

電子透かしによるコンテンツ保護

Watermarking Technology for Content Protection

山影 朋夫

YAMAKAGE Tomoo

小暮 央

KOGURE Nakaba

浅野 渉

ASANO Wataru

AV機器のアナログ出力に対するコンテンツ保護の一手段として、電子透かし(WM: WaterMark)が注目されている。WMは、適用するシステムから求められる技術要件に基づいて適切な方式を適用することが必要不可欠である。

東芝は、DVDのコンテンツ保護に適したビデオWM技術を開発した。この技術は、画質劣化がわずかで、様々な操作を受けた後でも情報の検出が可能であるなどの特長を持っており、その処理量とコストは民生機器に実装可能なレベルである。

Watermarking technologies are attracting considerable interest as a means of protecting the analog signal output of audiovisual equipment from unauthorized copying. It is essential for watermarking technology to adopt appropriate methods based on the requirements derived from the system concerned.

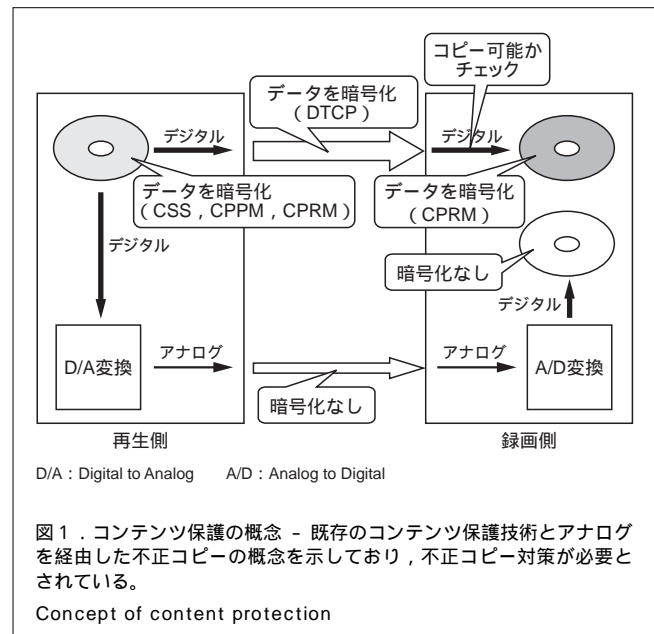
Toshiba has developed a video watermarking technology that is suitable for DVD content protection. Among the features of this technology are good transparency and a high capability to detect embedded information after many types of attacks, as well as low complexity suitable for consumer products.

1 まえがき

DVD、デジタル放送、インターネット配信など、デジタル化されたオーディオ・ビデオ(AV)信号をユーザーが視聴する機会が増加している。MPEG-2(Moving Picture Experts Group-phase2)などのデジタル化されたAV信号に対する圧縮技術により、アナログ信号と比較して少ない容量又は帯域で、高品質なコンテンツをユーザーに提供できるようになった。一度デジタル化されたAV信号は、ビットごとのコピーにより、容易に劣化のない複製を作成できるため、コンテンツ保護技術が強く求められている⁽¹⁾。

CSS(Content Scramble System)、CPPM(Content Protection for Pre-recorded Media)、CPRM(Content Protection for Recordable Media)、DTCP(Digital Transmission Content Protection)などのコンテンツ保護規格は、暗号技術をデジタル化されたAV信号に適用したもので、不正コピーを防ぐために開発され、実用化されている。これらの技術は、アナログAV信号でのコピー防止を意図してはならず、いわゆるアナログホールを埋めるための技術が必要とされている(図1)。

そこで、アナログを経由した不正コピーに対する対策が検討されている。ビデオ信号に対するコピーガード信号やCGMS-A(Copy Generation Management System-Analog)は、ブランキング期間の信号を操作することにより、VTRなどによる不正コピーを防止する技術として実用化されてい



る。しかしながら、ブランキング期間の信号は、波形の整形処理などによりビデオ信号の内容に劣化を与えずに取り除かれる可能性がある。また、オーディオ信号にはブランキング期間という概念はないため、新たな技術の導入が求められている⁽²⁾。

WMは、AV信号を直接操作する(微小な変更を加える)ことにより、AV信号中に別の情報を埋め込む技術である。そのため、アナログを経由した不正コピーの防止への適用

が期待されており、既にDVD-Audioで導入されている。

ここでは、WMを使ったコンテンツ保護システムのアーキテクチャ並びに東芝が開発したビデオWM技術HIDE (Human eye Insensitive Digitally Embedded watermark) について述べる。

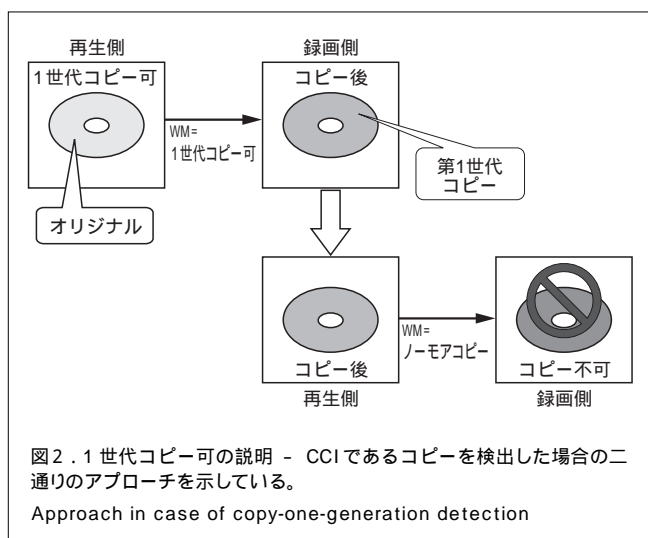
2 WMを応用したコンテンツ保護システムアーキテクチャ

WMはAV信号に情報を埋め込む技術であるため、単体ではコンテンツ保護を行うことができない。WMとして埋め込まれた情報が、機器の動作のルールに組み込まれることにより、WMがコンテンツ保護技術として機能する。そのため、機器に対しWMの検出を義務づける必要があり、CSS、CPRMなどのコンテンツ保護規格のライセンス条件に、WM検出の義務づけを追加する案に加え、米国では法制化による強制が検討されている。

上述したコンテンツ保護規格では、以下の4種類のコピー制御情報(CCI: Copy Control Information)を定義している。

- (1) コピーフリー(Copy-free) コピーが自由に行えるコンテンツ
- (2) コピー不可(Copy-never) コピー禁止のコンテンツ
- (3) 1世代コピー可(Copy-one-generation) 1世代のコピーが行えるコンテンツ
- (4) ノーマアコピー(No-more-copies) 一度コピーされた1世代コピー可のコンテンツ(これ以上のコピーは禁止)

WMでCCIを埋め込み、機器が検出したCCIに従って動作することで、コンテンツ保護が実現できる。注意すべき点としては、1世代コピー可のコンテンツを1回コピーした場合、CCIをノーマアコピーに書き換えなければならない点である。この操作を書換えと呼ぶ。



次に、機器の動作について述べる。

入力信号からWMが検出されなかった場合及びコピーフリーが検出された場合、記録が可能になる。入力信号からコピー不可又はノーマアコピーが検出された場合、記録が禁止される。入力信号から1世代コピー可が検出された場合は、二通りのアプローチがある(図2)。

- (1) 入力をそのまま記録しつつ、保護された管理領域にコピー後であるという情報も併せて記録し、再生時にWMの書換えを行う。
- (2) WMの書換えを行った後にディスクに記録する。

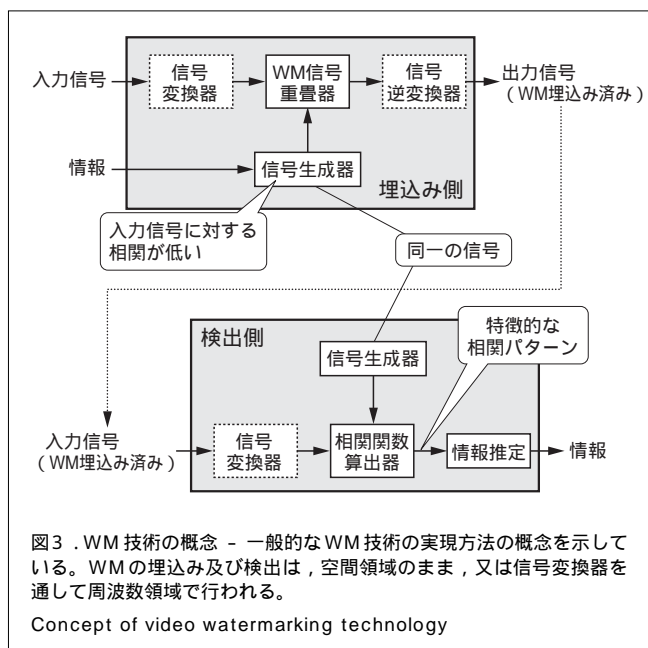
3 ビデオWM技術 HIDE

DVDでは、アナログ出力を用いた不正コピーからコンテンツを保護するために、ビデオWMを用いることが検討されている。保護するレベルとしては、一般の人が入手可能な機器やソフトウェアを用いた不正コピー(カジュアルアタック)を防止することが目的である。ここでは、まず、一般的なWM技術の実現方法の概要を述べ、次に、DVDにおけるビデオWMに対する技術要件を紹介し、最後に、HIDEの概要について述べる。

3.1 WM技術の実現方法

WM技術の実現方法の概念を図3に示す。

WMの埋込み及び検出は、空間領域のまま、又は信号変換器を通して周波数領域で行われる。埋込み側では、埋め込む情報を元にして内部(信号生成器)で生成した信号を入力信号に重畳する。このとき、入力信号と信号生成器で生成した信号とが無相関になることが望ましい。検出側では、埋



込み側で生成した信号と同じ信号を内部で生成し、入力信号との相関関数を算出する。

WMが重畳されている場合、入力信号には埋込み側で重畳した信号が含まれているため、得られる相関関数には特徴的なパターンが存在する。パターンは、埋込み時に行った変調に依存しているため、そこから埋め込まれた情報が推定できる。

一方、WMが重畳されていない場合、得られる相関関数は入力信号と信号生成器で生成した信号との相関関数の算出結果となる。信号生成器で生成した信号は、入力信号と無相関であるため、特徴的なパターンが得られない。これにより、WMが存在しないと推定できる。

3.2 DVDにおけるビデオWMに対する技術要件

DVDにおけるビデオWMに対する技術要件には、以下のようなものがある⁽³⁾。

- (1) 実現の容易性 検出及び書換えは民生機器内で実行されるため、ハードウェアのコスト又はソフトウェアの処理量が実用的な量であること。
- (2) ブラインド性 機器に入力されるビデオ信号だけからWMの検出を行うこと。DVD応用では必須の要件である。
- (3) 不可視性 WMの埋込みによる画質劣化が知覚されにくいこと。コンテンツをDVDに記録するためには、MPEG-2を用いて画像圧縮を行う。これに伴う画質劣化と同程度以下の画質劣化であることが望ましい。
- (4) 埋込み可能な情報量 現在定義されているCCIの4状態(2ビット)に加え、将来の拡張用に数ビットを埋込み可能なこと。
- (5) 情報の書換え CCIを実現するため、書換えが可能な状態を持つこと。
- (6) 誤検出率 誤検出率が極めて低いこと(10⁻¹²以下)。CCIの誤検出により、コピー可能なコンテンツをコピーできないという事態が発生しないこと。
- (7) 検出時間 検出に要する時間が短いこと。コンテンツの断片からも検出ができるようにするため、10秒～1分程度での検出が望ましい。
- (8) WM埋込み作業の容易性 WMの埋込みが容易に行えること。WMの埋込み処理が自動化されることが望ましい。
- (9) 拡張性 今後普及が予想される高精細テレビ信号(HDTV)への適用が、比較的容易に実現可能であること。
- (10) ロバストネス カジュアルアタックを受けても、WMの検出が可能であること。カジュアルアタックの例を以下に示す。
 - (a) アナログ デジタル変換

- (b) VTRによる複数世代のコピー
- (c) MPEG-2などの動画像圧縮技術による複数世代の圧縮
- (d) ぼかしやエッジ強調などのフィルタ処理
- (e) カラーコレクターによる色相調整
- (f) 拡大・縮小
- (g) 回転
- (h) 画像の変形

3.3 HIDEの概要

前節で述べた技術要件のうち、(2)ブラインド性、(6)誤検出率、及び(10)ロバストネス(特に、(f)拡大・縮小、(g)回転、(h)画像の変形)は、図3に示したWM技術の概念の信号生成器の特性に依存し、性能に大きな影響を与える。以下、これら技術要件を満足させるため、信号生成器の特性設計時に着目すべき点を述べる。

ブラインド性では、入力されたビデオ信号だけからWMの検出を行うことを要求されているが、図3では、埋込み側と検出側の信号生成器が同一の信号を生成していることが求められている。信号生成器があらかじめ決められた固定パターンの信号を生成するというアプローチが考えられるが、ハッキングされやすいという懸念があるため、適切ではない。

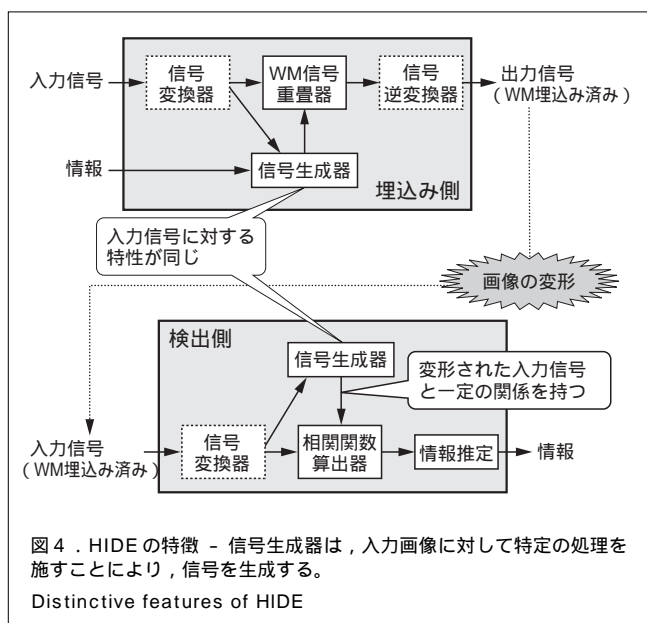
誤検出率が低いことが要求されているが、信号生成器で生成した信号と入力信号(WM埋込みなし)の間に相関が存在する場合、検出側で得られた相関関数には特徴的なパターンが存在し、本来、WMが埋め込まれていないにもかかわらず、WMを誤検出してしまふ懸念がある。

ロバストネスに関しては、画像の変形に対する耐性も要求されている。信号生成器が固定パターンの場合、埋込み側で埋め込んだ信号は変形されているにもかかわらず、検出側では変形前の信号を用いて相関関数を求めることになるため、WMの検出は困難になる。そのため、考える変形パターンに応じて信号生成器の出力を変形し、検出動作を繰り返し行う。候補となる変形パターンの数が増えると処理量が増加するため、技術要件の(1)実現の容易性を満足できなくなる。

これらの問題を根本的に解決するため、当社が開発したビデオWM技術では、埋込み及び検出時に用いる信号生成器は、入力画像に対して特定の処理を施すことにより信号を生成するようにした(図4)。生成される信号は入力画像との相関が低く、かつ、入力信号が変形された場合には生成される信号も同様に変形されるという特長を持つものである。

次に、技術要件の(3)不可視性に関して述べる。

人間の視覚特性は、平坦な部分のノイズは知覚しやすく、複雑なパターンやエッジ部分のノイズは知覚しにくいという性質を持つ。更に、動画像に対して固定されたノイズを重畳すると、知覚されやすくなる(元の画像が動いてもノイズは固



定されており、すりガラス越しに動画像を見ているような印象を受ける)。当社が開発したビデオWM技術では、これらの視覚特性を考慮して画質劣化が目立たない部分を自動検出し、局所的に埋込み強度を決定して埋込み操作を行っている。自動検出処理の導入により、埋込み処理が自動化され、(8)WM埋込み作業の容易性の技術要件を達成した。

4 あとがき

DVDを例にとり、ビデオWM技術をコンテンツ保護に適用するためのシステムアーキテクチャ、及び当社が開発したビデオWM技術HIDEについて述べた。HIDEは、DVDへの応用に必要な技術要件を満足するだけでなく、同様の技術要件を持つ様々なシステムに適用することができる。

技術の進歩により、ユーザーがより安価に、より高機能の機器やより高速なCPUを入手することが可能になり、より高度なカジュアルアタックが可能になる。そのため、今後も、更にロバストなビデオWM技術の開発を継続的に行っていくことが重要である。

また、WMを適用するシステムが変われば、対応する技術要件も変更される。例えば、コンテンツにWMでID(識別情報)を埋め込んでインターネット上での不正使用を防止するシステムでは、コンテンツを識別するために数十ビット以上の情報を埋め込む必要があるが、検出はリアルタイム処理で行う必要はない。

適切なシステムアーキテクチャを構築し、適切なWM技術を適用することが、性能面とコスト面で最適なソリューションを提供することにつながる。今後も、様々なシステムに最適なビデオWM技術の開発を行っていく。

文献

- (1) 田中 哲男,ほか .ホームデジタルコンテンツの保護技術 .東芝レビュー .57 , 9 ,2002 ,p.34 - 37 .
- (2) Analog Reconversion Discussion Group. "MPAA Presentation on the Analog Reconversion Problem". <http://www.cptwg.org/Assets/Presentations/ARDG_AnalogReconvMPAA02-03.pps> , (accessed 2003-02-23).
- (3) DVD Copy Control Association. "Request for Expressions of Interest". <http://www.dvcca.org/data/css/Request_Expression_of_Interest.pdf> , (accessed 2003-02-23) .



山影 朋夫 YAMAKAGE Tomoo

研究開発センター マルチメディアラボラトリー研究主務。動画像用電子透かし及びMPEG関連システムLSIの研究・開発に従事。IEICE 会員。
Multimedia Lab.



小暮 央 KOGURE Nakaba

研究開発センター マルチメディアラボラトリー。動画像用電子透かし及びMPEG関連システムLSIの研究・開発に従事。
Multimedia Lab.



浅野 渉 ASANO Wataru

研究開発センター マルチメディアラボラトリー。動画像用電子透かし及びMPEG-4 AVC/H.264の研究・開発に従事。
Multimedia Lab.