

画像・映像信号用電子透かし評価基準の提案

合志 清一^{†1} 越前 功^{†2} 藤吉 正明^{†3} 岩田 基^{†4} 栗林 稔^{†5} 岩村 恵市^{†6}

A Proposal for the New Standard Watermark for Movie and Still Images

Seiichi GOHSHI^{†1} Isao ECHIZEN^{†2} Masaaki FUJIYOSHI^{†3} Motoi IWATA^{†4} Minoru KURIBAYASHI^{†5} Keiichi IWAMURA^{†6}

あらまし

アナログ技術が主流であった2000年以前は、画像は写真、映像はテレビ・ビデオおよび映画を意味し、コピーを行う度に画質劣化を伴った。デジタルミレニアムと言われた2001年頃からコンテンツのデジタル化が急速に進み、全てのコンテンツがファイルとして取り扱われる時代となった。デジタル技術の恩恵によって画像・映像コンテンツは我々の生活に幅広く浸透しているが、デジタル技術は恩恵だけではなく問題も引き起こしている。違法コピーによるコンテンツの著作権侵害は代表的な問題である。著作権侵害に対する対抗処置として電子透かしの研究が進められたが、実用化に至った例は少ない。アルゴリズム非公開、経済性、有効性、画質、耐性等複数の理由が考えられるが、電子透かし評価基準が存在しないこともその一因といえる。情報ハイディング及びその評価基準研究会（IHC）では現状を改善し、電子透かし技術研究の促進と実用化を推進するため画像・映像への電子透かし評価基準第一版を検討してきた。本報告では評価基準第一版の提案を行う。画像・映像はいずれも情報量が膨大であり、伝送・蓄積において符号化による圧縮が必須となる。本提案ではコンテンツ流通を意識し、符号化を前提とする基準を策定した。基準は今後も改訂を予定しており、技術動向を注視して攻撃手法や画質に関するレベルアップを行う予定である。

委員会では基準第一版に基づいた電子透かし技術の公募を行い、基準を満たした技術についてはFIT2012での表彰を予定している。

Abstract

Until the end of the last century all of the media content was still mainly analogue. Images consisted mainly of still photographs and the TV programs, the video tape and the cinema produced all of the moving images content. We could copy them using analogue methods which would make the image quality deteriorate. This present century has changed the situation completely. All of the content became digital. It is very easy to copy just about anything and digital copies do not cause degradations from the originals. Digital technologies give us demerits as well as the above merits. Copy right issues are the typical ones. Although watermark is one of the technologies to protect the copyright of content, only a few of them have become practical applications. There are several considerable reasons such as closed algorithm, cost,

validity, embedded images picture quality and strength. At the present there is not set of standards about the watermark technology and it is one of the reasons that nobody can evaluate it for the applications. The committee of Information Hiding and its Criteria for evaluation (IHC) wants to change the current condition and encourages researchers to drive their research on watermark. IHC also hope that the watermark becomes a field in the industry. IHC has been discussing standards for the watermark technology for image and video to make it happen. In this paper IHC propose the Standard Version One. We have been discussing the standards for practical applications. Image and video have a huge volume of data and it is necessary to compress the data size for distribution and storage. We consider one of the most important conditions of watermark to be the strength against the coding technologies for content distribution. The standard will be maintained considering the technology trend and the watermark attacking tools. IHC will conduct a public seek of watermark technologies and the watermark technologies and will make honorable recognition of the watermarks that will satisfy the standard.

Key Words information hiding, watermark, video, image, copyright, attack, coding

1 はじめに

^{†1} 工学院大学情報学部, 〒163-8677 東京都新宿区西新宿 1-24-2, Faculty of informatics, Kogakuin University, 1-24-2 Nishi-Shinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo 163-8766, Japan, gohshi@cc.kogakuin.ac.jp

^{†2} 国立情報学研究所, 〒101-8430 東京都千代田区一ツ橋 2-1-2, National Institute of Informatics, 2-1-2, Hitotsubashi, Chiyoda-ku, Tokyo, 101-8430, JAPAN, iechizen@nii.ac.jp

^{†3} 首都大学東京, 〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6, Tokyo Metropolitan University, 6-6 Asahigaoka, Hino-shi, Tokyo 191-0065, Japan

^{†4} 大阪府立大学, 大阪府堺市中区学園町 1-1, Osaka Prefecture University, 1-1 Gakuen-cho, Nakaku, Sakai, Osaka, iwata@cs.osakafu-u.ac.jp

^{†5} 神戸大学大学院工学研究科, 〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1, Graduate School of Engineering, Kobe University, 1-1, Rokkodai-cho, Nada-ku, Kobe, Hyogo, 657-8501, Japan, kminoru@kobe-u.ac.jp

^{†6} 東京理科大学, 〒102-0073 東京都千代田区九段北 1-14-6, Tokyo University of Science, 1-14-6, Kudan-kita, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-0073, JAPAN, iwamura@ee.kagu.tus.ac.jp

コンテンツのデジタル化が急速に進み、画像・映像コンテンツのデジタルファイル化が当たり前になった。この状況は 10 年以上前から予想され、コンテンツの権利者はデジタルコピーに対応する手段を探し、電子透かしはその有力候補であった。デジタルミレニアムと呼ばれた西暦 2000 年頃は電子透かしに関する研究は非常に盛んで、研究者ばかりではなく関連企業もビジネスチャンスを窺い、電子透かしに対する関心は深かった。10 年以上の年月が経過したが、電子透かしをキーテクノロジーとした産業は限られており、電子透かしソフトウェア製品の販売も好調とは言えない様である。最近では電子透かしの研究そのものも、以前に比べて発表件数が減少している。以前ほど注目を集めることができず、電子透かしという単語そのものが国際会議名となっている International Workshop on Digital Watermarking (IWDW) 2011 でさえ、全発表 40 件中電子透かしに関する発表は 8 件に過ぎず、電子透かしアルゴリズムはわずかに 3 件である。

電子透かしは埋め込むコンテンツによって難易度が大きく変化する。電子透かしで情報を埋め込んだコンテンツに対して、符号化や幾何変換等のいわゆる攻撃を行うと、攻撃の種類や手法によっては埋込情報検出が担保されない。製品に全責任を負うと考える企業は、これがネックとなって積極的な営業を行えないという事情がある。

時代と共に製品に対する消費者の感覚は変化する。テ

レビは、電源ボタンを押せば数秒以内に映像・音声が出力されない限り、商品とは認められない。1970年代末に発売されたAPPLEIIはパーソナルコンピュータの原型と考えられるが、当時はAPPLEIIが家電とは誰も考えなかった。今やパーソナルコンピュータは多くの家庭で使用され、家電の一部と考えるても良いレベルまで普及している。

パーソナルコンピュータは電源を入れてから分単位の起動時間が必要であるが、消費者にはその起動時間が受け入れられている。オペレーティングシステムに至っては更新が当然と認知されている。

電子透かしを社会に認知してもらうには、パーソナルコンピュータが現在の地位を確保した歴史が参考となる可能性がある。実際、電子透かし関連ビジネスで唯一成功しているDigimarc社の製品を取り扱うサイトには「電子透かしのアルゴリズムが第三者に解析され、セキュリティが破られた場合でも、Digimarc社がしかるべき対応策を取り、製品バージョンアップまですべて請け負いますので、安心してご利用いただけます。」と記されている[1]。

電子透かしが普及しない理由は他にも、アルゴリズムの秘匿、経済性、有効性、画質等複数と言われているが、電子透かしを評価する基準が存在しないこともひとつの理由と考えられる。電子情報通信学会 マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント(EMM)研究専門委員会の第2種研究会である情報ハイディング及びその評価基準研究会(IHC)では、この状況を鑑み電子透かし技術の評価基準に関する議論を行ってきた。本稿では策定した電子透かし評価基準第一版について報告する。

IHCでは基準第一版に基づいた電子透かし技術の公募を行い、基準を満たした技術についてはFIT2012での表彰を予定している。

2 符号化

デジタルカメラの高解像度化・低価格化によって、高精細画像が容易に入手可能となった。最近では、14Mピクセルクラスの高解像度画像を撮影可能なデジタルカメラが、民生品として安価に販売されている。Bayerパターン撮像デバイスが使用されているため、輝度信号への寄与が大きいGチャンネルの画素数は7Mピクセルとなるが、それでもハイビジョンの3倍以上の画素数となる。デジタルカメラでは記録媒体としてSDメモリを使用することが多い。多数の画像を記録してメモリを有効利用するため、通常は画像を符号化してデータ量を削減した上で記録を行う。ビジネスユースを考えると可能な限り高品質で保存する必要があるため、低圧縮モードで保存することが多い。この場合、原画像を1/2～

1/4程度に圧縮してSDメモリに書き込む。この程度の圧縮であればほとんどの画像は高品質で使用可能である。しかし、この符号化を行ってもデータ量としては非常に大きく、流通を考えると更なる圧縮が求められる。

この状況は映像では更に顕著である。ハイビジョンビデオカメラが普及し、現在では映像と言えばハイビジョンを意味する。ハイビジョンのデータ量は放送画質であっても14Mbps以上であり、ネットワークでの流通は限定的である。当分、ブルーレイDVD(DB)等のパッケージメディアでの流通が主流と考えられる。BDを使用するのであれば、映像用電子透かしに関しても符号化を避けて通ることはできない。

電子透かしを画像・映像の著作権保護に利用するのであれば、実務面から考えても符号化に対する耐性が最重要と考えられる。

これまで電子透かし研究者の多くは、符号化は攻撃のひとつと考え、StirMarkを初めとする幾何変換やノイズ付加と同列に扱ってきた[2]。しかしながら、符号化はコンテンツ流通には必ず用いられ、他の攻撃と区別すべきである。DVDの著作権保護技術として電子透かしが有力な候補となったことがある[3]。符号化に対する耐性は当然必要であり、電子透かしの耐性が一定のレベルに到達していたため、ユーザー側が関心を示した一例と考えられる。特に映像信号は高圧縮が常であり、符号化は相当強力な攻撃となる。

StirMark等に含まれる攻撃は、それなりの技術を有する者のみがコンテンツに適用する可能性があるが、符号化はコンテンツユーザー全てが利用する。

これまでの符号化に関する耐性研究は現実のレベルから大きく離れている。[4]では画像に対してJPEGによる75%の符号化率、[5]ではMPEG-4(H.264)による40%～50%の符号化率で埋め込み情報の残存を議論している。次節で再度議論するがJPEGは1/100以下に圧縮してもそれなりの品質を有する。MPEG-4に至っては1/200以下に圧縮しても、エンドユーザーとしては使用可能な品質を保つ。

以上の観点から、今回の評価基準(Ver.1)策定に当たっては符号化耐性を中心に議論を行った。

3 JPEGによる実例

本文末の写真1と写真2を比較して頂きたい。写真1は14Mピクセル(カタログスペック)で撮影し、デジタルカメラ内のJPEGエンコーダで最高画質として保存した。保存ファイルは4,745kBであったので、Bayer構造を考慮すると約1/3に圧縮されている。写真2はこのファイルを再度JPEGで符号化し、ファイルサイズを122kBまで圧縮してから復号した画像である。写真1と2を比較しても有意な画質差は見あたらない。122kBはBayer14Mピクセルと比較すると約1/100である。

静止画用符号化ソフトウェアは通常VBRであり、符

号化を行う画像によって圧縮率は異なる。複数の画像で確認したが、1/100 程度の圧縮であれば実用面で障害となるほどの大きな劣化は発生しないことを確認した。写真1は、木の葉の部分やバスの乗客には比較的劣化が起こりやすい画像である。しかしながら、この程度の圧縮であれば、消費者の一般的な用途には実用としては特に問題ない。

写真1 および2は画質を比較するため意図的に大きなサイズで掲載した。この大きさは絵はがきより大きく、このデータを縮小加工すれば更に画質は向上する。絵はがきサイズで符号化劣化が確認できないならば、このデータには経済的な価値が存在する。芸能人の写真は更に小さなサイズで販売されている。縮小は確実に符号化劣化をマスクする。以上の議論から静止画 1/100 程度の圧縮は電子透かしとして耐えるべき圧縮率となる。数人をバストショットで撮影した画像であれば、写真1よりも圧縮率を大きく取ることが可能である。芸能人グループの写真はこの一例と考えられる。

以上の議論から、これまで電子透かしに関する研究で検討されてきた符号化圧縮率は一部の例外を除くと桁が違っていることになる[4][5]。

4 原画像の有無

電子透かしの中には、埋め込み情報検出の際に原画を使用する手法がある。コンテンツの権利所有者は原画を所有しているので、原画を利用した埋め込み情報検出は可能であるとの根拠から、いくつかの手法が提案されている。しかしながら、現状を考慮するとこの提案には現実味が欠けている。インターネット上には膨大な数のコンテンツが存在する。著作権者自身が IT 技術に長けている場合は、自ら埋め込み情報検出を行うかもしれない。通常、コンテンツの管理や検出は、特定の機関に代行を依頼する。依頼した団体に自ら制作したコンテンツのオリジナルコピーを渡すであろうか。万一、渡したとしても、オリジナルコンテンツを管理するコストは誰が負担するのであろうか。

ごく一部で原画像有りの電子透かし技術のニーズは存在するかもしれない。しかし、原画無し電子透かしと比べれば、その使用範囲は遙かに狭い。本規格では原画有り電子透かしは範囲外とする。

5 画質評価

画像評価に用いる静止画は検討中だが、写真1は候補の一例である。他の候補例として写真3～8を掲載する。候補は後日 WEB で周知する予定である。著作権がクリアされた画像は、電子データも WEB からダウンロード可能な状態にする予定である。ただし、映像情報メディア学会 (ITE) が販売しているハイビジョン用画質評価用標準画像等、著作権上 WEB 掲載不可能な画像が候補に含まれる可能性もある。電子透かし研究者は LENA

(写真8)を用いることが多い[7]。研究者が共通の画像を用いることで、実験の再現性や先行研究とのが容易になるとの主張もある。IWDW2011 でも、LENA だけを検証実験に用いた電子透かしやステガノグラフィの提案があった。

画像は非定期的な情報源であり、画像が異なれば全く異なる性質を有する情報源となる。LENA に有効な電子透かしは、LENA に特化したパラメータ処理を行ったアルゴリズムを提案したに過ぎない。この手法は、LENA と類似の性質を有する画像のみに使用するのであれば一定の性能が期待できるが、実用化の観点からは研究成果の価値が高いとは言えない。

LENA は30年近く前に 512*512 のスキャナで取り込まれた画像である。サンプリング精度や Modulation Transfer function (MTF)、Amplitude Response (AR) も今日のそれとは大きく異なる。高解像度画像が蔓延する今日、それらのコンテンツに使用する基本技術を検討する画像に適しているとは言えない。色彩面でも今日の事情に適していると言い難い。今日では身分証明写真までカラー画像であり、コンテンツとしてはカラー画像と考えるべきであろう。しかし、多くの論文では LENA 画像をモノクロ化し、輝度信号に関する特性のみを議論する傾向がある。30年前と比較すると、撮像、スキャナ、印刷、ディスプレイの色帯域、色再現性が改善されている。LENA はカラー画像として入手可能ではあるが、制限された色帯域と色彩から、カラー画像としての価値は高くない。

そもそも、画像の全面に人間の顔が撮影されている画像はほとんど存在しない。せいぜい身分証明写真程度であろう。ただし、着帽した写真は身分証明書には使用不可とする例が多い。

芸能人の写真であっても、ネックレス等のアクセサリやネクタイが画面に入った、いわゆるバストショットが一般的であり、画面の大部分が顔でしめられた写真は稀有である。LENA も写真の一部を切り取ってスキャンしたとのことであるから、30年前でも一般的な写真とは言えなかったのであろう。

6 耐性

従来の研究では、回転、拡大・縮小等の線形変換、切り取り、ノイズ付加や Stirmark 等のツールが研究者の興味を集めてきた。今回の規格では、これらの攻撃について明確な規定を見送った。ただし、IHC が実施するコンペティションでは、これらの攻撃について加点方式とすることにしている。電子透かしに誤り訂正は必須である。電子透かしに用いられる誤り訂正は、多数決判定、LDPC、たたみ込み符号、RS 符号等が考えられる。電子透かしは埋込と検出が一对であり、誤り訂正符号の実装は必須と考えられる。しかしながら、電子透かしそのものの特性ではなく、誤り訂正符号の実装技術で埋込情

報検出率に差が生じることも考えられる。今回のコンペティションでは、合理的な理由が説明されている場合、誤り率についてはある程度の許容的判定を検討している。ただし、2回の符号化・復号化の内、1回目は100%の情報検出可能であることとし、許容的判定は2回目の符号化・復号化に適応するものとする。

7 映像

映像信号はフレーム間相関を用いるため、静止画像よりも高圧縮が可能である。我が国の地上デジタル放送は、スタジオ規格で1.5Gbpsと規定しているハイビジョン信号を、約14Mbpsのビットレートで放送している。この圧縮率は約1/107である。放送は映画と並んで高画質映像メディアである。映画と異なり、放送はインタレース方式を用いているので、プログレッシブ方式を基本とする映画よりも符号化が困難であり、圧縮による劣化が目立ちやすい。フレームレートで比較しても、放送は30Hzであり、映画は25Hzである。この点も映画コンテンツの低ビットレート符号化に有利に働く。違法コピーによる経済的損害は映画の方が深刻なので、映像用電子透かしは1/107以上の圧縮率に対して耐性を持たなくては実用に供しない。さらに、1/107はMPEG-2によって達成された圧縮率であり、MPEG-2の2倍の圧縮率が達成可能と言われているMPEG-4part10(H.264)を用いれば、さらなる高圧縮が可能となる。インターネット上で経済的な価値があると判断可能なコンテンツには、1/200以上の圧縮率で供給されている例も少なくない。

一方、映像用電子透かしはハードウェア開発を伴うことが多く、コスト負担も大きい。このため大学関係の研究機関では積極的な研究開発を行っていない。企業関係の研究機関では、映像用電子透かしに関する学会報告や報道発表が行われているが、圧縮耐性等の具体的な数値は公開されていない。

映像用電子透かしについては未公表のデータが多いが、著者らのこれまでの経験から、規格第一版では圧縮率1/100で第一回コンペティションを行うこととする。電

子透かしが1/100の圧縮率に耐えることは技術的には容易ではないが、現実問題としてこの程度の圧縮に耐えられなければ映像用電子透かしと言うことはできない。また、映像用電子透かしは、後述の想定流通モデルと異なり、符号化は1回のみとする。著者らの希望としては規格第二版では符号化回数を2回、圧縮率は1/200以下に変更することとしたい。

8 アルゴリズムの公開・非公開

電子透かしが実用化できない最大の理由は、アルゴリズムを公開できないことにある。今回のコンペティションでは、アルゴリズム非公開の電子透かしに関しても参加可能な方法を考えている。アルゴリズム非公開の場合は、応募者にも機材等で一定の負担をお願いすることになるが、IHCとしても可能な限り対応したいと考えている。

9 想定流通モデル

規格検討に当たって想定した流通モデルを図1に示す。モデルでは図の左上から、コンテンツへの情報埋め込み、正規の流通経路による1回目の符号化・復号化を経て消費者の手に渡る。通常はここで流通は停止するが、不正使用者はここでコンテンツに攻撃を加え、2回目の符号化・復号化を行い、サーバー等へのアップロードを行う。この不正流出したコンテンツを入手したとき、このコンテンツから初めに埋め込んだ著作権情報を検出する必要がある。

図1の流通モデルは不正流通としては最も可能性が高いモデルと考えられる。前述のようにJPEGを用いても1/100程度の圧縮が可能であるが、今回は従来あまり研究されていない2回の符号化を経る流通を考えるので、静止画に関しては1回目の符号化を1/10以下の圧縮、2回目の圧縮を1/2以下の圧縮とした。「以下」と定めた理由は、汎用ソフトウェアを用いた圧縮を考慮したためである。ソフトウェアを用いると圧縮ファイルサイズを特定の数値に押さえ込むことは困難なので、正確に1/10

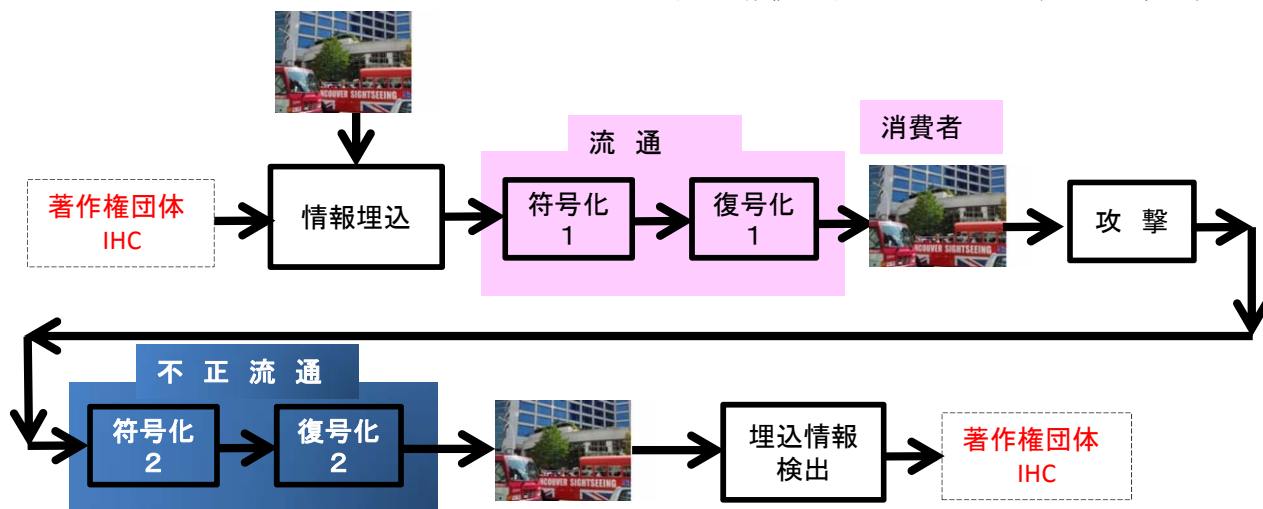


図1 想定する流通モデル

でなく 1/11 でも良いし、1/20 であっても可とする。2 回目の符号化も 1/2 以下であればよいので、2/5 でも良いし 1/3 でも良い。映像は後述のコンペティション実施における実務面上の制限から 1 回だけの符号化・復号化とし、1/100 以下の圧縮率とした。

今回は攻撃方法を回転、拡大・縮小、切り取りの 3 種に制限する。具体的な攻撃手法や符号化率の変更は、今後の議論の中で実用を目指した数値に変更して行きたい。

10 むすび

IHC で検討を行ってきた画像・映像信号用電子透かし標準規格(Ver.1)について述べた。詳細は APPENDIX を参照されたい。IHC では本規格に基づいたコンペティションを計画している。詳細は後日 WEB 等で周知を図る予定だが、一定レベルに達していると判断した電子透かし方式については、FIT2012 で耐性実験のデモをお願いし、表彰を行う予定である。異なる能力で際立った成績を収める方式が複数存在する場合は、個別表彰を行う予定である。多数の応募を期待する。

11 Appendix

評価基準 (Ver. 1)

本規格の目的は、著作権保護と流通によるコンテンツ産業発展に貢献することである。コンテンツ産業の実態と今後の方向性を考慮し、画像、映像の区別なく符号化・復号化を必須とする。評価における煩雑さ、電子透かし技術の進歩、コンテンツ産業の実態を考慮し、必要に応じて規格改訂を実施する。

第一回コンペティションでは符号化による耐性を基本とする。今回は符号化以外の攻撃は必須としないが、提案者がアピールポイントとして以下の攻撃に対する耐性を有することを証明した場合は、査読上の加点要素とする。

1. 画像 (静止画)

(1) 画質評価

評価画像は IHC より提示し、10M ピクセル以上のカラー画像を基本とする。電子透かしを埋め込んだ評価画像に 1/10 以下のファイルサイズとなる符号化・復号化を行い、同様の符号化・復号化を行った非埋込画像との差分が PSNR30dB 以上となること。符号化は JPEG または JPEG2000 とし、使用ツールは任意とする。使用する画像は 10 種類程度を指定する。

(2) 耐性

電子透かしを埋め込んだ画像に、符号化・復号化を 2 回実施する。1 回目の符号化・復号化で 1/10 以下、2 回目の符号化・復号化で 1/2 以下とする。

(ア) 回転

(イ) 拡大・縮小

(ウ) 切り取り

1 回目の符号化・復号化に関しては、埋込情報を検出率 100%検出可能なことを求めるが、2 回目については検出率の高低によって優劣を定める。

(3) 埋込情報量

カラー画像において 1bit/1024 画素の情報が埋め込めること。

2. 映像 (動画)

(1) 画質評価

電子透かしを埋込み、MPEG-4 (H.264) または MPEG-2 を用いて符号化・復号化した映像と非埋込画像を同様の方法で符号化・復号化した映像の差分 PSNR30dB 以上とする。今回は、映像の符号化は 1 回のみとする。符号化後の映像ファイルサイズは 1/100 以下とする。基準画像は ITE 標準動画第一版 No. 2, No. 8, No. 20, No. 23, No. 46。

(2) 耐性

基準画像を MPEG-4 (H.264) で符号化・復号化した画像を D/A 変換した後、A/D 変換を行った映像信号から埋込情報を 100%復元可能なこと。D/A 変換はビデオ機器等のアナログ出力端子を利用しても良い。

(3) 埋込情報量

動画 32bit/30 秒とする。

参考文献

- [1] http://www.unisys.co.jp/security/case/digital_watermarking/vista.html
- [2] <http://www.petitcolas.net/fabien/watermarking/stirmark/>
- [3] <http://www.research.ibm.com/tr/projects/RightsManagement/datahiding/dhvg2.htm>
- [4] http://www.research.kobe-u.ac.jp/eng-es3/member/slide/sita2009_workshop.pdf
- [5] Xinghao Jiang, Tanfeng Sun, Yue Zhou, Yunqing Shi, "A Drift Compensation Algorithm for H.264/AVC Video, Robust Watermarking Scheme", IWDW2011, Oct., 2011, Atlantic City.
- [6] K.Kamiya, et al. "Development of Benchmark Tool for Digital Watermarking", 008 IHMSP-2008-IS05-009, Harbin, 2008-8
- [7] <http://sipi.usc.edu/database/database.php?volume=misc&image=12>



写真 1 14M ピクセルで撮影 SD メモリには 4745kB で保存



写真 2 写真1の画像をJPEGで122Kに符号化



写真 3



写真 4



写真 5



写真 6



写真 7



写真 8