

CRT再撮映像に耐性を有する電子透かし実験  
 Fundamental Experiments of a New Watermark Surviving after Re-shooting the Images  
 Displayed on a Screen

中村 晴幸† 合志 清一† 藤井 亮介‡ 伊藤 浩‡ 鈴木 光義‡ 高井 重典¶ 谷 愉佳里¶  
 Haruyuki Nakamura Seiichi Gohshi Ryousuke Fujii Hiroshi Ito Mitsuyoshi Suzuki Shigenori Takai  
 Yukari Tani

1. まえがき

電子透かしは、デジタルコンテンツに対して、著作権情報を透かしとして埋め込むことで、不正な記録や流通への抑止力および明確な著作権の明示となりうる。

参考文献[1]でNTSCモニタを民生用NTSCカメラで再撮した映像からでも電子透かしが検出可能な埋め込み、検出技術について述べた。本稿では、その技術を用いた実験について述べる。

2. 実験内容

参考文献[1]で再撮耐性を有する電子透かしアルゴリズムについて述べた。本方法で電子透かしを埋め込み、検出した実験結果を示す。実験から本技術が有効であることを示す。

実験系統図を図1に示す。モニタは30インチのNTSC用CRTモニタを、カメラは、1/3型CCD固体撮像素子(約38万画素)の民生用NTSCカメラを使用した。電子透かしを埋め込んだ映像を再生し、モニタに映し出す。それをカメラで再撮し、その再撮信号を電子透かし検出機に入力し、透かしの検出を行う。電子透かしの埋め込みはリアルタイムでないが、検出はリアルタイムの実験装置を開発し、使用した。

ここで、実験のため、電子透かし信号として式(1) (式(2))を満たす次の3つの2次元関数を選択した。

$$\int_0^B \int_0^A g_1(x,y) dx dy = 0 \quad (1)$$

$$g_1(x,y) = -\alpha \cos\left(\frac{\pi x}{A}\right) + \alpha \cos\left(\frac{\pi y}{B}\right) \quad (2)$$

$$g_1(x,y) = \alpha \sin\left(\frac{2\pi x}{A}\right) + \alpha \cos\left(\frac{2\pi y}{B}\right) \quad (3)$$

$$g_1(x,y) = \alpha \sin\left(\frac{2\pi x}{A}\right) \times \alpha \cos\left(\frac{2\pi y}{B}\right) \quad (4)$$

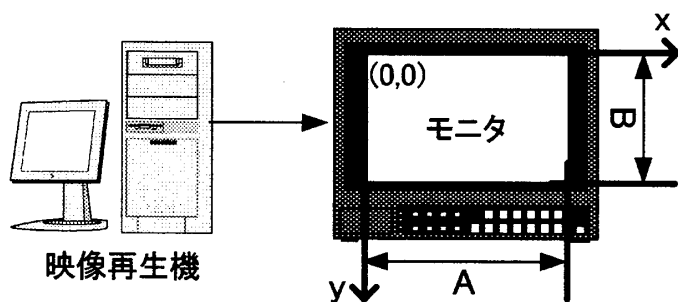


図1 実験概要図

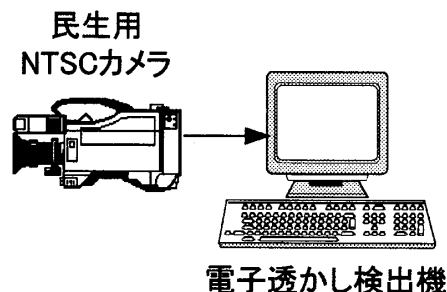
Picture names	Source	Frame number
Woman with Birdcage	ITE	1~450
Buddhist Images	ITE	451~900
Buildings along a Canal	ITE	901~1350
Character Pattern	ITE	1351~1800
Chromakey(Flowers)	ITE	1801~2250
Church	ITE	2251~2700
Flash Photography	ITE	2701~3150
Ice Hockey	ITE	3151~3600
Horse Race	ITE	3601~4050
Group Game	ITE	4051~4500
Overlap	ITE	4501~4950
Skyscrapers	ITE	4951~5400
Whale Show	ITE	5401~5850
Bicycles	MPEG	5851~6300
Cheerleaders	MPEG	6301~6750
Flower Garden	MPEG	6751~7200
Football	MPEG	7201~7650
Carousel	MPEG	7651~8100
Susie	MPEG	8101~8550
Wool	MPEG	8551~9000

表1 実験に用いた動画像

モニタの水平座標をx、垂直座標をy、電子透かしの埋め込み強度をαと定義する。Aを画面の全幅、Bを画面の全高とする(図1)。

式(2)に対して、cosとsinでの振舞いの違いを見るため直交成分を足し合わせた式(3)を用意した。このとき、周期も変更した。更に、直交成分を足した場合と掛けた場合の違いをみるため、式(4)を用意した。

例えば、αを1としたとき、画素の輝度値は最大でオリジナル信号+1とし、αを2としたとき、最大でオリジナル信号+2とする。ここで、透かし信号として、1を埋め込みたいとき、αを例えば+1などの正とし、0を埋め込みたいとき、αを例えば-1などの負とする。このとき



† 日本放送協会 放送技術研究所,  
 NHK Science & Technical Research Laboratories

‡ 三菱電機(株) 情報技術総合研究所, Mitsubishi Electric Corporation  
 Information Technology R&D Center

¶ 三菱電機エンジニアリング(株), Mitsubishi Electric  
 Engineering Corporation

$$\int_{-t_0}^{t_0} \int_0^B \int_0^A (f_{DC}(t) + f_{AC}(x, y, t) + g(x, y, t)) g(x, y, t) dx dy dt \quad (5)$$

$f_{DC}(t)$ : 映像信号の直流成分

$f_{AC}(x, y, t)$ : 映像信号の交流成分

$g(x, y, t) = g_1(x, y)g_2(t)$ : 時間  $t$  の変数を持つ電子透かし信号

式(2)、(3)の取りうる値の範囲は-2から+2、式(4)の取りうる値の範囲は-1から+1となる。即ち、式(4)では透かし埋込みによる画素の輝度値の変化幅が小さいので、電子透かし埋込みの強度は式(2)、(3)に比べ弱い。 $\alpha$ が2の場合、式(2)、(3)の取りうる範囲も式(4)の取りうる範囲も-4から+4であるが、式(4)の方が  $\sin$ 、 $\cos$  の積であるので、値は小さくなり、埋込み強度は弱い。 $\alpha$ が3の場合は、前者が-6から+6であるのに対し、後者は-9から+9であるので、式(4)での埋込み強度は強い。

本実験では、450フレーム毎に2ビットの情報を埋め込んだ。実験では、表1のようにITEおよびMPEG標準動画像(20種類、各450フレーム(15秒)、計300秒)を使用した。また、電子透かしとして埋め込む信号は、映像に対して非常に低い周波数のため、影響を受け検出が困難と思われる下記の映像を基準に選別した。

- ・時間的に低い周波数を含むパンのある映像
- ・直流成分の変動が大きいカットチェンジ、オーバーラップを含む映像(Flash Photography, Overlap など)

電子透かしを埋め込んだこれらの映像信号と電子透かし信号の積の積分値を式(5)のように計算した([1]式(7))。透かし信号と埋め込まれた透かし信号が一致している場合に、この値は大きな正の値となる[1]。この計算結果に対して閾値を設定することで、電子透かしの埋め込み可否が判定可能となる。この値がある閾値以上となるフレームには、透かしが埋め込まれていると考えられる。

### 3. 結果

標準動画像[4]による実際の画像比較を図2に示す。上図は Buildings along a Canal のオリジナルの映像、中図はその再撮映像、下図は式(4)の透かしを埋め込み強度1で埋め込んだ映像の再撮映像である。

図2より、電子透かし埋込みによる画質劣化は視覚的にほぼ認識されることが明らかになった。電子透かしの必要条件の一つは、オリジナル映像から画質が劣化せず、透かしが視覚的に認識できないことであるが[5]、本方式はその条件を満たしているといえる。また、再撮映像は、元の映像に比べ解像度の劣化は認められるが、十分鑑賞に堪えるレベルといえる。

電子透かし信号として式(2)を適用し、埋め込み強度  $\alpha$  を1から3まで変化させた場合の実験結果を図3に示す。x軸はフレーム番号で、y軸は計算結果(式(5))である。

ここで、計算結果の閾値を20,000に設定すると、各埋込み強度で各々約93.9%、97.6%、99.0%のフレームでその閾値以上になることが確認でき、電子透かしが埋め込まれていると判定される(図3)。即ち、電子透かしに求められる必要条件の一つである、非常に高い電子透かしの検出率となった[5]。同様に式(3)、(4)についても行った実験結果を各々図4、5に示す。以上の結果から、各式における埋め込み強度別の電子透かしの検出率を表2にまとめる。

表から、いずれの式においても、埋め込み強度を強めれば、電子透かしの検出率が100%に近づくことが明らかになった。しかし、埋め込み強度  $\alpha$  が2以下の場合、画質劣化はほぼ認められなかったが、 $\alpha$  が3の場合、多くの画像で透かしが視覚的に確認可能であったので、映像により  $\alpha$  を2以下とすることが必要である。

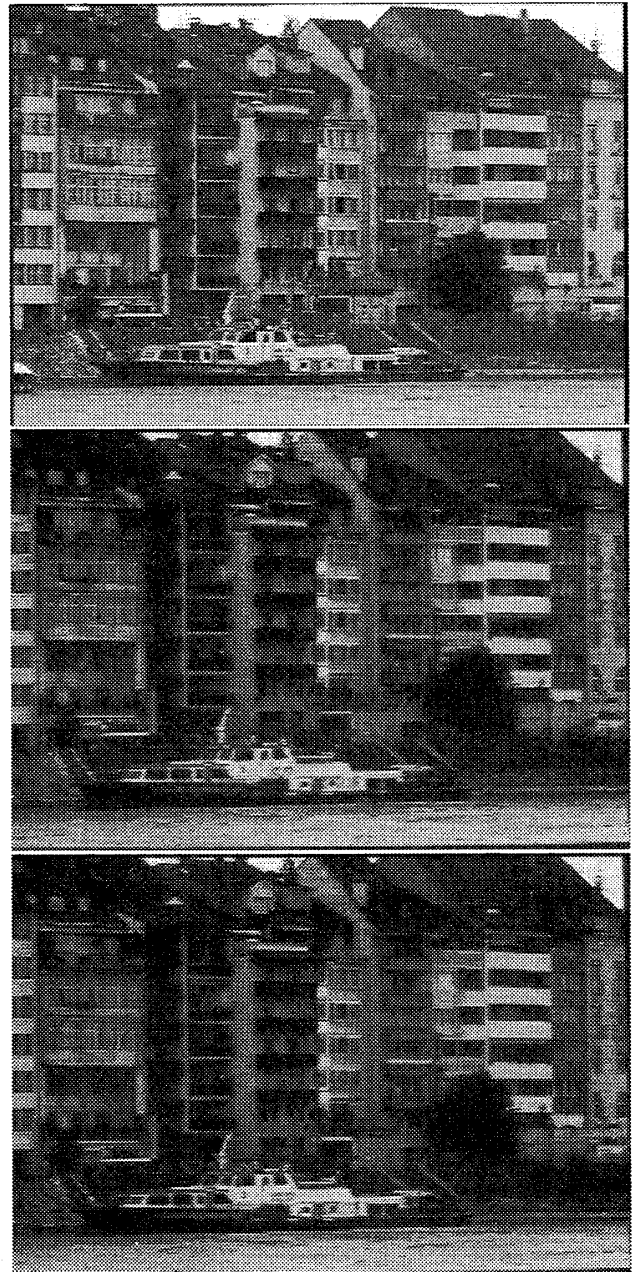


図2 オリジナル映像(上)、再撮映像(中)および電子透かし埋め込み再撮映像(下)の例

図3, 4, 5より、いずれの式においても、ITEのFlash PhotographyやHorse Race、MPEGのCheerleadersやFootball動画像などのパンの動きがある映像や激しい動きの映像、カットチェンジの多い映像の一部で計算値が閾値未満となった。それ以外の静止画または動きが小さい映像では、計算値が閾値以上で透かしが検出された。また、式(2)と式(3)では、全ての映像において同様な傾向となったので、sin、cosでの違い、異なる周期での違いは見出せなかった。上記のようなパンの動きがある映像などにおける検出率向上のための対策として、透かしの信号を、時間の変数も加えた3次元関数とすることが有効である。

また式(4)は、式(2)、(3)に比べ、 $\alpha$ が1,2までの場合、画素の輝度値の変化幅が小さいため透かし埋込みによる

画質への影響が小さいが、十分な検出率が得られることが明らかになった。

検出率が100%でない場合、計算結果が閾値未満となっているフレームが存在することを意味する。これは透かし検出率の生のデータであり、この場合、通常、誤り訂正処理を行うことになる。透かし検出の誤り率は通常の伝送ラインでの誤り率より高くなるので、リードソロモン符号やBCD符号などの一般的な誤り訂正は適さない。電子透かしでは、多数決による誤り訂正が一般的に使用される。

本実験では、450フレーム毎に2ビットの情報を埋め込み、多数決による誤り訂正処理を行うこととした。その結果、すべての450フレームから埋め込まれた2ビットの情報を検出可能である。

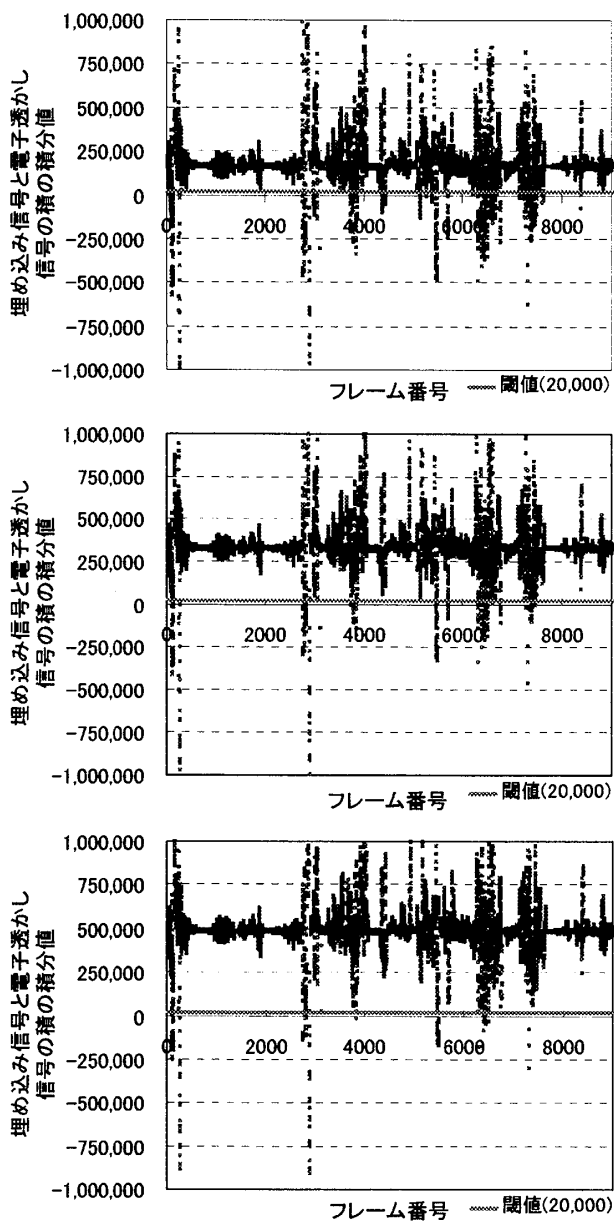


図3 式(2)による埋め込み強度別の実験結果 (一部分) (上: 1、中: 2、下: 3)

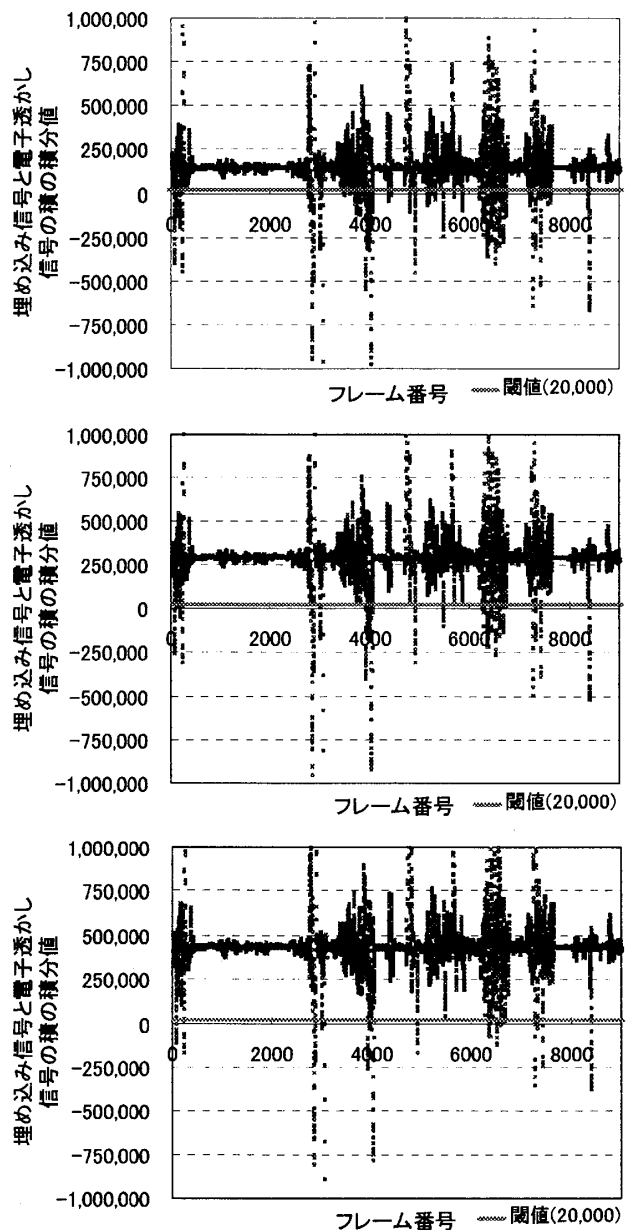


図4 式(3)による埋め込み強度別の実験結果 (一部分) (上: 1、中: 2、下: 3)

この実験結果より、本方式は、再撮した映像からでも検出可能な電子透かしの方式として十分有効であることを示した。

4. まとめ

本稿では、再撮した映像からでも検出可能な電子透かし埋込み、検出方法の実験を行った。

その結果、本方式は電子透かし検出率や映像品質における電子透かしの必要条件を満たし、有効であることを確認した。今回は2次元関数のみでしか実験を行っておらず、3次元関数を用いることで、より良い電子透かしを開発可能である。

民生用機器の高性能化により、近い将来、家庭用TVモニタの再撮によるコンテンツの高品質な不正コピーが

電子透かし	埋め込み強度		
	1	2	3
式(2)	93.9%	97.6%	99.0%
式(3)	92.5%	96.8%	98.4%
式(4)	83.0%	97.2%	99.6%

表2 埋め込み強度別の電子透かし検出率

行われる可能性がある。電子透かし自身は、コンテンツの不正コピー自体を不可能にはできないが、不正コピーを妨げる最後の防御策となりえる。本技術を実用化するため、今後、埋め込み関数の拡張、電子透かしの検出精度の向上、対応するモニタ、カメラの拡張について、検討を進めていく。

[参考文献]

- [1] S. Gohshi, H. Nakamura, H. Ito, R. Fujii, M. Suzuki, S. Takai, Y. Tani, "A New Watermark Surviving after Re-shooting the Images Displayed on a Screen", FIT2005
- [2] <http://www.sarnoff.com/news/>
- [3] <http://www.nikkei.co.jp/news/shakai/20050221AT1G2101521022005.html>
- [4] [http://www.ite.or.jp/products/testchart\\_index.html](http://www.ite.or.jp/products/testchart_index.html)
- [5] 松井甲子雄、"電子透かしの基礎"、森北出版、pp. 7-9 (1998)

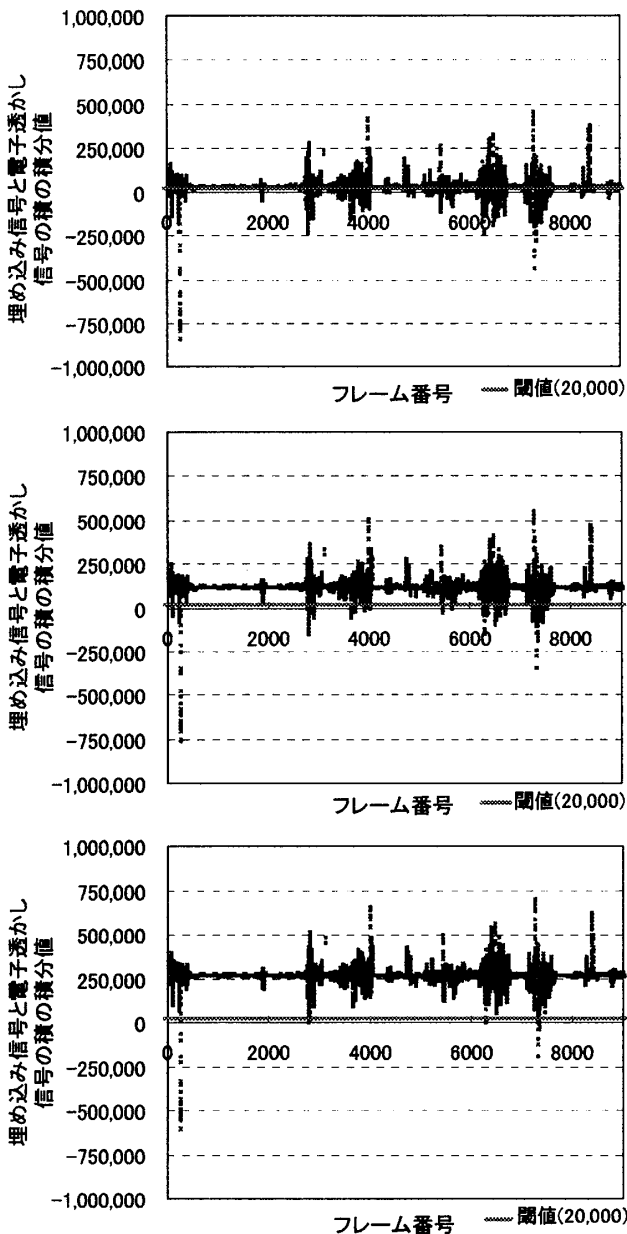


図5 式(4)による埋め込み強度別の実験結果 (一部分) (上: 1、中: 2、下: 3)