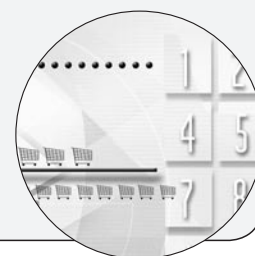


電子透かし技術とその応用

越前 功

[日立製作所システム開発研究所]



電子透かしとは

●古代からあった情報を隠すという行為

情報を隠すという行為^{☆1}は、古代から主に秘密通信を目的として行われてきた。秘密にしたいメッセージを偏在する絵や文章などの媒体に隠し、媒体を伝達することで秘密通信を行うステガノグラフィ (Steganography) は、紀元前から知られた手法^{☆2}であり、古代ギリシア時代では、使者の頭を剃ってその頭に通信文を刺青し、髪が伸びるのを待って使いに出していたという例がある。

ステガノグラフィでは、メッセージを隠す媒体は何でもよく、媒体とメッセージとの間に関連はないが、このメッセージを媒体の属性を表す情報 (制作者、配布先情報など) とすることで、媒体の価値保証や流出元の特定に適用することができる。前者の例として、紙幣にコピー機では復元できない極小文字 (マイクロ文字) を印字することなどが挙げられる。不正者によるマイクロ文字の再現を困難にすることで、紙幣の価値を保証することが可能になる。後者の例としては、複数の相手に重要書類を送る際に、送付者ごとに異なる情報を文章に隠しておくことが挙げられる。イギリスでは国家機密文章のコピーが新聞紙に掲載された際に、送付先ごとに機密文章の文字間隔のパターンを微小に変えていたため、掲載された文章の文字間隔から流出元を特定したという例がある。

このように、媒体の属性情報を媒体自体に隠すことで、媒体の価値保証や不正者特定に適用する手法は、一部の組織や機関で知られていたが、その適用対象は紙幣や機密書類などの物理媒体に限定されていた。しか

し、1990年代に入り、マルチメディア処理技術やそれを用いた放送、媒体、ネットワーク技術が発展し、デジタル化された文書、音楽、映画などのデジタルコンテンツが流通するようになると、これらに著作権者や配布先などの属性情報を埋め込むことで、コンテンツの著作権保護や不正流出を抑止する電子透かし技術 (Digital watermarking) が注目されるようになった。本解説では、電子透かしの機能、原理、用途を概説するとともに、電子透かし技術を利用した応用システムについて、事例を交えながら紹介する。

●電子透かしの機能

電子透かし技術は、人間には知覚できない微小な変更をコンテンツに加えることで、コンテンツの属性情報をコンテンツ自体に不可分に埋め込み、その情報を検出する技術である。電子透かし技術は図-1に示すように情報の埋め込みと検出の2つの処理から構成される。情報の埋め込みでは、たとえばコンテンツが画像の場合、画像の明るさや色に微小な変更を加えることで情報を埋め込む。情報を埋め込んだ後のコンテンツは、埋め込み前の原コンテンツの品質とほとんど変わらないので、通常のコンテンツの視聴においては、電子透かし技術により埋め込んだ情報の存在を知覚することは困難である。情報の検出では、コンテンツに加えられた変更を読み取ることで、埋め込んだ情報を検出する。また、圧縮や変形などの処理が施されたコンテンツからも情報を検出することが可能である。

電子透かし技術により、著作権者や配布先名称などの情報をデジタルコンテンツに埋め込むことで、不正にコンテンツが流出した場合、コンテンツから流出元を特定することが可能となるため、コンテンツの著作権保護やコンテンツ流通のビジネスモデルの実現が可能となる。また、電子透かし技術は埋め込み時と検出時のみ専

☆1 正確には、情報を他の媒体に紛れ込ませることで、情報の存在自体を第三者に認識させない行為。情報自体を攪拌する暗号技術と区別する。

☆2 ステガノグラフィは現代ではデジタルコンテンツに秘密情報を埋め込む技術であり、電子透かしと併せて情報ハイディング技術 (Information hiding) と総称される。

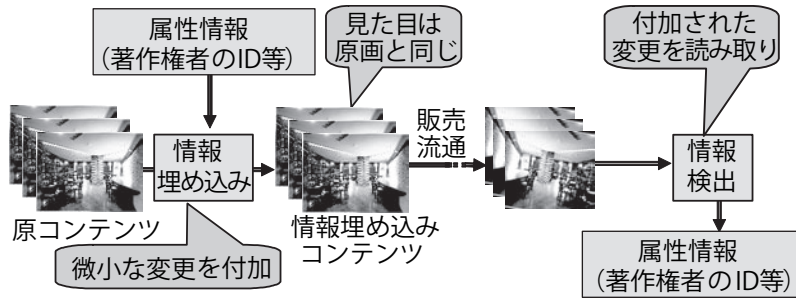


図-1 電子透かしの機能

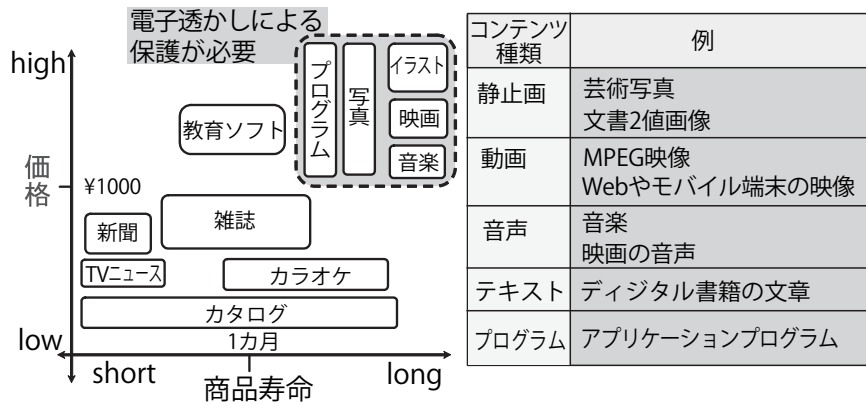


図-2 電子透かしの対象コンテンツ

用の処理が必要となるが、コンテンツが流通する過程においては特別な処理を必要としない。すなわち、従来の流通経路や既存の流通システムを大きく変更することなく、電子透かしの機能を付加することができる。

電子透かし技術の対象となるコンテンツを図-2に示す。これらのコンテンツのうち、高価格、長寿命のものが当面の対象となる。これらをメディア種別でみると、静止画、動画、音声、テキスト、プログラムである。電子透かしの原理はこれらのメディアに共通であるが、具体的方法は種別ごとにより異なる。

●電子透かしの用途

表-1は、電子透かし技術の用途をまとめたものである。「著作権の確認」は、著作権者のIDを埋め込むことでコンテンツに対する著作権を確認し、また、その権利主張を可能にすることである。「著作権の問合せ」は、コンテンツに著作権者のIDを埋め込むことで、善良な第三者が出元不明のコンテンツを利用したい場合に、著作権者に問合せを可能とするものである。「不正コピー元の特定」は、配布先のIDを埋め込むことで、不正コピーされたコンテンツから不正コピー元を特定可能とする

ものである。「機器制御」では、たとえば、「コピー不可」「1回だけコピー可能」などの制御情報をコンテンツに埋め込み、レコーダやビューワ等に電子透かしの検出装置を装備しておくことで、コピーの可否判定や視聴回数制御を行う。「コンテンツ管理」は、コンテンツを特定するための書誌情報、あるいは、コンテンツを一意に識別するコンテンツIDをコンテンツに埋め込むことにより、コンテンツと対応する書誌情報を一体化させる。これにより、書誌情報に関係付けたコンテンツの検索、流通管理、課金のシステムと連動したコンテンツの管理が可能となる。「関連情報への誘導」は、URL情報などが埋め込まれた印刷画像をカメラ付き携帯電話で撮影すると、撮影画像から情報検出を経て、指定されたWebサイト等へ誘導するものであり、雑誌広告やカタログへの適用が期待されている。このように電子透かし技術にはさまざまな用途があり、上に述べたすべての用途で実適用に向けた取り組みが始まっている。

図-3を用いて電子透かし技術の代表的な用途を説明する。ここでは、著作権者Aが購入者Bにコンテンツを販売する場面を想定する。

用途	埋め込み情報	埋め込み情報の利用方法
著作権の確認	著作権者の ID	コンテンツに対する著作権の確認, 主張
著作権の問合せ	著作権者の ID	コンテンツの権利照会
不正コピー元の特定	配布先の ID	不正コピーされたコンテンツから不正コピー元を特定
機器制御	レコーダやビューワなどの制御コード	コピーやディスク保存の可否をコンテンツごとに指定
コンテンツ管理	書誌情報, コンテンツ ID	コンテンツの検索, 流通管理, 課金
関連情報への誘導	URL 情報等	URL 情報が埋め込まれた印刷画像をカメラ付き携帯で撮影, 関連 Web サイトへ誘導

表-1 電子透かしの用途

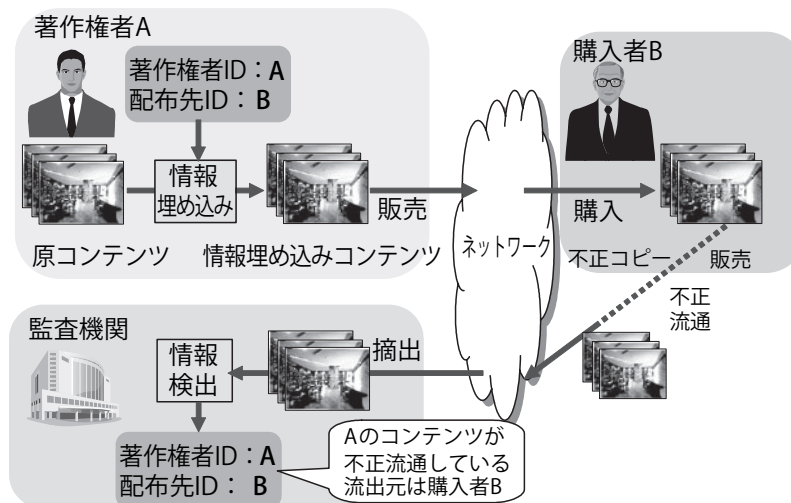


図-3 電子透かしの代表的用途

正規のコンテンツ流通経路

- (1) 著作権者 A は、電子透かし技術により、コンテンツに自分の ID (識別情報) である A および、配布先の ID である B を埋め込む。
- (2) 著作権者 A は情報埋め込みコンテンツを購入者 B に販売する (実際は販売代行業者を通す場合が多い)。
- (3) 情報埋め込みコンテンツは、原コンテンツと見た目の区別がつかないので、購入者 B は原コンテンツと同様に情報埋め込みコンテンツを鑑賞できる。

不正コピーコンテンツの流通

- (1) 購入者 B がコンテンツの不正コピー作成、販売、配布を行った場合、不正コピーコンテンツが流通することで、本来の対価が得られない状態となり、著作権者 A の権利が侵害される。
- (2) 疑わしいコンテンツを見つけた場合、監査機関また

は著作権者 A が電子透かし技術により埋め込み情報 A と B を検出できる。この検出情報からそのコンテンツの著作権者は A であり、流出元は購入者 B であると判断できる。

- (3) 著作権者は A は、購入者 B に対してコンテンツの Web 掲載停止を要求するなどの対抗措置をとることができる。

●電子透かしの原理

電子透かし技術による情報埋め込みと情報検出の具体的な方法は、静止画、動画、音声などのコンテンツの種類によって異なるが、基本的な原理はほぼ共通である。本節では、静止画や動画コンテンツを対象とした画像電子透かし技術を一例として取り上げ、その基本的な原理を説明する。

情報埋め込み

ビット値 $b=1$



ピクセルの輝度値を増加

$b=0$



ピクセルの輝度値を減少

情報検出

判定値 $V =$ 情報埋め込み画像のピクセル輝度値 - 原画像のピクセル輝度値

$$b = \begin{cases} 1 & \text{if } V > T \\ 0 & \text{if } V < -T \end{cases}$$

(a)電子透かしの基本方式

情報埋め込み

ビット値 $b=1$



ピクセル対の輝度値を $\square > \square$ となるように変更

$b=0$



ピクセル対の輝度値を $\square < \square$ となるように変更

情報検出

判定値 $V = \square - \square$

$$b = \begin{cases} 1 & \text{if } V > T \\ 0 & \text{if } V < -T \end{cases}$$

(b)原画像を必要としない電子透かし方式

情報埋め込み

ビット値 $b=1$



複数のピクセル対の輝度値を $\uparrow \downarrow$ に変更

$b=0$



複数のピクセル対の輝度値を $\downarrow \uparrow$ に変更

情報検出

判定値 $V = \sum \square - \sum \square$

$$b = \begin{cases} 1 & \text{if } V > T \\ 0 & \text{if } V < -T \end{cases}$$

(c)統計量操作を用いた電子透かし方式

図-4 電子透かしの原理

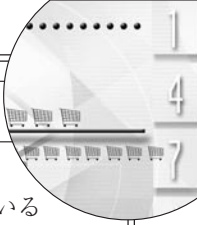
- 画像電子透かし技術は、以下の2種類に大別される。
- (a) ピクセル値変更方式：画像内の輝度（濃淡）情報やカラー情報などのピクセル値を直接変更する方式
 - (b) 周波数変更方式：画像の周波数成分（振幅，位相）を変更する方式

以下では、直感的な理解が容易なピクセル値変更方式を取り上げ、その原理について述べる。

図-4(a)は、画像電子透かし技術の情報埋め込みと情報検出における最も単純な原理を示した図である。ここで、情報を埋め込む画像コンテンツを原画像とし、情報を埋め込んだ画像コンテンツを情報埋め込み画像とする。

今、原画像に1ビットの情報 ($b=1$ or 0) を埋め込むことを考える。図が示すように情報埋め込みにあたって、まず輝度値（またはカラー情報値）を変更するピクセルの位置を1カ所選択する。この位置は、埋め込むビット情

報にかかわらず固定である。次に埋め込むビット値 b に応じて選択したピクセルの輝度を変更する。この例では、ビット値 $b=1$ の場合、ピクセルの輝度を明るくし、ビット値 $b=0$ の場合、暗くするといった処理を施す。たとえば、原画像において選択したピクセルの位置がスクリーン座標 (3,3) であり、その輝度値が128の場合、ビット値 $b=1$ を埋め込む場合には輝度値を $128+20=148$ にし、ビット値 $b=0$ を埋め込む場合には $128-20=108$ にする。ここで輝度値の変更レベルを20に設定しているが、情報埋め込み後に想定される圧縮やフィルタリングなどの加工・編集を考慮して変更レベルを設定するのが一般的である。情報の検出では、情報埋め込み画像と原画像の輝度値の差分からビット値 b を判定する。具体的には、ビット値判定に用いる判定値 V を次のように定義する。



判定値 $V = (\text{情報埋め込み画像のピクセルの輝度値}) - (\text{原画像のピクセルの輝度値})$

上記判定値 V としきい値 $T (>0)$ との大小を比較し、 V が T より大きければビット値 $b=1$ 、 $-T$ より小さければビット値 $b=0$ と判定する。

しかし、図-4(a)に示した方式には以下の問題点がある。

- (1) 検出時に情報埋め込み画像だけでなく、原画像を必要とする。
- (2) ピクセルの輝度値変更が、絵柄によっては、画像内の凹凸となって知覚され、画質劣化を引き起こす。

問題点(1)は、図-4(b)に示す方式で対策可能である。この方式は、情報埋め込み時に輝度値を変更するピクセルを2カ所選択し、この2カ所(ここではピクセル対と呼ぶ)の輝度値の大小関係を変更することで情報を埋め込む。この例では、ビット値 $b=1$ を埋め込む場合、左右2カ所の輝度値が(左側ピクセル) $>$ (右側ピクセル)となるように変更し、ビット値 $b=0$ の場合、(左側ピクセル) $<$ (右側ピクセル)となるように変更する。たとえば、原画像において選択したピクセル対がスクリーン座標(3,3)、(3,4)であり、その輝度値がそれぞれ100、110の場合、ビット値 $b=1$ を埋め込む場合には座標(3,3)、(3,4)の輝度値をそれぞれ110、90とし、ビット値 $b=0$ を埋め込む場合にはそれぞれ95、115とする。情報検出では、ビット値判定に用いる判定値 V を次のように定義する。

判定値 $V = (\text{情報埋め込み画像の左側ピクセルの輝度値}) - (\text{情報埋め込み画像の右側ピクセルの輝度値})$

この方式は検出時に原画像を必要としないが、ピクセル対の輝度値の大小関係がそのままビット値を表現するので、絵柄によっては、輝度値の大幅な変更が必要になり、問題点(2)の画質劣化を引き起こす可能性がある。

問題点(1)および(2)は、図-4(c)に示す統計量操作を用いた方式¹⁾で対策可能である。この方式は情報埋め込み時に先の方式で述べたピクセル対を複数(数十個から数百個)選択することで、個々のピクセル対における輝度値の変更レベルを低減する。具体的にはビット値 $b=1$ を埋め込む場合、個々のピクセル対の輝度値について、左側ピクセル：輝度値増加、右側ピクセル：輝度値減少という操作を施し、ビット値 $b=0$ を埋め込む場合には、輝度値増加/減少の操作を逆にする。たとえば、ビット値 $b=1$ を埋め込む場合には、左側ピクセルの輝度値を2増加、右側ピクセルの輝度値を2減少し、ビット値 $b=0$ の場合には、逆に左側ピクセルを2減少、右側ピクセル

を2増加させる。情報検出では、ビット値検出に用いる判定値 V を次のように定義する。

判定値 $V = (\text{情報埋め込み画像の左側ピクセルの輝度値の和}) - (\text{情報埋め込み画像の右側ピクセルの輝度値の和})$

この方式は、個々のピクセル対の輝度値の大小関係ではなく、ピクセル対の輝度値の和に対して統計的に大小関係を与えることで、個々のピクセル対に対する大幅な変更を不要とし、その結果、画質劣化を低減することができる。なお、上記の3つの例では、1ビットの情報埋め込みを取り上げたが、数ビット埋め込みの場合は、各ビットに対応したピクセル位置を割り当てることで、1ビットの場合の拡張により対処できる。

●電子透かしの技術要件

前節では電子透かしの基本的な原理を説明したが、この基本原理だけでは、十分に実用的とはいえない。電子透かし技術の実用化にあたって、満たすべき技術要件をまとめると以下ようになる²⁾。

- (1) コンテンツの劣化防止：コンテンツの価値を損なわずに情報を埋め込む必要がある。たとえば、静止画の場合は、画質の劣化を防止する。すなわち原コンテンツと情報埋め込みコンテンツが人間には区別できない、あるいは、区別できたとしても差分が鑑賞の妨げにならない範囲にあることが必要である。
- (2) メディア処理への耐性：通常のコンテンツ流通では、コンテンツに電子透かし技術により情報を埋め込んだ後、それを加工、編集して利用者に配布するが多い。同様に、不正コピーの場面でも、コンテンツを加工、編集するが多い。これらのメディア処理を行った後からでも埋め込んだ情報を精度よく検出する必要がある。
- (3) 誤検出の防止：情報を埋め込んでいないコンテンツから情報を検出すること、あるいは埋め込んだ情報とは異なる情報を検出することを誤検出という。この誤検出の発生する確率が実用上問題のない範囲にあることが必要である。
- (4) 埋め込みビット数の確保：電子透かし技術の使用目的を達するに十分なビット数を埋め込めることが必要である。たとえば、著作権者のIDを埋め込む場合には、複数の著作権者を識別するのに十分なビット数を埋め込めることが必要である。
- (5) セキュリティ：電子透かし方式の推定およびそれに基づく埋め込み情報の除去や改ざんが容易でないこと。また、電子透かし技術を悪用した不正行為が容易でないことが必要である。

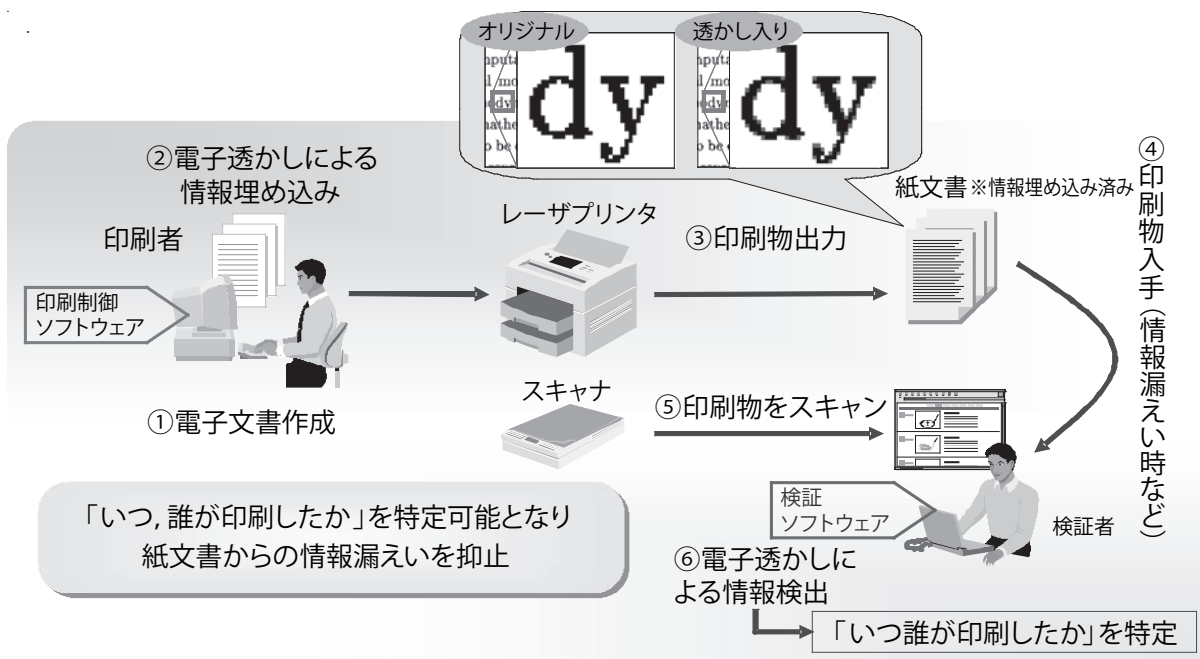


図-5 電子透かしプリントソリューションの概要

- (6) 原コンテンツの不要性：埋め込み情報の検出時に原コンテンツが必要であると、コンテンツの所有者しか検出できず、応用範囲が限定される。したがって、原コンテンツを必要とせず、情報埋め込みコンテンツのみから検出できる方法が望ましい。
- (7) 処理時間の低減：情報の埋め込みおよび検出の処理時間が実用的な範囲にあること。
- (8) 実施コストの低減：電子透かし技術の実装コストが実用的な範囲内であること。また、電子透かし技術を使ったシステム全体の運用において、埋め込んだ透かし情報およびオリジナルコンテンツの管理(たとえば、データベース管理)、埋め込み処理、検出処理などの運用コストが実用的な範囲内であること。

🔍 電子透かしを利用した応用システム

先に述べたように、電子透かし技術にはさまざまな用途があり、電子透かしベンダ各社によるビジネスシーンへの実適用が始まっている。ここでは一例として、日立製作所が現在取り組んでいる電子透かし技術を用いた応用システムについて概観する。

●電子透かしプリントソリューション³⁾

近年、企業や組織における情報漏えい事故が社会問題となっている。企業で管理している機密情報や個人情報が外部に漏えいすると、情報自体の漏えいによる損失のほ

かに、企業イメージの低下や法的責任も問われることになり、その損失は図りしれない。情報漏えい対策は企業や組織にとって最優先で取り組むべき事項となっている。

従来の情報漏えい対策では、デジタルデータの暗号化や、USBフラッシュメモリやCD-R等の記録媒体への保存拒否や、電子メールの送信遮断といった方策により、外部への情報漏えい防止を実現してきたが、一度印刷されてしまった重要文書が漏えいした際の追跡方法や、重要文書の漏えい自体を抑止する方策が課題とされてきた。日立製作所では、機密情報文書や機密図面などの白黒画像を対象とした2値画像電子透かし技術を紙文書に適用することで、紙文書から「いつ、誰が印刷したか」を特定可能とする「電子透かしプリントソリューション」を企業向けソリューション製品として提供している(図-5)。本ソリューションでは、ユーザのパソコンに「印刷制御ソフトウェア」を導入することで、ワープロや表計算ソフト等のアプリケーションプログラムからデータを印刷すると、電子透かし技術によりユーザIDと印刷時刻が埋め込まれて、白黒印刷される。印刷された紙文書は、「検証ソフトウェア」を利用してスキャナで読み込み、読み込まれたデータから情報検出することで、誰がいつ印刷した文書なのか判別可能になる。これにより万が一、紙文書が漏えいした場合に、紙文書のトレースが可能になるとともに、企業の情報漏えいに対するコンプライアンスが高まることが期待される。本ソリューション製品は、銀行や信用金庫を中心とした企業において、

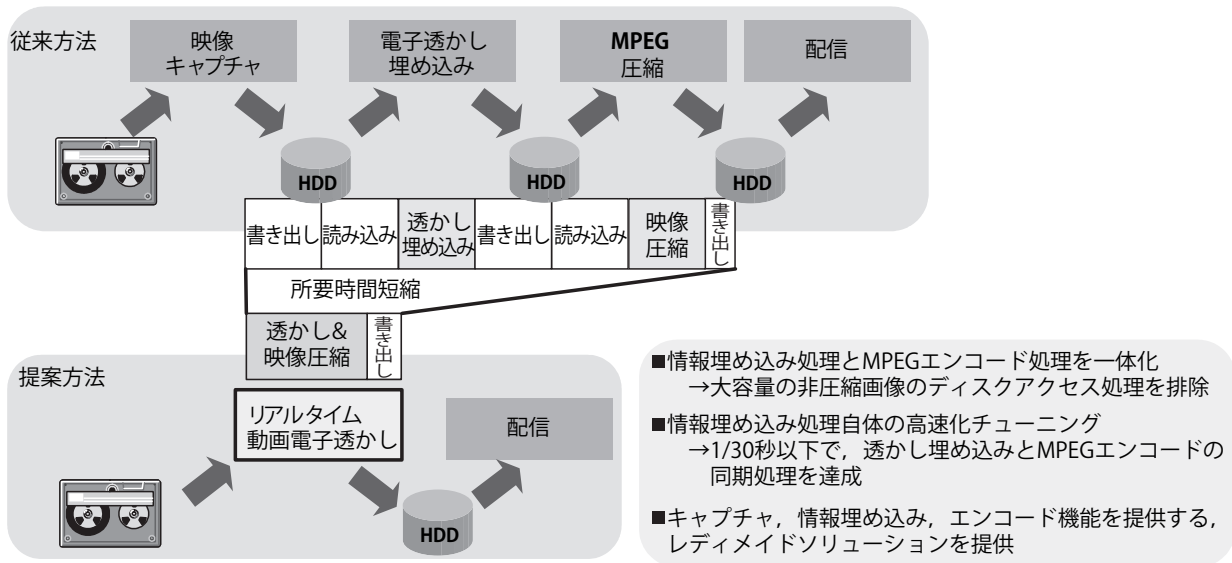


図-6 リアルタイム処理の効果

すでに数千クライアント規模の導入実績がある。

●動画電子透かしリアルタイム埋め込みシステム⁴⁾

インターネット上のコンサートや遠隔教育などにおいて、ライブ映像をリアルタイムで配信するサービスが注目されている中、それら映像の著作権や肖像権保護の対策が急務となっている。ライブ映像では事前にセキュリティ処理ができないため、リアルタイムで映像に識別情報を埋め込む電子透かし技術が必要となるが、従来の動画電子透かしのソフトウェアによる処理プロセスでは1時間の映像の処理に数時間を要する^{☆3}など、ライブ映像配信には実用的ではなかった。日立製作所では、処理コストの大きい埋め込み強度分析処理を高速化することで、QVGAサイズの映像に対して、キャプチャ、情報埋め込み、圧縮、録画の一連の処理を、普及モデルのパソコン上のソフトウェアによりリアルタイムで行うシステムを開発した(図-6)。埋め込み強度分析処理の高速化にあたっては、隣接するフレームは類似性が高いという性質を利用して、類似個所への埋め込み処理を軽減し、演算量の大幅な軽量化を実現した。このシステムは、コンサートやスポーツの映像をはじめ、企業の株主総会・記者会見の映像配信や、eラーニングなどを対象とした著作権保護・不正利用検知用途での利用が期待されている。

☆3 ライブ映像配信サービスでよく用いられるQVGA(Quarter Video Graphics Array: 320x240ピクセル)の映像ですべてのフレーム(30fps)に情報を埋め込む場合。

🔍 今後の展望

情報ネットワークは日々発展し、放送局や映画会社などの一部の組織に限られていたデジタルコンテンツの生成源が、個人を含むあらゆる個所(携帯カメラ、ブログ、監視カメラなど)に広がりつつある。また、放送通信融合や、物理/サイバー空間のコンテンツ遷移などにより、コンテンツのフォーマットや流通経路の多様化が急速に進んでいる。このような複雑化したコンテンツ流通時代において、コンテンツセキュリティに対する技術要件も多様化するが、流通経路やフォーマットの変化に柔軟に対応できる電子透かし技術の必要性は今後ますます高まるであろう。今後は、電子透かし技術のさらなる性能向上とともに、電子透かし技術により検出した情報の法的証明力や関連法制度の整備が望まれる。

参考文献

- 1) Bender, W., Gruhl, D. and Morimoto, N.: Techniques for Data Hiding, Proc. SPIE, Vol.2420, pp.164-173 (1995).
- 2) 佐々木良一, 吉浦 裕, 手塚 悟, 三島久典: インターネット時代の情報セキュリティ-暗号と電子透かし-, 共立出版(2000).
- 3) 電子透かしプリントソリューション, http://www.hitachi.co.jp/Prod/comp/Secureplaza/sec_prod/densisukasi/index.html
- 4) ライブ映像の録画、配信に適した動画電子透かしリアルタイム処理技術, <http://www.sdl.hitachi.co.jp/japanese/people/watermark/> (平成18年9月28日受付)

越前 功(正会員)

isao.echizen.vs@hitachi.com

1997年東京工業大学大学院理工学研究所修士課程修了。同年日立製作所入社、システム開発研究所配属。著作権保護技術、電子透かし技術の研究開発を担当。現在、同研究所第七部研究員。博士(工学)。IEEE、電子情報通信学会、映像情報メディア学会各会員。