

酒澤 茂之<sup>†</sup>  
Shigeyuki Sakazawa

滝嶋 康弘<sup>†</sup>  
Yasuhiro Takishima

和田 正裕<sup>†</sup>  
Masahiro Wada

羽鳥 好律<sup>†</sup>  
Yoshinori Hatori

## 1. はじめに

デジタル画像の著作権保護・管理を目的として、電子透かし技術[1]が注目されている。電子透かしは、視覚的に認識されない形で画像中に情報を秘匿する技術で、圧縮や画像処理によっては容易に除去できないことが要件とされている。静止画像電子透かし除去の困難さの尺度としては、StirMark[2]による攻撃が主要な指標として用いられており、動画像に対しても評価尺度の共通化の観点から適用が望まれている。しかし、StirMark は静止画像に対する攻撃ツールとして開発されたもので、動画像への適用に関しては深い検討はされておらず、特に主観画質への悪影響についての評価が不十分である。そこで、本稿では動画像特有の特性の観点から評価を行う。

## 2. StirMark

StirMark は静止画像を印刷し、それをスキャナーで取り込むことを模擬した攻撃である。攻撃の狙いとしては、主観的な画質劣化を回避しつつ電子透かし検出の「同期を外す」ために、画素位置をずらす点にある。StirMark には様々なツールが用意されているが、ここでは幾何学的な攻撃を与える4つのオプションを用いる。いずれもデフォルトのパラメータ値が定義されている。

### 1) i オプション

画像フレームの外周領域を削除し、内部領域を拡大する。拡大に伴う画素の再サンプリングは双線形補間による。外周領域の削除量をパラメータとして与えることができる。

### 2) o オプション

画像フレームの外周領域を外挿し、外挿部分を含めた画像フレーム全体を縮小する。外挿幅をパラメータとして与えることができる。

### 3) b オプション

画像フレーム全体の幅・高さを半周期とする正弦波による画素位置ずらしを行う。正弦波の振幅は、パラメータにより与えられる。水平線は垂直方向に振動する正弦波により、垂直線は水平方向に振動する正弦波により変位するため、画素ズレは画像フレーム中央部で最大となる。

### 4) r オプション

20 画素を一周期とする正弦波による画素位置ずらし。正弦波の振幅は、パラメータを乱数値で乗じたもの。水平・垂直方向の正弦波を乗じたものにより、水平線、垂直線双方とも画素位置が変位する。

## 3. 動画像への適用と画質への影響

動画像へ StirMark 攻撃を与える場合、動画像中の各画像フレームに対して個別に適用する。ところが、StirMark は幾何学ひずみを乱数により局所的に変化させるだけでなく、画像フレームごとに異なる乱数系列を用いるため、動画像としてみたときにカメラが振動しているような画像となる。そこで、StirMark では乱数系列を画像フレームで固定化するモードを具備し、動画像を対象とする場合にこのモードを用いることを推奨している。以下の節では、それ以外の適用条件の観点から評価を行う。

### 3.1 移動オブジェクトへの影響

StirMark 攻撃が画像に与える影響を直感的に捉えるため、20 画素ごとに白色の水平線と垂直線を引いたグリッド画像に対して、デフォルトパラメータによる StirMark 攻撃を適用した。攻撃後の画像は、i, o オプションによって全体的に「かしぐ」のに加えて、b オプションによる正弦波カーブに従って、水平垂直線が湾曲した画像となる。湾曲による画素ズレは最大で 3 画素である。画素ズレ量が整数でない場合には、近隣の元画像のサンプル点から補間される。典型的な箇所の部分拡大画像を図 1 に示す。

図 1 から、元の画像では 1 ラインの直線が、上記の補間された画素位置では、中間調の輝度値が 2 ラインにわたって現れていることがわかる。さらに、その中間調部分において輝度値に 20 画素周期の濃淡のパターンができていることも観察される。

動画像において、このような濃淡のパターンがある領域をオブジェクトが水平移動するときに、視覚上の不自然な効果を生む恐れがある。そこで、CIF 画像(352 画素 x 288 ライン x 30 フレーム/秒)の"Coast Guard"に対して、デフォルトパラメータの StirMark 攻撃を与えたところ、船の舷側部分の水平線が波打つように見える現象が観測された。図 2 に第 39 フレームと 42 フレームの部分拡大画像を示す。図中に楕円で囲った箇所において、黒い舷側部分が第 42 フレームでは上にずれていることが分かる。このズレは、

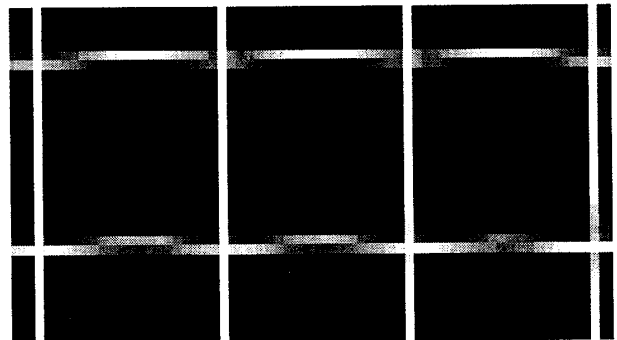


図 1 グリッド画像への StirMark 攻撃結果

<sup>†</sup>(株)KDDI 研究所 KDDI R&D Laboratories, Inc.

1 ライン程度にすぎないが、これが時間的に繰り返されると脈動するような一種のフリッカ状の妨害となる。



(a) 第 39 フレーム



(b) 第 42 フレーム

図 2 Coast Guard への StirMark 攻撃結果

### 3.2 インタレースへの影響

インタレース画像はフィールド/フレーム構造を持つ。フレーム画像は top フィールドと bottom フィールドを 1 ラインごとに入れ子にした画像であり、フィールド間の時間差を反映して 1 ラインごとに 1/60 秒だけ異なる時刻の情報を持つ。

ここで、StirMark をフレーム画像に対して適用すると、垂直方向に 1 画素ずれた箇所については、top フィールドと bottom フィールドが逆転する現象が起き、動画像としては時間順が不正になり、局所的なジャーキネスを引き起こす。特に水平移動する垂直線では顕著に現れ、視覚上大きな劣化を引き起こす。従って、インタレース画像へ StirMark を適用する場合は、フィールド画像に対して適用しなくてはならない。

### 4. 考察

図 1 の濃淡パターンが発生する原因は、20 画素周期ということから r オプションにあると推測される。実際、r オプションを用いない StirMark 攻撃では濃淡パターンは発生しなかった。

r オプションの働きは、水平方向を x 軸、垂直方向を y 軸とすると、画素位置ズレ量  $dx$ ,  $dy$  について、ズレ強度パラメータを  $\lambda$ 、乱数値を  $n_x$ ,  $n_y$  とするとき、

$$dx = \lambda \left( \sin\left(\frac{2\pi}{T_x} x\right) \sin\left(\frac{2\pi}{T_y} y\right) + n_x \right) \quad (1)$$

$$dy = \lambda \left( \sin\left(\frac{2\pi}{T_x} x\right) \sin\left(\frac{2\pi}{T_y} y\right) + n_y \right) \quad (2)$$

で表現される。これは、 $y$  が一定で  $x$  が変化するとき(水平線分)に対して、 $x$  方向と  $y$  方向に周期  $T_x$  および  $T_y$  の正弦波で図 3 に示すような変位を受けることになる。 $y$  方向の変位によりラインをずらす効果があり、さらに  $x$  方向の変位によりオブジェクトの水平長が伸び縮みすることになり、図 1,2 の現象を引き起こしたと考えられる。なお、StirMark では  $T_x$ ,  $T_y$  ともに 20 の固定値である。

図 1 の濃淡パターンによる視覚的劣化を検討するために、20 画素周期のパターン上を長さ 20 画素の水平線分が 1 フレームごとに 1 画素ずつ右方向に移動していくモデルを考える。このとき、20 フレーム時間の移動で一周期となることから、フレーム周波数が 30 frame/s の場合、線分の画素値に対して 1.5Hz のフリッカとなる。このフリッカは、StirMark 内部での RGB 空間における画素補間のため、色変化を伴うことになる。これに対する視覚感度は、1.5Hz フリッカで相対コントラスト感度が約 -5dB であり、それよりも感度を 10dB 引き下げるためにはフリッカ周波数を 0.3Hz 以下あるいは 12Hz 以上にしなければならない[3]。そこで、フリッカを 0.3Hz 以下とするために、 $T_x$ ,  $T_y$  を 5 倍の 100 に変更の後、StirMark 攻撃を行った。その結果、主観的には判定できないレベルまでフリッカを抑えることが可能となった。

### 5. むすび

電子透かし攻撃ツール StirMark を動画像に適用する際の問題点を明らかにし、解決方法を提示した。対策の要点は以下のとおりである。

- 乱数列固定化
- r オプションを使用しない。あるいは使用する場合には StirMark のソースプログラム中の周期パラメータに変更を加える
- インタレース画像の場合、フィールド画像に適用する

今後、StirMark の制約条件をもとに、それに耐えうる電子透かし方式の研究を行う予定である。

### 参考文献

- [1] 松井甲子雄:「電子透かしの基礎」, 森北出版, 1998.
- [2] F.A.P. Petitcolas, et al., "Attacks on Copyright Marking Systems", Proc. on Second Workshop on Information Hiding, pp. 218-238, 1998.
- [3] 宮川洋:「テレビジョン画像の評価技術」, pp.54-55, コロナ社, 1986.

### 垂直変位 $dy$

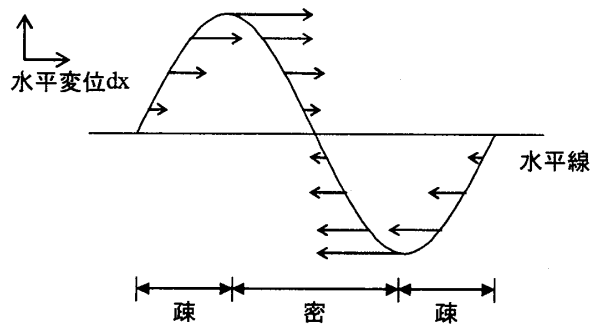


図 3 r オプションの働き