N+1}i\right)\right\}$  の対応表

	0	1	...	32	...	62	63
0	0	0	...	0	...	0	0
1	0	0.05		1		0.1	0.05
...	...	...		...		...	...
32	0	1	...	0	...	0	-1
...	...	...		...		...	...
62	0	0.1		0		0.2	-0.1
63	0	0.05	...	-1	...	-0.1	0.05

## 2-2 展開係数の求め方

電子透かし情報を正弦関数で展開したときの係数を算出する。

最初に、電子透かし情報  $f(i)$  に値が+1または-1のランダム系列を乗ずる。その結果を  $f'(i)$  とする。

次に、それを正弦関数  $\left\{\sin\left(\frac{j \cdot \pi}{N+1}i\right)\right\}$  で展開する。

このときの展開係数  $a_j$  を電子透かし情報のホログラムとして取り出す。

その展開係数  $a_j$  は

$$a_j = \frac{\sum_{k=0}^N f'(k) \cdot \sin\left(\frac{j \cdot \pi}{N+1}k\right)}{\sum_{k=0}^N \sin\left(\frac{j \cdot \pi}{N+1}k\right) \cdot \sin\left(\frac{j \cdot \pi}{N+1}k\right)} \quad \dots(13)$$

として算出できる。ここまでの過程を図 21 に示す。

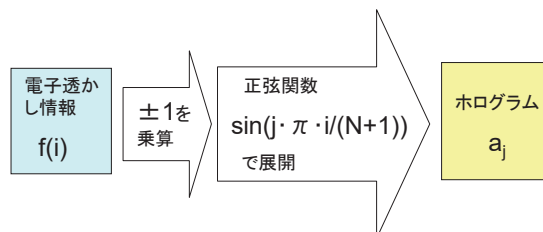


図 21 正弦関数でつくる電子透かし

1次元における電子透かし情報の個々のデータが、表 4 に示すように、1次元のホログラムの個々のデータに書き換えられたことになる。

表 4 電子透かし情報とホログラムのデータ対応

$i = 0$	$i = 1$	$i = 2$	...	$i = N$
$f(0)$	$f(1)$	$f(2)$	...	$f(N)$
$a_0$	$a_1$	$a_2$	...	$a_N$

このことを残り  $N$  個の 1次元画像に対して繰り返す、さらに残り 2色に対して繰り返す。

Ⅲ-1 の直交多項式の場合と異なる点は、一連のプロセスを電子透かし情報のタテ方向とヨコ方向に繰り返している点である。そうして、図 5 の画像から得たホログラムが図 22 である。



図 22 ホログラム

## 2-3 土台画像への埋め込み方法

上で得たホログラムを微小なランダム信号とするために、定数 0.0625 (=1/16) を乗ずる。それを土台画像に加算する。これが前述の発想 1 である。それにより、つくり出されたのが電子透かし画像である。土台画像と制作した電子透かし画像を図 23, 24 に並べて示す。





図 23 土台画像



図 24 電子透かし画像

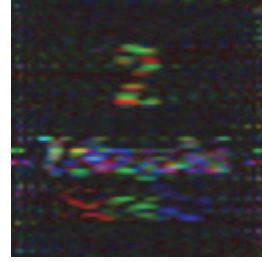


図 26 復元画像

#### IV 電子透かし情報の復元

電子透かし情報を復元する手順は次の通り。

最初に、電子透かし画像から土台画像を引き算すると、ホログラムだけが残る。

次に、ホログラムと直交関数系を掛け算すると、元の電子透かし情報を復元できる。

直交多項式の場合と正弦関数の場合の復元を個々に述べる。

##### 1 直交多項式による復元

電子透かし画像から土台画像を引き算したホログラムを図 25 に示す。



図 25 ホログラム

次に、このホログラムを行単位に区切り、ある行データを左端から順に  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_N$  とする。

これと直交多項式  $P_j^N(i)$  の積和から復元データを求めることができる。それは

$$f(i) = a_0 P_0^N(i) + a_1 P_1^N(i) + \dots + a_N P_N^N(i) \quad \dots(14)$$

である。この操作を繰り返すと、ホログラムから元の電子透かし情報を復元できる。復元できた画像を図 26 に示す。

##### 2 正弦関数による復元

電子透かし画像から土台画像を引き算したホログラムを図 27 に示す。

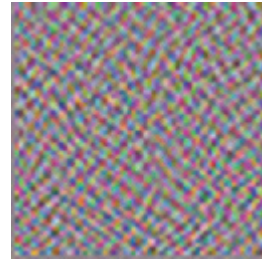


図 27 ホログラム

次に、このホログラムを行単位に区切り、ある行データを左端から順に  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_N$  として、

これと正弦関数  $\left\{ \sin\left(\frac{j \cdot \pi}{N+1} i\right) \right\}$  の積和から復元データを

を求めることができる。それは

$$f(i) = a_0 \sin\left(\frac{0 \cdot \pi}{N+1} i\right) + a_1 \sin\left(\frac{1 \cdot \pi}{N+1} i\right) \dots(15) \\ + \dots + a_N \sin\left(\frac{N \cdot \pi}{N+1} i\right)$$

である。これを繰り返すとホログラムから元の電子透かし情報を復元できる。列単位も同様に処理し、復元された画像が図 28 である。



図 28 復元画像

## V 適用例

直交関数系でつくる電子透かし適用例をみてもみる。

### 1 改ざんされた場合

電子透かし画像から土台画像を引き算したホログラムを直接に改ざんしてみる。ここでは場所を変えて改ざんする。以降の図 29, 30 の黄色点が改ざん位置である。改ざんされたホログラムを左側に、復元できた電子透かし情報を右側に並べてみる。

#### 1-1 直交多項式のとき

改ざん位置によって復元した電子透かし情報が顕著に異なることがわかる (図 29(a), (b), (c))。電子透かし画像に改ざん行為があれば、その行為を敏感に検知することができる。

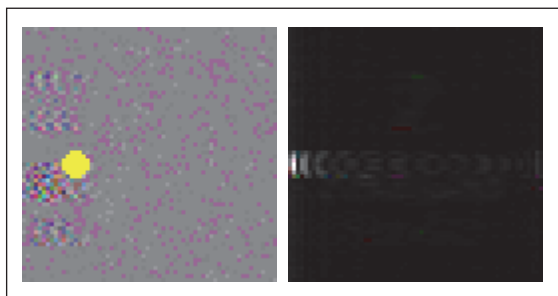


図 29 (a)

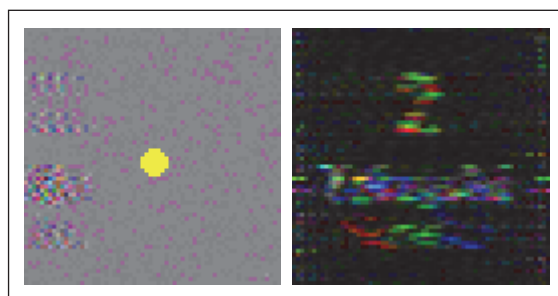


図 29(b)

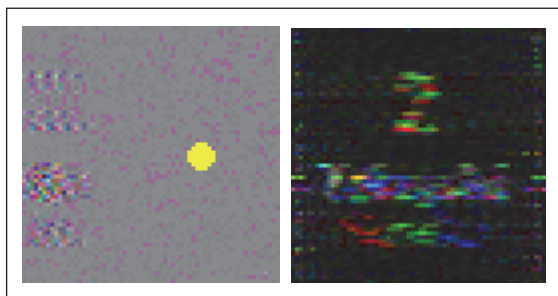


図 29(c)

#### 1-2 正弦関数のとき

改ざん位置に関わりなく電子透かし情報が復元されている。しかし、改ざんがない場合に比較して左下に画像の変化が現れている (図 30(a), (b), (c))。



図 30(a)



図 30(b)



図 30(c)

左下部分に柱状に白色ストライプが現れている。が、全体的には直交多項式の場合に比べて、改ざんに対して耐性が優れているといえる。

### 2 無断複写の場合

電子透かし画像に埋め込まれた電子透かし情報を復元することで、無断複写を知ることができる。電子透かし画像の著作権の権利を主張することができる (図 31, 32)。

直交多項式のとき



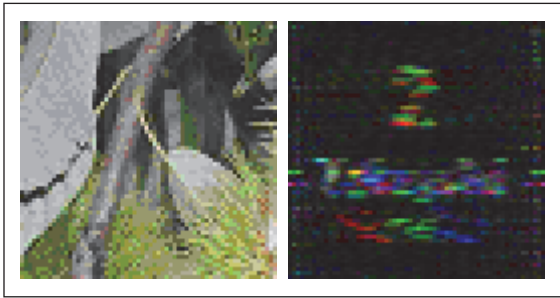


図 31 復元画像

正弦関数のとき



図 32 復元画像

### 3 盗み見られる場合

電子透かし画像は盗み見られても、そこに埋め込まれている電子透かし情報が復元されない限り安全である（図 33、34）。

直交多項式のとき



図 33 ホログラム

正弦関数のとき

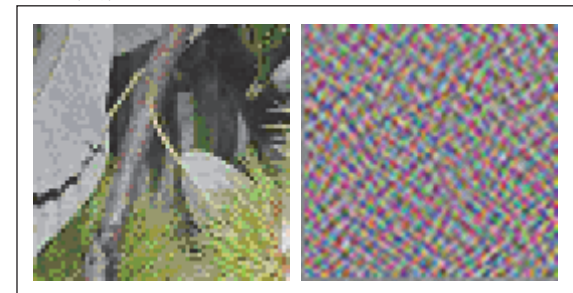


図 34 ホログラム

### 4 秘密情報を送る場合

秘密情報を秘かに特定の相手だけに送りたい場合は、土台画像よりも電子透かし情報の方に重要性をもたせている場合である。一方、無断複写の場合は透かし情報より土台画像そのものに重要性をもたせている場合である。

よって、秘密情報を送る場合は無断複写の場合と反対の適用例である。

直交多項式のとき

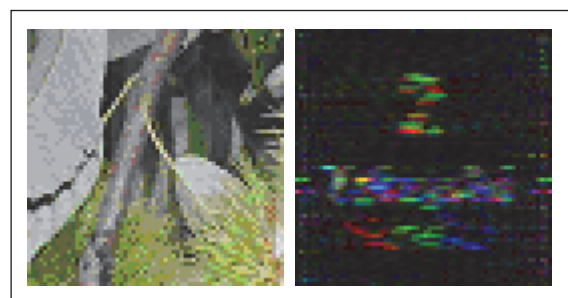


図 35 復元画像

正弦関数のとき



図 36 復元画像

直交多項式のときと正弦関数のときとでは、復元された電子透かし情報の鮮明さは異なるが、復元されない限り、どちらも秘密情報を安全に届けることができる（図 35、36）。

## VI おわりに

直交関数系でつくる電子透かしの制作と復元について、加工プロセスごとに必要な画像または作られる画像を中心に整理してみる。

#### (1) 直交多項式の場合

##### ① 制作するとき

制作するときのプロセスを図 37 に示す。

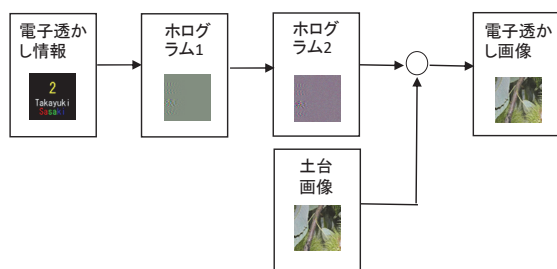


図 37 制作プロセス(直交多項式の時)

併せて、各過程における電子透かし情報、ホログラム 1、ホログラム 1 を 0.0625 倍したホログラム 2、土台画像、制作した電子透かし画像をそれぞれ図 37(a), (b), (c), (d), (e)に示す。

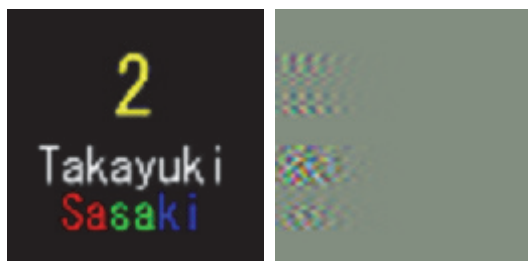


図 37(a)

図 37(b)

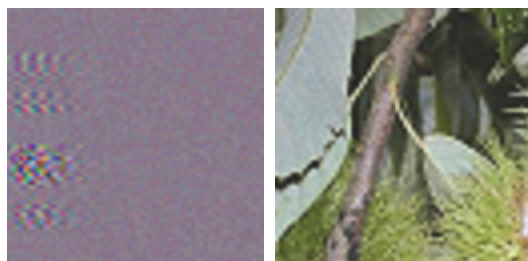


図 37(c)

図 37(d)



図 37(e)

## ②復元するとき

復元するときのプロセスを図 38 に示す。各過程における電子透かし画像、土台画像、ホログラム、復元した電子透かし画像をそれぞれ図 38(a), (b), (c), (d)に示す。

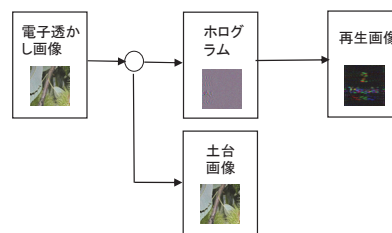


図 38 復元プロセス(直交多項式の時)



図 38(a)

図 38(b)

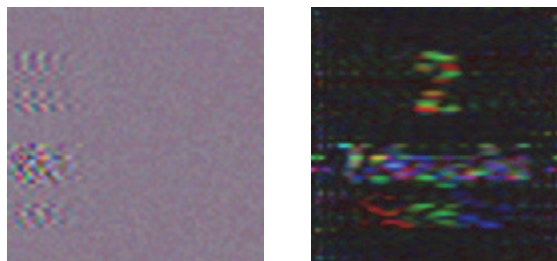


図 38(c)

図 38(d)

## (2)正弦関数の場合

### ①制作するとき

制作するときのプロセスを図 39 に示す。

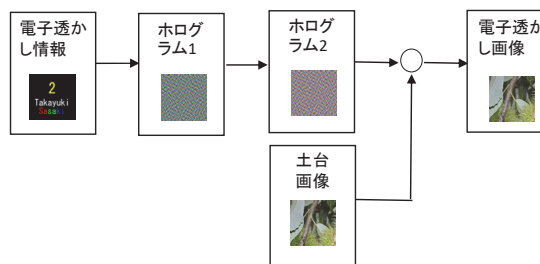


図 39 制作プロセス(正弦関数のとき)

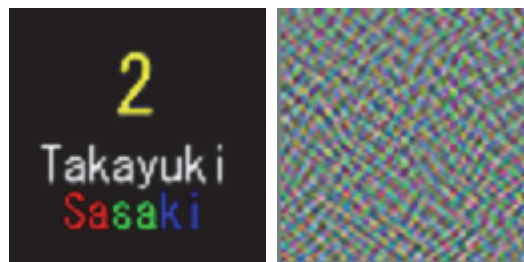


図 39(a)

図 39(b)

併せて、各過程における電子透かし情報、ホログラ

ム 1、ホログラム 1 を 0.0625 倍したホログラム 2、土台画像、制作した電子透かし画像をそれぞれ図 39(a), (b), (c), (d), (e)に示す。



図 39(c)



図 39(d)



図 39(e)

## ②復元するとき

復元するときのプロセスを図 40 に示す。各過程における電子透かし画像、土台画像、ホログラム、復元した電子透かし画像をそれぞれ図 40(a), (b), (c), (d)に示す。

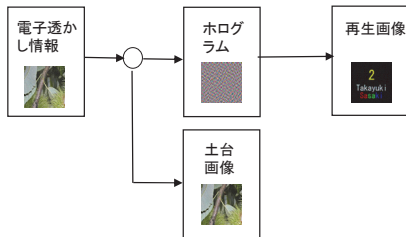


図 40 復元プロセス(正弦関数のとき)



図 40(a)



図 40(b)

直交関数系は、電子透かし情報からホログラムをつくる時、およびホログラムから電子透かし情報を復

元するときに必要不可欠なものとしてはたらく。



図 40(c)



図 40(d)

ここで、書き添えておきたいことが 2 つある。

(1)直交多項式の場合と正弦関数の場合で、復元された画質を比較すると、明瞭さに大きな差異がある。

この理由は、表 1 と表 3 の数値の範囲の差異にある。

表 3 の数値の範囲は+1.0 と-1.0 の範囲であるのに対して、表 1 の数値の最大値と最小値は

$$+9.16 \times 10^{17} \text{ と } -9.16 \times 10^{17}$$

である。よって、ビットマップ形式画像への書き出しや読み込み処理の制限により、ここでは復元に用いた直交多項式  $P_j^N(i)$  の  $j$  の値を  $j \leq 19$  の範囲に限定して、復元している。コンピュータ上だけで、直交多項式の  $j$  の値の範囲を変えながら復元すると、元の電子透かし情報に戻ることができる。その例として、 $j \leq 23$ 、 $j \leq 43$ 、 $j \leq N$  の範囲で復元した画像を図 41(a), (b), (c)にそれぞれ示す。



図 41(a)



図 41(b)



図 41(c)

(2)2 点目は発想 3 で述べた点である。電子透かし情報をランダム信号化するために、電子透かし情報に+1 または-1 の擬似ノイズ系列を乗算していたが、その影響はどこに消えたかである。

それは、ホログラムを元の電子透かし情報に戻す最終プロセスで、データに絶対値演算を施しているからである。この演算により擬似ノイズの影響が消滅している。

最後に、ここに述べた「直交関数系でつくる電子透かし」が、今後の著作権侵害防止やコンテンツの安全・確実な伝達方法などに大いに活用され、お互いの情報交換が盛んになることを期待する。

#### **[参考文献]**

- (1) 佐々木隆幸、2 枚の透かし情報画像を埋め込めた画像の制作と再生、特許庁、特願 2014-16156、2014 年
- (2) 佐々木隆幸、Hi-Tec 青森、東北職業能力開発大学校青森校産業技術高度化振興会、Vol.18、2014 年、p49
- (3) 大西淳児、小野東、電子透かしを用いた印刷画像の改ざん検知方法の検討、電子情報通信学会論文誌 D、Vol.J90-D、No.6、2007 年、pp.1483-1494
- (4) 木野将人、和田成夫、ビットデータを埋込み可能なウェーブレット画像透かし法、電子情報通信学会論文誌 A、Vol.J86-A、No.2、2003 年、pp.160-167
- (5) 栗林稔、田中初一、DCT 係数間の加法特性に基づく電子透かし、電子情報通信学会論文誌 A、Vol.J85-A、No.3、2002 年、pp.322-333
- (6) D.Gabor、A new microscopic principle、Nature、1948 年