

INTERNET

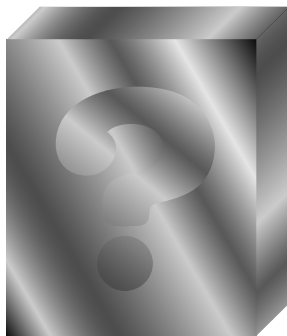
● インターネット最新テクノロジー：第13回

デジタルコンテンツの知的所有権を守る

電子透かし

インターネットでは画像や音声、文書とさまざまなコンテンツがやり取りされているが、デジタルコンテンツは簡単に複製できるので、ときには大量にコピーが出回ることもある。このようなコピーされたコンテンツの出所を明確にする技術として注目されているのが、「電子透かし」だ。電子透かしは配布するコンテンツに著作者自らが他人に分らないように「サイン」を埋め込む技術であり、実現に向けてさまざまな提案がなされている。今回は、電子透かしの技術の仕組みと、そのさまざまな用途について解説する。

松井 甲子雄 防衛大学校情報工学教室



著作権保護のための新技術

インターネットの急速な普及拡大により、マルチメディア環境が著しく変化している。インターネット上では、加入者は誰でもマルチメディアの発信者になり、受信者になり、中継者になれる。言い換えれば、これはマルチメディアの創造者でもあり、ユーザーでもあり、著作者でもあるわけだ。

何千万人に及ぶネット上のユーザーに情報を発信して、注目を集めて自己主張するためには、他人より優れた魅力的な創意あふれるホームページを作り、ソフトウェアプロダクトを展示し、コンテンツを備蓄することだろう。世の中は、独創性があって利用価値の高い便利なものほど、注目を集めてすぐに模倣の対象になる。そして、悪意のあるなしに関係な

く、大量のコピーがネット上は元より、市場にさえも勝手に出回ることになる。

このとき、著作者の努力と知的所有権を誰が守ってくれるのだろうか。それは、唯一「著作権」という法律の力である。これまで情報を発信する機会の少なかった人々にも、自作品のコピー行為に対して被害者意識がめばえてきた。同時にまた、他人の創意工夫も簡単に無断借用する機会が増し、お互いに自覚せぬままに、被害者である一方で加害者にもなっているのだ。このようなマルチメディア社会においては、クリエイターもユーザーも、仲良く、礼儀正しく、違法行為のない豊かなコミュニケーションを確立できるように、技術のバックアップが必要になる。その1つが「電子透かし」という著作権保護のための新技術なのだ。

電子的な“サイン”を コンテンツに埋め込む

画家は自分の描いた絵に、必ずサインを入れる。そのサインがあるかないかで絵の価格が上下する。同じようにホームページに掲げた画像も独創性に優れた作品には、その価値が認められている。そこで、電子的に作品の上にサインを入れたとする。油絵の上の物理的なサインとは異なって、メモリー上のデジタルサインを削除するのは簡単だ。しかも、原画を傷めることもない。それでは何の役にも立たない。

そこで、サインをコンテンツの中に埋め込んでおくことを考えてみる。サインが画面上にいつも表示されていると、ユーザーには見苦しく、ヤボツタイ感覚を与えるので、こっそりと絵の中に作者の名前や記号をピットに分けて忍ばせておく。一見しただけではメディアのどの部分にどのような形でサインが埋め込まれているのか、第三者には分からない。しかし、ユーザーがそのコンテンツを著作者に断りなく悪用していると認められるときには、法的手続きをとるとともに、その証拠としてこの電子透かしを違法コピーから抽出してみせるのだ。これが著作権侵害の最も確かな決め手になる。

このように、近い将来にマルチメディアの作者は誰でも、この電子透かしの技術をマスターしてそれぞれ独自の方法で自己の作品にサインを埋め込んだ後に公開することが常識になるだろう。なぜなら、インターネットの世界で自分を守るのは、自分しかいないからだ。

望まれる条件

インターネット上を駆けめぐる情報の量は、莫大なものである。したがって、効率よくデータを圧縮して送受信するのが常識だ。それでも、画像データには冗長度が残っている。この画像情報の冗長度を巧みに利用して電子透かしを仕込むのである。

その基本は、画像を構成している画素単位に透かし情報を埋め込むことである。しかし、この工作を施すと、どうしてもマルチメディアの品質を劣化させてしまう。したがって、画質と透かしの秘匿性とは互いにトレードオフの関係になりがちである。そこで、電子透かしの埋め込みには、次に挙げるようなことを実現してもらいたい。

- (1) 透かし情報はコンテンツ自身に埋め込むようにする。ヘッダー部や特定の空き領域ではすぐに発見されてしまう。
- (2) 透かし情報が圧縮や編集、切り抜きなどの処理で消失されないように入れる。また、伝送途中のノイズにも耐えられるようにする。
- (3) 改ざんや消去などの悪意のある攻撃にも耐えられるように秘匿することが重要になる。また、消されても痕跡が残るように仕掛けを作っておく。
- (4) 透かしを施すアルゴリズムは簡単で強いものが多い。
- (5) コンテンツの仕様に左右されない共通形式の透かし方式が欲しい。
- (6) その上、欲を言うなら原画と同じレベルの画質を保持できるようにしてほしい。

これらの条件をすべて満たす方法は、いまだ提案されていないというのが正直なところだ。それではどんな方法がこれまでに考えられているか、次にまとめてみよう。

暗号で使われる

「鍵」の技術を利用

コンピュータ画面上の画像データは、画素から構成されている。画素の明るさは“輝度情報”という。256階調の濃淡画像では、8枚のビットプレーン（1ドットが0か1で表される平面）で明るさを表現している。256階調の画像があるとする。その画像のビットプレーンの下位の1枚を、透かし記号のビットプレーンで置き替える（図1）。置き換えた画

像を元に戻すと図2となる。この結果は人々に何の不都合も与えない。これが最もシンプルな透かしの入れ方である。しかし、この差し替えのビットプレーンを上位ビットにすると（図3）、画像はノイズに汚されてくる（図4）。また、この方法にはほとんど秘匿性がないことにもお気付きだろう。これでは落第発明なのである。

そこで登場するのが、暗号でおなじみの「鍵」という技術だ。画素単位に埋め込み位置を鍵で指定するものや、ビットプレーンの一部を鍵系列でランダムに抽出して、その上に透かしビットを埋め込むものなどの多様なバリエーションが提案されている（参考文献1）。しかし、これらに共通する弱点は、輝度情報はデータ圧縮により著しく削減されるため、同時に透かしビットが失われてしまうことである。したがって、このような環境にある画像データには、画素空間を周波数空間に変換して、透かしの周波数データ上に埋め込むのが得策だ。

たとえば、カラーの静止画像を送信するときに用いるJPEGのアルゴリズムは、図5のようになっている。画像を圧縮するときに量子

化の歪みが発生する。そこで、この歪みに見せかけて密かに透かし情報を埋め込むのである。その方法は、量子化器から出力された値“ ”を、透かしビットに従って制御するものである。透かしビットが“0”なら、“ ”を直近の偶数に変えて、逆に“1”なら、“ ”を奇数に変更すればよい。ほかの方法として、図5の離散コサイン変換（DCT）という方法の出力部分（すなわち周波数領域）の要素を、透かしビットの値で置き換えてしまう提案もある。この際、秘匿性を向上させるために、埋め込み場所を鍵で指定することが多いようだ。

いずれにしても、原画像が持っていた周波数成分を極端に変更しない限り、復号画像の画質に与える影響はほとんどない。

画像データの冗長な部分に

透かしデータを置く

一方、画像を高速フーリエ変換（FFT）という方法にかけると実数部と虚数部からなる周波数成分が得られる。この虚数領域の特定座標の成分を透かしビットで置き換えると画

図1 ビットプレーン「2」と透かしの差し替え

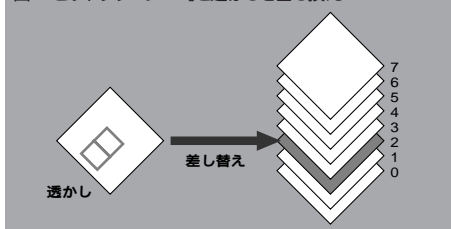


図2 ビットプレーン「2」を差し換えた画像

図3 ビットプレーン「6」と透かしの差し替え

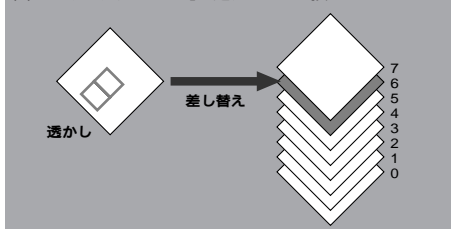


図4 ビットプレーン「6」を差し換えた画像



首から下に透かしが見える

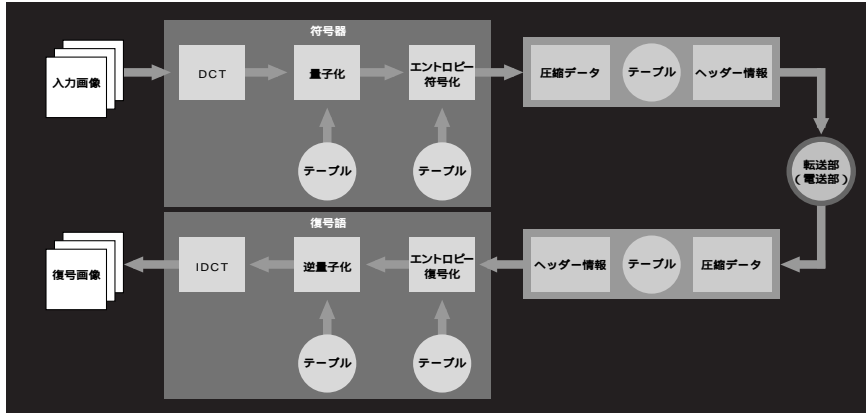


図5 JPEGの概要

像の位相が変化する。人の目には位相の検出が苦手なので、この方法も透かしのテクニックに利用できる。その一例を図6に示す。どこに透かしが入っているかお分かりだろうか。

このように画像を変換して、周波数領域で透かしの埋め込むと、逆変換したときに、復号画像全域に透かし情報が分散される。したがって、画像の切り抜きや圧縮、ノイズなどに対して透かし信号が消滅することなく残ってくれる。これで大変に強い透かしが得られる。しかし、画素領域で透かしの埋め込むのとは違い、手数がかかって高速処理には不向きだ。DCTやFFTのほかにもさまざまな方法が提案されているが、秘匿度を高めようとする、必然的に埋め込み計算量が急増する傾向がある。“帯に短しタスキに長し”だ。

最近話題の多い動画像の符号化方式“MPEG”にも、透かしの埋め込み。たとえば、MPEG2の符号化器の処理の流れを表したのが図7だ。この主要部はDCTであり、JPEGと同じ動きをしている。したがって、前述のとおり透かしの埋め込み。さらに、MPEG独特の符号化法の1つに「動きベクトル」を予測する方法がある。図7(b)に示すように、あらかじめ予測領域を2つの種類(“ ”と“×”)に分けておく。

透かしビットの“0”と“1”によりベクトル方向を \times に振り分けると、簡単に透かし情報を埋め込んでしまう。 \times の差はわ



図6 電子透かしが入っているが目に見えないJPEG画像

ずかに平均0.5画素分だから、誤差の累積は心配には及ばない。

このように、画像データには冗長度が多いので、著作権侵害の立証に役立つ程度の透かしデータは随所に埋め込む。ただし、2値画像には若干の工夫が必要になる(参考文献2)。

音声に埋め込む場合も画像と同じ

一方、音楽ソフトもインターネット上では利用価値が高い。この著作権保護のために電子透かしを利用できる。

音楽ソフトでは、高音質の保持が生命線なので、下手に透かしを押し込むとすぐにノイズを感知されてしまう。そこで、どうしても特定の仕込み方法が必要になる。一般には、強い音の直前の数10ミリ秒および直後の100ミリ秒程度までにある微弱な音は、強い音にかき消されてしまう。人間のこの聴覚特性を利用して透かしを入れられる。これが音波の振幅レベルに埋め込む常套手段だ。さらに、画像と同様にFFTやDCTをかけて、周波数レベルで透かしの埋め込む方法も提案されている。そのアイデアの多くは画像のアナロジーによるもので、目新しさはない。最近、私たちの研究室ではスペクトラム拡散とDCTを組み合わせて、埋め込み音質70dB程度を確保できる新しい方法を開発した(参考文献3)。これは、音楽CDに最適で、秘匿性の確実な手法だろうと期待している。

文書への埋め込みは検討中

また、電子文書への透かしの埋め込みについても、いろいろと検討されている。しかし、インターネット上では文書は圧縮スタイルで送受信されることや、文字情報そのものに冗長性がないことから、一般的なアプローチはまだ提案されていない。ネット上のデータの保全は、暗号に頼るのが最善だと思う。問題は、受信者がその暗号文を復号したあとに、無断でコピーされたり、または覗かれたりすること

だ。この分野は暗号の世界に近く、“透かし”にはなじまないところだ。現在までのところは、電子文書に対してはほとんど手の打ちようがないというのが実情だ。

さまざまな用途が考えられる

マルチメディアに密かに埋め込む電子透かしにも、その利用の仕方により、多様な目的を果たすことができそう。

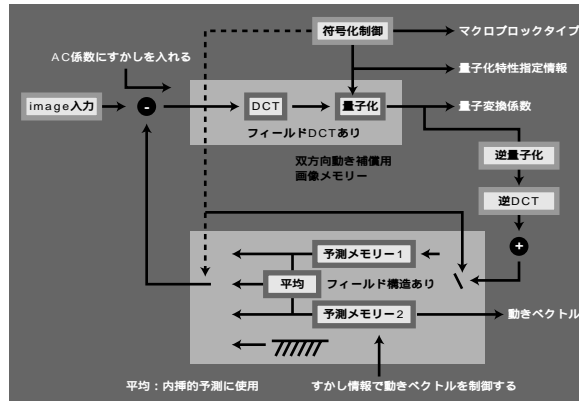
まず、電子透かしの本来の目的である著作権情報の記録がある。この場合、埋め込んだ著作者だけが復号できれば十分であって、ユーザーに復号できる必要はない。しかも、透かし情報の量は証明に役立つだけで十分なので、少量で済む。ただし、画像の部分的な切り抜きにも耐えられるように、一様に埋め込むことが大切だ。

次に、画像の配布先を透かし情報に含めると、購入者情報が追跡できる。違法コピーのルーツをその情報から追求できて、積極的に著作権侵害に対応するシステムを構築できるだろう。

第三に、インターネット上に公開されたコンテンツが、どのようなIPアドレスを経由して、どのパソコンのメモリー上にあるのかを知りたいときに、IPアドレスの履歴を、透かし信号の形式でコンテンツに逐次記録するシステム構成が検討されている。これにはネットワークプロトコルの複雑な問題がからんでいて容易ではないが、近い将来の電子透かしの応用分野となることは間違いない。これは“デジタル指紋”の一種だ。

第四に、「オリジナルコンテンツには必ずや違法コピーがつきまとうだろう」と考えて、コピープロテクトを透かしの形式で当初から組み込んでおこうとする積極策である。この方法が実現すると、デジタル形式のコピー機では、ほとんどすべてのコピーが非除されてしまうことになる。著作権の保護の立場からすれば当然のように見えるが、文化の発展の観点からすると、いささか問題が多いように思わ

(a)符号化器



(b)動きベクトル

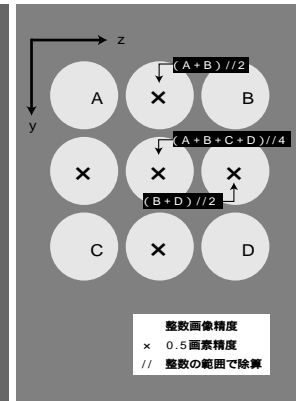


図7 MPEG2の概要

れる。「著作権保護に値するものは何か」とか、「どこまで保護すべきか」など、研究が進展するに従って豊かで公正なネット文化を育むために考えなければならない問題だ。

最後に、電子透かしの起源について触れてみたい。電子透かしを英訳すると“digital watermark”だが、外国では“steganography”または略して“stego”とも言う。この単語は“covered writing”の意味で、“secret writing”を意味する“cryptography(暗号)”と対になる言葉である。

ところが、この難しい“steganography”という文字は欧米の諜報機関などで使用されていたので、民間ではほとんど使用されず、主に“data hiding”などの用語を代用していたように思われるふしがある。これがデジタル時代の著作権保護競争に徴用されて電子透かしに生まれ変わったとも考えられる。だから、“cryptography”が見える暗号であるのに対して、“steganography”は“見えない暗号”とも称すべきものだろう。

電子透かしの親分は一体何に使われているのか、あとは読者の想像におまかせしたい。

参考文献

- (1) 松井甲子雄：『電子透かし』(O plus E, 1997)
- (2) 松井甲子雄：『絵に秘める暗号の科学』(コロナ社, 1994)
- (3) 岩切宗利、松井甲子雄：『音楽ソフトへの電子透かしの方式』(SCIS, 1998)





[インターネットマガジン バックナンバーアーカイブ] ご利用上の注意

このPDFファイルは、株式会社インプレスR&D(株式会社インプレスから分割)が1994年～2006年まで発行した月刊誌『インターネットマガジン』の誌面をPDF化し、「インターネットマガジン バックナンバーアーカイブ」として以下のウェブサイト「All-in-One INTERNET magazine 2.0」で公開しているものです。

<http://i.impressRD.jp/bn>

このファイルをご利用いただくにあたり、下記の注意事項を必ずお読みください。

- 記載されている内容(技術解説、URL、団体・企業名、商品名、価格、プレゼント募集、アンケートなど)は発行当時のものです。
- 収録されている内容は著作権法上の保護を受けています。著作権はそれぞれの記事の著作者(執筆者、写真の撮影者、イラストの作成者、編集部など)が保持しています。
- 著作者から許諾が得られなかった著作物は収録されていない場合があります。
- このファイルやその内容を改変したり、商用を目的として再利用することはできません。あくまで個人や企業の非商用利用での閲覧、複製、送信に限られます。
- 収録されている内容を何らかの媒体に引用としてご利用する際は、出典として媒体名および月号、該当ページ番号、発行元(株式会社インプレス R&D)、コピーライトなどの情報をご明記ください。
- オリジナルの雑誌の発行時点では、株式会社インプレス R&D(当時は株式会社インプレス)と著作権者は内容が正確なものであるように最大限に努めましたが、すべての情報が完全に正確であることは保証できません。このファイルの内容に起因する直接のおよび間接的な損害に対して、一切の責任を負いません。お客様個人の責任においてご利用ください。

このファイルに関するお問い合わせ先

株式会社インプレスR&D

All-in-One INTERNET magazine 編集部

im-info@impress.co.jp