

輝度値変更型変調方式による画像型デジタルコンテンツの不正コピー防止： 復元された画像についての視覚実験

檜川 勝* 塩田 和也** 西垣 正勝* 曾我 正和*** 田窪 昭夫**** 林部 敬吉*

静岡大学情報学部情報科学科*

静岡大学大学院情報学研究科**

岩手県立大学ソフトウェア情報学部***

三菱電機情報システム製作所****

E-mail: nisigaki@cs.inf.shizuoka.ac.jp

あらまし

画像型デジタルコンテンツの不正コピー対策として、画像の一部又は全体を変調させて配信し、閲覧時に画像を動的復元する方法が提案されている。画像の動的復元には人間の視覚特性が利用されるが、変調画像から画像を正常に復元できるかどうかを評価実験により確認する必要がある。本稿では、輝度値変更型変調により生成された変調画像を動的復元することによって知覚される画像が、どの程度オリジナル画像に近づいて見えるか実験する。

キーワード：不正コピー防止、デジタル画像、輝度値変更型変調、動的復元

Digital Image Content Protection Based on Brightness modulation:
An experiment of visual perception on image dynamically restored

Masaru Hikawa*, Kazuya Shioda**, Masakatsu Nishigaki*, Masakazu Soga***,
Akio Takubo****, and Keikichi Hayashibe*

*Faculty of Information, Shizuoka University

**Graduate School of Information, Shizuoka University

***Faculty of Software and Information Science, Iwate Prefectural University

****Mitsubishi Electric Corp., Information System Factory

E-mail: nisigaki@cs.inf.shizuoka.ac.jp

Abstract:

A brightness modulation scheme has been proposed to protect image data from illegal copying. In this scheme any image data is intentionally tainted; the modulated image has less quality of data than original one, so that we can distribute the modulated images free. The modulated image is dynamically restored with a visual system of each viewer. This means that viewers can recognize the original image, while the modulated image is displayed. This paper reports the result of an experiment to estimate the quality of images dynamically restored.

Key words: copy protection, digital image, Brightness modulation, dynamic restoration

1. はじめに

コンピュータやネットワークの急速な普及に伴い、デジタルコンテンツの不正コピーが大きな問題となってきた。不正コピーに対する手段として暗号化技術が注目を集めている[1]。しかし、画像型デジタルコンテンツは、閲覧される時点においては復号された形でディスプレイに表示されていなければこれを見ることができない。すなわち、画像は閲覧時には必ずオリジナルデータの形で画面に表示されることになる。よってスクリーンキャプチャ機能（VRAM 上のデータをコピーする機能）が計算機に付加されている限り、いかなる暗号化技術も画像データの不正コピー防止手段としては役に立たない。また、画像データに著作権情報などを埋め込む電子透かし[2]も不正コピー対策の候補として有力であるが、これは不正利用の抑止力として働くものであり、不正コピー自体を不可能にする技術ではない。

結局、デジタル著作物の流通システムが「オリジナル画像」を基盤としている以上、完全に不正コピーを防ぐことは不可能である。このような問題に対して、著者らはオリジナル画像を意図的に変調させた「変調画像」を基盤とする流通システムを提案している[3]-[5]。変調画像は不完全な(劣化した)データであるため、いくらコピーされたとしても何の問題も無い。変調画像は表示の際に動的に復元され、オリジナル画像と同様の画像として知覚される。画像の動的復元は人間の視覚特性を利用しており、画像は人間の目(脳)において復元される。

本方式を実現するにあたり、動的復元時の表示画像がオリジナル画像と同様の画像として知覚されるかの確認と、変調画像からオリジナル画像を合成するなどの不正に対する耐性の評価が必要となる。現時点では、輝度値変更型変調方式に対して、動的復元画像がどのように知覚されるかを測るための視覚実験が繰り返されている段階である。すでに、単色画像を対象とした基礎実験から二枚の変調画像を交互

に高速表示することによりその中間色が知覚されることが確認されており[4][5]、その知見に基づきオリジナル画像から輝度値変更型変調画像を生成するシステムも試作された。本稿では、本システムにより生成された変調画像を動的復元することによって知覚される画像が、どの程度オリジナル画像に近づいて見えるかを実験により確かめる。

2. 輝度値変更型変調方式

2.1 変調画像配信方式

変調画像配信方式とは、オリジナル画像(の一部)を意図的に劣化させた「変調画像」を配信することにより、画像型デジタルコンテンツの不正コピーを防止する方式である。オリジナル画像は正規購入者にさえ配信されない。変調画像は特定の専用ビューアで閲覧することにより動的復元され、人間の目においてオリジナル画像として知覚される。

2.2 輝度値変更型変調方式

オリジナル画像から二枚の複製画像を作り、それぞれを画像1、画像2とする。画像1に対して画像の輝度値を $+\alpha$ した画像を変調画像1とする。画像2に対して画像の輝度値を $-\alpha$ した画像を変調画像2とする。 α の値は各画素ごとに異なり、 α の取り得る範囲内でランダムな値が選択される。購入者には二枚の変調画像と専用ビューアが渡される。

2.3 変調画像の動的復元

専用ビューアは、二枚の変調画像を高速(120Hz以上のリフレッシュレートが望ましい)に交互表示する。人間は「異なる色が高速に表示されるとその中間色を知覚する」という視覚特性を有するため、二枚の変調画像に加えられた $\pm\alpha$ の変調が相殺され、閲覧者の目にはオリジナル画像同様の画像が知覚される。しかし、表示されているデータ自身は変調されたコンテンツであり、スクリーンキャプチャにより

画像を不正コピーされても問題ない。

3. 復元された画像についての視覚実験

本方式を実現するにあたり、動的復元時の表示画像がオリジナル画像と同様の画像として知覚されるか確認する必要がある。すでに、単色画像を対象とした基礎実験から二枚の変調画像を交互に高速表示することによりその中間色が知覚されることが確認されている[4][5]。本稿ではその追実験として、実際の自然画像や人工画像に対し、変調画像を動的復元することによって知覚される画像がどの程度オリジナル画像に近づいて見えるか実験する。

3.1 実験環境

CPU は Pentium II 400MHz、メモリは 128MB、ビデオボードは 3D Blaster RIVA TNT2 Ultra、ディスプレイは SONY の GMD-400 を用いて行う。被験者は本学の男子学生 10 名である。

オリジナル画像に数種類のノイズを加えた画像を比較刺激として用意し、変調画像の動的復元により表示される画像がどのノイズレベルの比較画像と同等に知覚されるかを調べる。比較刺激画像と標準刺激画像の作成方法は以下の通りである。

1. オリジナル画像に 9 段階の強度のノイズを加え、比較刺激画像を作成する。本実験では Photoshop5.5[6]のノイズ機能を利用し、オリジナル画像にノイズを均等に分布させる。ノイズの強度はパラメータ δ により設定し、たとえば階調レベル 128 である単色画像にレベル δ のノイズを加えると、階調レベルが $128 - \delta \sim 128 + \delta$ である画素の数が RGB 成分でそれぞれほぼ等量に分布する画像が生成される。オリジナル画像を C0 とし、 $\delta = 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$ のノイズを加えた画像をそれぞれ C1~C9 とする。

2. C2~C7 の中から基準画像を定める。基準画像を定めることにより、基準画像よりも SN 比の高い画像と低い画像を有する比較刺激画像集合を得ることができる。基準画像を特に CB と記す。
3. 基準画像 CB に輝度値変更型の変調を加え、変調画像 1 及び 2 を作成する。変調画像 1 と 2 を高速に交互表示させた動的復元画像を標準刺激 S とする。

実験用 PC の画面状態は図 1 のようになる。画面のサイズは縦 27.5cm、横 37.5cm、背景は灰色に固定する。画像 S と画像 C (画像 C の部分には C0~C9 のいずれかが表示されている) は 6.8cm×6.8cm の正方形の 24bitBMP 画像とする。二枚の画像は垂直方向において共に画面上から 6cm の点に画像の上辺を配置し、水平方向においては、画面の左端から 3.5cm 離れた点に一つの画像の左辺を、画面の右端から 2.5cm 離れた点にもう一方の画像の右辺を配置する。被験者の目からディスプレイまでの距離は 68cm である。

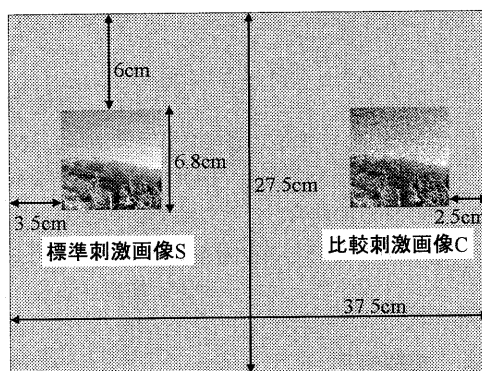


図 1 実験画面

3.2 測定方法

測定には精神物理学的測定法の中の調整法[7]を用いる。調整法では被験者の反応は、空間誤差、時間誤差やその他の偶発的誤差を含むので、測定の回数を増やすとともに、調整の方

向を変化させる必要がある。そこで測定には次の2項目を加える。

1. 一つの変調画像の組み合わせにつき、測定回数を8回とする。
2. その8回の中に、上方的調整（比較刺激の調整を最低から始める）と下降的調整（比較刺激の調整を最高から始める）を、上昇、下降、下降、上昇、下降、上昇、上昇、下降の順に配置する。

測定の手順は以下の通りである。なお、実験はディスプレイから発せられる光以外の影響を抑えるために、暗幕によって被験者とディスプレイを覆う形で行われる

1. 被験者はディスプレイに表示されている標準刺激画像 S と比較刺激画像 C を見比べ、標準刺激画像と同程度の画質になるよう比較刺激画像を（C0～C9 の範囲で）変更する。被験者がどちらも同程度の画質になったと感じたときの比較刺激画像を記録していく。この際、画像以外のものがディスプレイ上に表示されないことが望ましいため、比較刺激画像の変更はマウスの左右のクリックで、決定はマウスホイールのクリックで行えるようになっている。
2. 1 パターンの測定を終えるごとに、画像 S と画像 C の残像の影響を消すために、30 秒間画面を全て灰色（階調レベル 128 のモノクロの中間色）にしておく。画像 S と画像 C が左右どちらに表示されるかは 1 パターンの測定ごとにランダムに決定される。

4. 実験結果

4.1 自然画像に対する実験

まず、自然画像に対して実験を行った。実験に使用した画像は

画像 1：人物近景画像（顔写真）

画像 2：人物中間景画像（人物の身体が入る）

画像 3：人物遠景画像（人物と背景が入る）

画像 4：風景画像（山）

画像 5：静物画像（壺）

である。各画像を付録に示す。また、画像 1 に対しては C1～C9 の画像も示す。一般に、人間は人物の顔を見分ける能力に長けているため [8]、評価実験に適すると考え、人物画像については三種類を用意している。

10 人の被験者の実験結果をまとめたものが図 2 である。図 2 には、各画像（x 軸）に対して、変調画像が C0～C9 の内のどの画像と同程度に見えたか（y 軸）が示されている。図中、矢印が基準画像の値（基準画像の値は無作為に選択している）、○や△などの点が各被験者の実際の測定値（8 回の測定の平均値）である。測定値が基準画像よりも上の場合は変調画像のノイズレベルが基準画像よりも高く知覚されていることを意味し、測定値が基準画像よりも下の場合は変調画像のノイズレベルが基準画像よりも低く知覚されていることを意味している。

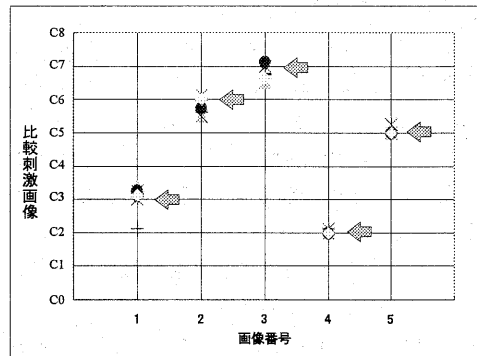


図 2：実験結果 1

実験結果から、風景画像（画像 4）や静物画像（画像 5）においては動的復元画像が基準画像とほぼ同等の画像として知覚されていることが確認できる。人物画像では被験者によって結果にばらつきが見られたが、統計的には、人物近景画像（画像 1）に対しては動的復元画像に基準画像以上のノイズが知覚され、人物中間景・遠景画像（画像 2,3）に対しては逆に動的

復元画像が基準画像よりも良質の画像として知覚されている。ただし、人物近景画像の画質劣化も（厳密には画像の使用目的に依存するが）一般の閲覧においては特に問題にならない程度であると思われる。

4.2 人物画像における自然画像と人工画像の比較

4.1 節の実験より、特に人物近景画像に対する動的復元画像の劣化が顕著であることが分かった。そこで、人物近景画像に焦点を絞り、自然画像と人工画像における動的復元画像の視覚実験を行った。実験で使用した画像は

画像 1：自然画像（人物近景）

画像 6：アニメ画像（人物近景）

画像 7：3D-CG 画像（人物近景）

である。各画像を付録に示した。

10 人の被験者の実験結果をまとめたものが図3である。図の意味は図2と同様である。実験結果から、動的復元画像においてはアニメ画像（画像6）が最も劣化した状態で知覚されることが判明した。これはアニメ画像の特徴であるエッジの鮮明さと輝度値の平坦さに原因があると考えられる。3D-CG 画像（画像7）においては大きな特徴は見られなかった。ただし、アニメ画像においても一般の閲覧においては特に問題にならない程度の劣化であると思われる。

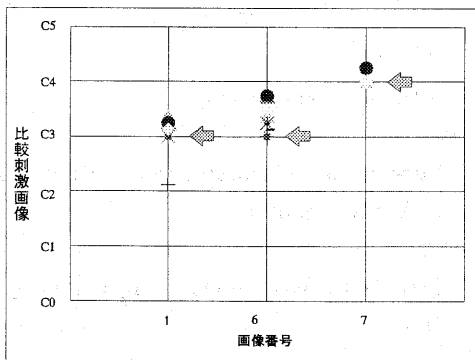


図3：実験結果 2

5. まとめ

本稿では輝度値変更型変調方式の実用性を測るために動的復元画像とオリジナル画像の比較実験を行った。実験結果より、輝度値変更型変調によって生成された変調画像においてはその動的復元により元の画像とほぼ同等の画像が知覚されることが確かめられた。しかし、人物近景、特にアニメ画像の動的復元ではある程度の劣化が認められた。以後、本実験結果を参考にして本方式を実用段階まで作り上げる予定である。また、攻撃耐性に関する問題を解決していくことが課題となる。

謝辞

本研究において、有益な御意見、ご助言を頂いた東京工芸大学の畑田豊彦先生、石川和夫先生、NHK 放送技術研究所の長田昌次郎研究員に感謝いたします。

参考文献

- [1]辻井、笠原：暗号と情報セキュリティ、昭晃堂、1990年3月
- [2]小野：電子透かしとコンテンツ保護、オーム社、2001年2月
- [3]松本、西垣、曾我、田窪：汚染データ配信方式による画像型デジタルコンテンツの知的財産権保護、1999 暗号とセキュリティシンポジウム予稿集、pp.439-444、1999年1月
- [4]塩田、西垣、曾我、田窪、林部：汚染データ配信方式による画像型デジタルコンテンツの不正コピー防止—基礎実験、コンピュータセキュリティシンポジウム 2000 論文集、pp.85-90、2000年10月
- [5]（財）マルチメディアコンテンツ振興協会：視覚心理効果を利用した不正コピー防止システムに関する調査報告書、システム技術開発調査研究 12-R-6、2001年3月
- [6]Adobe-Photoshop:

<http://www.adobe.com/products/photoshop/main.html>

[7] 大山、他：新編感覚知覚心理学ハンドブック、誠心書房、1994年

[8] V. Bruce: Recognizing Faces, Lawrence Erlbaum Associates Ltd, 1988

付録：使用画像



画像 1

C1



C2

C3



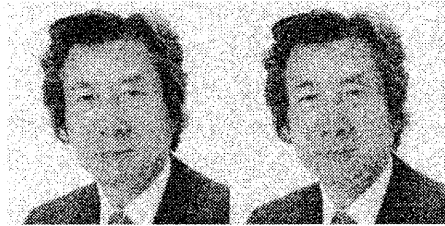
C4

C5



C6

C7



C8

C9



画像 2

画像 3



画像 4

画像 5



画像 6

画像 7

画像の出典

画像 1,2,3:

<http://www.kantei.go.jp/>

画像 6:

<http://www.pref.saitama.jp/A04/BF00/kansen/kansentop.htm>

画像 7:

<http://www.playonline.com/home/index-j.html>