

# 電子透かし入り音響・画像の制作技術

東北職業能力開発大学校

附属青森職業能力開発短期大学校 佐々木 隆 幸\*

Water Mark Technology on Sound/Picture

Takayuki SASAKI

**要約** セキュリティ技術が最近のネットワーク普及とともに急速に求められている。デジタル音響・画像の不正コピー・改ざんを防止するためのセキュリティ技術として、デジタル音響・画像に電子透かしを埋め込む電子透かし技術が注目されている。ここでは波の干渉を利用する電子透かしの一方式の開発を試みる。

電子透かしは、一般に次の原理に基づいて、透かし情報を音響・画像などのデジタル情報に埋め込む。音響・画像のデジタル情報に微小な不規則的なデジタル情報を加え合わせても、不規則的なデジタル情報は微小な情報であるので音響・画像のデジタル情報に隠れてしまい、見かけ上は音響・画像のデジタル情報しか知覚されない。ここで開発した電子透かし方式は、その不規則的なデジタル情報の作り方として、波の干渉現象を用いたことである。この干渉現象によって、電子透かしに用いる音響・画像をほぼ不規則的なデジタル情報に変えることができる。

この技術の特徴は電子透かし入り音響あるいは画像の一部分だけが不正にコピーされたとしても、その一部分だけからでも透かし情報全体を再生できることである。

## はじめに

最初にこの電子透かし技術の発想方法を述べ、次に制作方法を、最後にこの技術の特徴を述べる。

コンピュータ・ネットワーク技術が進歩し、デジタル情報が非常に手軽に取り扱えるようになってきた。その結果、ネットワークが一般家庭にも急速に普及し、誰でもがデジタル情報をいとも簡単にコピーしたり修正したりすることができるようになってきた。

それに伴い、そのコピーや修正がトラブルを引き起こす原因にもなっている。多額の費用と労力を掛けて制作したデジタル音楽や商標画像が著作権者の許可なく不正コピーされたり、建築現場・事故現場などの証拠となるデジタル写真や画像が簡単に改ざんされたりする。

そのため、デジタル情報の不正コピーや改ざんを

防止する技術が強く求められている。その防止技術の一つとして、電子透かし技術がある。ここでは、波の干渉を透かし情報の埋め込みに利用する電子透かし入り音響・画像の制作技術を開発<sup>1)</sup>したので、ここに紹介する。

## 原理

### 2.1 電子透かしの原理

電子透かし技術は、次の原理に基づいて、透かし情報を他の情報に埋め込む。

$$(\text{情報}) + (\text{微小な不規則信号}) \cong (\text{情報})$$

が成り立つという考えである。

時系列情報である音響信号  $f(t)$ 、あるいは平面空間情報である画像信号  $f(x, y)$  に、それぞれに微小な不規則信号つまり微小なランダム信号  $rand(t)$ 、 $rand(x, y)$

を加え合わせても、加え合わせるランダム信号が微小であればあるほど

$$f(t) + \text{rand}(t),$$

$$f(x, y) + \text{rand}(x, y)$$

は、それぞれほぼ  $f(t)$ 、 $f(x, y)$  として再生される。

## 2.2 波の干渉

「波の干渉」を用いると、意味ある情報を限りなくランダムな信号に加工することができる。以下にその理由を示す。

2つの波が重ね合わさると、干渉現象が発生する。2つの波源  $P$ 、 $Q$  から点  $R$  までの位置ベクトルをそれぞれ  $r_p$ 、 $r_Q$  として、それぞれの波源からの波の変位  $y_p$ 、 $y_Q$  を

$$y_p = A \sin(k r_p - \omega t)$$

$$y_Q = A \sin(k r_Q - \omega t)$$

ただし、 $A$  : 振幅、 $k$  : 波数ベクトル、 $\omega$  : 角周波数、 $t$  : 時間

と表すとき、 $R$  点での合成波の変位  $y$  は

$$y = 2A \cos \frac{k(r_p - r_Q)}{2} \sin \left\{ \frac{k(r_p + r_Q)}{2} - \omega t \right\}$$

となり、その振幅は

$$2A \cos \frac{k(r_p - r_Q)}{2}$$

になる。つまり、 $R$  点での振幅は波源からの距離によって、強め合ったり弱めあったりする。その結果として、平面全体に規則正しい干渉縞がみられる。以上は振幅、角周波数が互いに等しく位相差が一定の2つの波源からの干渉である。

しかし、振幅も角周波数もさまざまな多くの波源からある点における合成波はもっと複雑な干渉となり、平面全体にはランダムに近い干渉縞<sup>2)</sup>が発生する。

雨粒が降り落ちて池の水面を想像しよう。一つの雨粒が池に落ちると、そこに一つの波源ができ波が発生する。別の場所に落ちた雨粒はその位置に新しい波源をつくり別の波を起こす。多数の雨粒が池に同時に降り落ちると、その個数だけ波源ができ波がそれぞれに発生する。しかも雨粒の大きさや落下速度が異なるとすると、上に述べたような振幅、角周波数がさまざまな波源が多数個あるのと同じになる。こうしてできた池の水面全体の波紋がある瞬間の干渉縞である。そのとき干渉縞がランダムに近いことが容易に想像で

きる。実際に観察することもできる。

そして、ここで重要なことは、その干渉縞には各波源からの情報がすべて含まれているということである。

したがって、干渉縞を調べることにより、波源に関する情報を逆に遡って知ることができる。

## 音響・画像の電子透かし制作

上で述べた2つの原理を用いて、音響あるいは画像を電子透かし用の音響・画像に変換してみる。

時刻  $t$  に記録された音響の強さが  $f(t)$ 、位置  $(x, y)$  に記録された画像の明るさが  $f(x, y)$  として与えられる音響と画像を用いて説明する。音響、画像に関する式をそれぞれ併記していく。

最初に、これらをフーリエ変換すると、それぞれ次式の  $F(v)$ 、 $F(u, v)$  で示される複素数になる。

$$F(v) = \int f(t) e^{-i2\pi vt} dt$$

$$F(u, v) = \int f(x, y) \cdot e^{-i2\pi(ux+vy)} dx dy$$

これらの式は振幅と位相の両方の情報をもつ。つまり、一つの波に相当する。

次に、この波と干渉させるための、もう一つの波をそれぞれ次式のように任意に準備する。

$$R(v) = e^{i2\pi va}$$

$$R(u, v) = e^{i2\pi(ua+vb)}$$

以上の2つの波をそれぞれ次のように

$$F(v) + R(v)$$

$$F(u, v) + R(u, v)$$

重ね合わせる。

最後に、上式を絶対値2乗して、次式で表される大きさを記録する。ただし、\*は共役複素数を意味する。

$$F(v) \cdot R^*(v) + F^*(v) \cdot R(v)$$

$$F(u, v) \cdot R^*(u, v) + F^*(u, v) \cdot R(u, v)$$

これらの式は干渉縞の大きさを表し、振幅と位相の両方の情報が含まれている。しかも、この干渉縞はランダム信号に限りなく近い信号となっている。

その実例を以下に示す。図1は透かし情報に用いた音響と記録された干渉縞である。上側波形が透かし情報に用いたステレオ音響で、下側波形が重ね合わせた結果のステレオ干渉縞音響である。干渉縞音響がランダムに限りなく近いことがわかる。

次に、画像の場合を図2に示す。図2(a)は透かし情報に用いた画像で、図2(b)は干渉結果の干渉縞画像である。この干渉縞画像もほぼランダム信号であることがわかる。

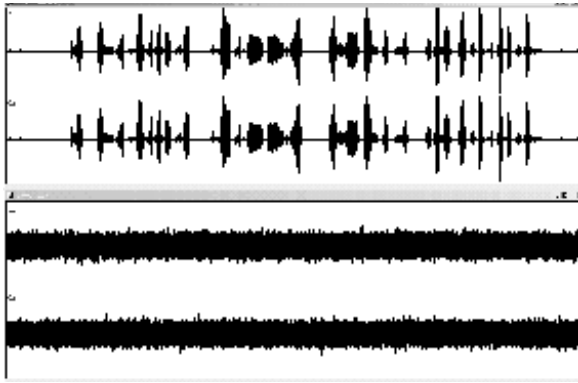


図1 透かし情報の音響(上)と干渉縞音響(下)

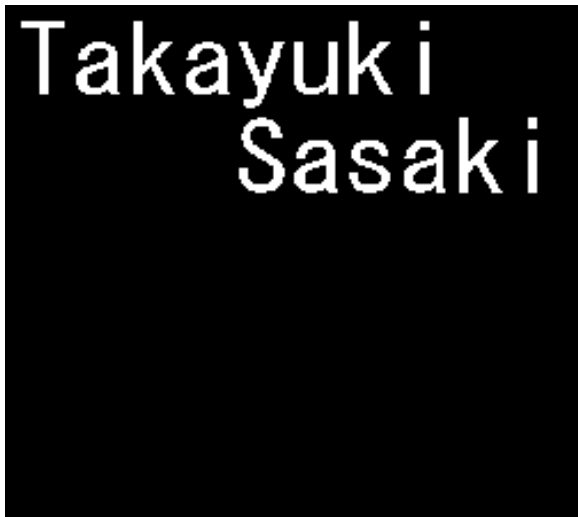


図2(a) 透かし情報の画像



図2(b) 干渉縞画像

## ・音響・画像の重ね合わせ

任意の新規の音響信号  $g(t)$  に前節図1の干渉縞音響  $F(v) \cdot R^*(v) + F^*(v) \cdot R(v)$  を加え合わせる。それを図3に表す。下側波形の音響が干渉縞を重ね合わせた電子透かし入り音響である。

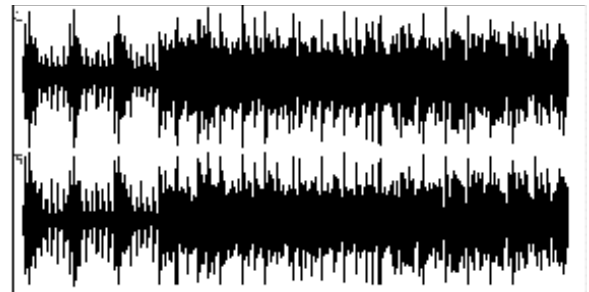
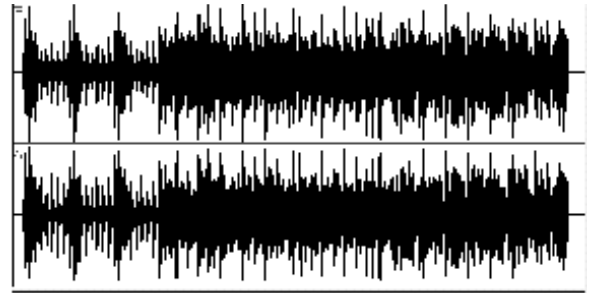


図3 重ねる前の音響(上)と電子透かし入り音響(下)

すなわち、上側波形が任意の音響

$$g(t)$$

で、下側波形が電子透かし入り音響

$$g(t) + F(v) \cdot R^*(v) + F^*(v) \cdot R(v)$$

である。

同様に、任意の画像

$$g(x, y)$$

に前節図2(b)の干渉縞画像

$$F(u, v) \cdot R^*(u, v) + F^*(u, v) \cdot R(u, v)$$

を加え合わせる。

それを図4に表す。図4(a)が任意の画像

$$g(x, y)$$

図4(b)が干渉縞を重ね合わせた電子透かし入り画像

$$g(x, y) + F(u, v) \cdot R^*(u, v) + F^*(u, v) \cdot R(u, v)$$

である。

以上の方法で、電子透かし入り音響あるいは電子透かし入り画像を制作することができる。



図4 (a) 重ね合わせる前の画像



図4 (b) 電子透かし入り画像

### 再生方法

電子透かし入り音響あるいは電子透かし入り画像から、透かし情報に用いた音響あるいは画像をそれぞれ再生するには、逆フーリエ変換する。つまり

$$\begin{aligned} & \int (F(v) \cdot R^*(v) + F^*(v) \cdot R(v)) \cdot e^{i2\pi vt} dv \\ &= f(t - a) + f(-t - a) \\ & \int (F(u, v) \cdot R^*(u, v) + F^*(u, v) \cdot R(u, v)) \cdot e^{i2\pi(ux + vy)} dudv \\ &= f(x - a, y - b) + f(-x - a, -y - b) \end{aligned}$$

と再生することができる。

したがって、再生された音響あるいは画像にはそれぞれ複素共役な音響  $f(-t - a)$  あるいは画像  $f(-x - a, -y - b)$  が現れる。そのことは図6の画像に示されている。実像と虚像の画像が現れている。

なお、図5の音響に複素共役の音響（虚像に相当する音響）が現れてないのは、横軸の時間長をソフトウェアで事前に半分にカットしているからである。

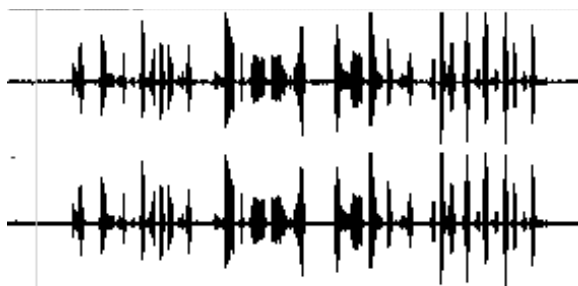


図5 再生された透かし情報の音響

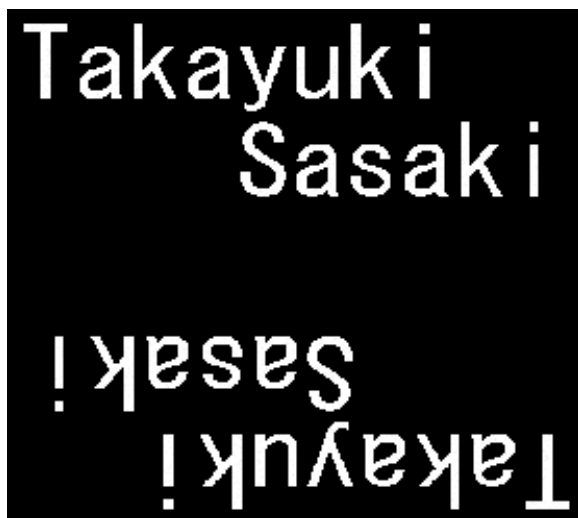


図6 再生された透かし情報の画像

### 技術の特徴

この電子透かし技術の特徴は、電子透かし入り音響あるいは画像の任意の一部分だけを切出して再生しても、透かし情報に用いた音響あるいは画像の全体を再生することができる点である。

図7に画像の場合を例として、部分画像の再生を示す。電子透かし入り画像の左上コーナーを中心に、2、4、16、32分割した画像を切出してそれぞれ再生した。分割数が大きくなると、文字画像の鮮明さが弱まるが、電子透かし文字画像の全体が再生される。



図7 部分画像から再生された透かし情報

この再現性を数値化するため、次式の相関係数を求める。

$$r = \frac{\sum \{f_1(x, y) - \overline{f_1(x, y)}\} \{f_2(x, y) - \overline{f_2(x, y)}\}}{\sqrt{\sum \{f_1(x, y) - \overline{f_1(x, y)}\}^2} \cdot \sqrt{\sum \{f_2(x, y) - \overline{f_2(x, y)}\}^2}}$$

ただし、 $f_i(x, y)$  : 画像  $i$  のデータ

表1 再現性の相関係数

	分割なし	2分割	4分割	8分割	16分割	32分割
相関係数 $r$ (%)	100.0	88.3	83.6	81.3	73.7	66.5

$\overline{f_i(x, y)}$  : 画像  $i$  のデータ平均値

その結果を図8と表1に示す。

・おわりに

電子透かしの制作技術の発想を中心に紹介してきた。電子透かし技術には他にも様々な方法がある。しかし、ここに紹介した技術は、音響あるいは画像の一部分だけの再生からでも、透かし情報に用いた音響全体あるいは画像全体を再生できるという特徴を持った電子透かし技術である。

この電子透かし技術が不正コピー防止や改ざん防止のセキュリティ対策だけでなく、デジタルデータ通信の圧縮技術にも役立つことを期待する。

[ 参考文献 ]

- (1) 佐々木, “電子透かし入り画像の生成工法”, 特願 2001 - 319976, 2001年 9月
- (2) D.Gabor “A new microscopic principle”, Nature, Vol. 161, p. 777 - 778, May 1948.

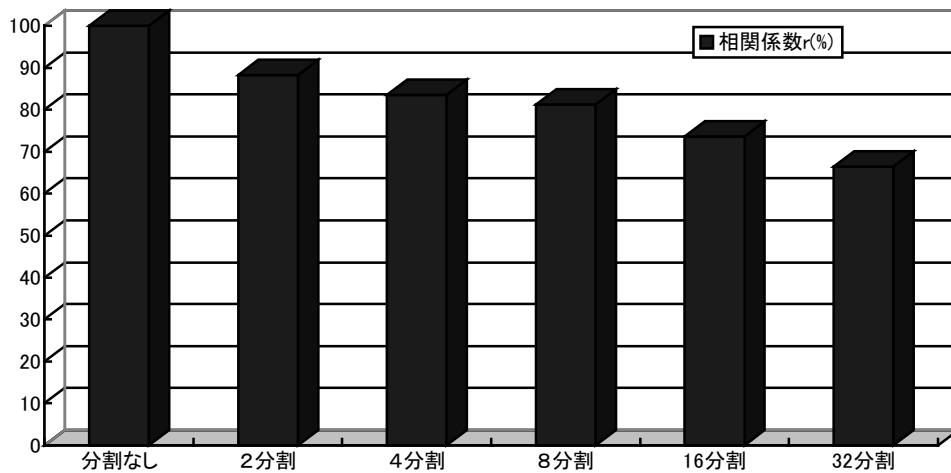


図8 再現性の相関係