

動画コンテンツの特性に応じた電子透かし埋め込み方法の評価

山田 智広, 萬本 正信, 高嶋 洋一
NTT サイバーソリューション研究所

あらまし

電子透かしは動画、音楽、静止画などのコンテンツが持つ冗長性を生かし、コンテンツIDなどの副情報を埋め込む技術である。コンテンツの特性やエンコーダ種別は、電子透かしの残存率に影響を与えるため、コンテンツごとに最適な電子透かしパラメータをチューニングする必要がある。そこで本稿ではコンテンツのスペクトル分布と動画像に特徴的なカメラワーク、シーンチェンジに着目し、動画像における電子透かしの検出率を分析した。これにより、電子透かしの自動パラメータチューニングを行うための基礎データを得ることができた。

Evaluation of the digital-watermarking embedding method according to the characteristic of MPEG contents

Tomohiro YAMADA, Masanobu MANMOTO, Youichi TAKASHIMA
NTT Cyber Solutions Laboratories

Abstract

Digital watermarking is the technology which embeds sub-information such as the Content ID, using redundancy of the contents. Since the characteristic of contents and the compression algorithm have influence on the credential survivability of digital watermarking, we need to tune up the optimal watermarking parameter for every contents. We analyzed watermarking detection ratio of moving picture about influence on the spectrum distribution of the content and the moving picture characteristic based on the camera work and scene change. Those results will be useful data for the automatic parameter tuning of embedding watermarking algorithm.

1. はじめに

近年、音楽、映像などのコンテンツ配信サービスが始まり、コンテンツクリエイター、コンテンツホルダは大きなビジネスチャンスを手に入れようとしている。しかし、デジタルコンテンツは複製が容易で、不正に複製されたコンテンツがインターネットを通じて即座に世界中に配信可能であるため、コンテンツに関する権利である著作権の管理、デジタルコンテンツそのものの保護について関心が高まっている^[1]。

コンテンツ流通・権利流通サービスに必要な著作権管理、ならびに保護コンテンツの生成・流通・利用制御の機能を統合した権利流通プラットフォームが開発されている^[2]。このプラットフォームの中では、コンテンツIDおよび権利属性情報の管理機能、電子透かし、カプセル化などの保護処理機能、不正探索機能を実現されている。

最近ブロードバンドの普及により、動画像コンテンツの流通量が増加してきている。そこで本稿では特に動画像への電子透かしに関して取り扱うこととする。まずTV放送など一般的な動画コンテンツについて、カメラワークによる映像を分類し、符号化情報と電子透かし検出率の関係を評価することで、動画コンテンツへの電子透かし埋め込みの要件を整理する。次に、符号化時に得られる情報を利用して電子透かしパラ

メータを自動チューニングする方法を考察する。

本稿の構成を以下に示す。2章では、動画像に対し電子透かしを適用する際の課題を整理する。3章では、実際に一般的な動画像および標準動画像に対して電子透かしの埋め込み検出評価を行った結果を報告する。4章で本評価結果のまとめを行い、最後に5章で、動画への電子透かし適用に向けた今後の評価の方向性を示す。

2. 動画像における電子透かし埋め込みの課題

2.1 動画像への電子透かし埋め込み方式

電子透かしは、人間が視覚的あるいは聴覚的に認知しづらい方法で、デジタルコンテンツに対して副情報を埋め込む方法である。圧縮率が高い符号化方式を利用した場合、その特性上、符号化装置により電子透かしが消されてしまう可能性が高い。動画像への電子透かし埋め込み方法として、

- 1) ブロック層 DCT 係数への透かし情報付加^[4]
- 2) マクロブロック層 量子化特性値の変更
- 3) ピクチャ層 静止画への情報付加^[5]

などが挙げられる^[3]。

想定する流通経路、優先される要件(画質、処理速度、耐性、汎用性など)に合わせて、各方式を選択あ

るいは組み合わせて利用するのが通常である。B2Cでの流通の場合は、コンテンツがそのままの状態での流通するため、DCT係数の利用などマクロブロック層への電子透かし埋め込み方法を行うことにより、画質の劣化を抑えるという方法が適している。一方で、P2Pでの流通のように、フォーマットの変換、再エンコード、編集が行われる環境においては、フォーマットへの依存性が少ないピクチャ層への電子透かし埋め込みが適している。また、ピクチャ層への電子透かし埋め込みを行うことで、動画がキャプチャされた場合、キャプチャされた静止画を印刷した場合でも電子透かしが取得できるというメリットがある。しかしながら、ピクチャ層への電子透かしの埋め込みでは、電子透かしの残存率は符号化装置の圧縮率や複雑さといった画像の特徴により影響を受け、特に圧縮率の高い動画像では、残存率の低下は大きな問題となる。

2.2 ビジネス適用における課題

電子透かしをデジタルコンテンツ流通に適用するための要件としては、以下のようなものがある。

- 1) 品質(画質、音質等)
- 2) 耐性(圧縮、編集等)
- 3) 安全性(耐タンパー性等)

1) 品質に関しては、被験者によるMOS評価などの主観評価が中心であるが、被験者によりばらつきがある。電子透かしを客観的に評価するためには、電子透かしにより付加される情報量と、実際にコンテンツを利用するクリエイターや消費者が許容できる閾値について分析およびモデル化しておくことが重要である。また、付加される情報量が同じ場合でも、模様の細かい画像では電子透かしが認知されにくいなど、コンテンツの特徴により認知されやすさが変わってくる。この電子透かしの特性は、例えば複雑度が高い部分に選択的に電子透かしを埋め込むといった形で活用されている。

2) 耐性に関しては、主に静止画に対して、JPEG圧縮やstirmarkに対する耐性評価が行われている⁶⁾。動画については、JPEGなどの静止画圧縮方式に比べ圧縮率も高く、符号化方式およびビットレートによっても、残存率が大きく影響をうける。従って、検出率を同等にするためには、動画の品質を確認しながら、電子透かしのパラメータを試行錯誤で設定してきた。ブロードバンドの普及に伴い、動画のコンテンツ量が増えてきており、動画の品質保ち、かつ検出率を一定以上に設定するような仕組みが求められる。

また、動画像においては、回転、切り取りを行われることは少ないが、フォーマットやビットレート、フレームサイズの変換や、動画像をキャプチャした静止画が

不正に流通するというケースもあるため、符号化方式やビットレート変換への耐性が必要となってくる。前節で述べたピクチャ層への電子透かしの埋め込み方式は、このような場合に有効であるが、ピクチャ層に埋め込まれた電子透かしは、現画像信号とともに、符号化装置により圧縮されてしまうため、いかに符号化装置により除去されずかつ、画質の劣化を抑えられるかが、重要である。

電子透かしへの要件として、3) 安全性も重要である。電子透かしは暗号技術とは異なり、コンテンツ全体を隠蔽するのではなく、元コンテンツに対し、除去されないように情報を付加するという方法であるため、結託攻撃などにより、電子透かし情報を元コンテンツから除去されるという課題がある。また、暗号技術においては鍵を秘匿することでその安全性を保つことができるが、電子透かしはアルゴリズムの漏洩により、透かし情報の削除・偽造を行われる可能性があるため、鍵情報に加え、アルゴリズム自体を秘匿する必要がある。電子透かしを運用する際には、結託攻撃を防ぐための電子透かし情報付与ルールや、鍵やアルゴリズムを隠蔽するための仕組みおよび管理方法が必要になってくる。合わせて、結託攻撃や鍵情報やアルゴリズムが漏洩した場合に、被害を最小限に抑えるためのしくみも重要である。コンテンツホルダやコンテンツ管理事業者に対して鍵情報やアルゴリズム情報を隠蔽したまま、電子透かしの埋め込みツールを提供するために、クライアントサーバ型の電子透かし技術の開発も行われている。

本稿では、これらの要件のうち動画像に対する耐性を取り上げ、ビジネス適用を行う際の電子透かしの残存率とコンテンツ特性について分析し、電子透かしパラメータの自動チューニングの可能性について考察する。

3. 評価

3.1 評価システムの構成

動画像における電子透かしの耐性について評価を行うにあたって、以下のような点に着目した。

- 1) 符号化特性(フォーマット、ビットレート)による影響
- 2) 映像特性(特にカメラワーク)による影響
- 3) 静止画特性(複雑度およびスペクトル分布)による影響

これらは、これまで、動画像への電子透かしの適用を検討してきた中で、検出率への影響が経験的に大きいと考えられるとともに、映像信号からの抽出手段が存在しており、動画像からこれらの情報を自動的に取

り出し、電子透かしパラメータに反映することで、自動チューニングにつながる可能性が高いと考えられる。図1に評価システムの構成を示す。

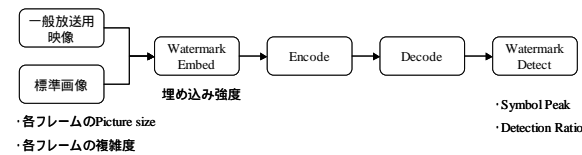


図1 電子透かし評価システムの構成

評価実験では、符号化方式として、MPEG2 および WMV を用いて行ったが、本稿では主に MPEG2 を用いて評価した結果を分析する。また、電子透かし方式は前述の権利流通プラットフォーム^[2]に組み込まれているものを利用した。

3.2 評価手順

(1) 一般動画像による評価

まず、流通する動画像に対して、電子透かしの検出率がどの程度行えるかについて測定をおこなう。評価用動画像は、TV 放送を早朝、朝、昼、夜、深夜のそれぞれの時間帯で 20 分おきに 3 分間ずつキャプチャし、約 60 分の AVI ファイルを作成した。その後、表1のようなプロファイルに変換し、それぞれに対して電子透かしの強度パラメータを変更しながら、電子透かしの埋め込みと検出を実施した。電子透かしのパラメータとしては、電子透かしにより付加するデータ量の大きさに相当する強度を変化させた。

表1 一般画像のプロファイル

一般映像						
ビットレート (bps)	6M	3M	1.5M	768k	384k	
映像時間(s)	59分05秒07フレーム					
フレームレート (fps)	29.97		30			
総フレーム数	106200		106306(ログ上の数)			
画面サイズ	720x480		640x480		320x240	
アスペクト比	4:3		1:1			
オーディオ						
チャンネル数	ステレオ					
ビットレート (kbps)	224		128		64	32
サンプリング周波数(KHz)	44.1		32.0			
ビット数/サンプル	16bit					
オーディオコーデック	MPEG1-Layer2		Windows Media Encoder 9			

次に、電子透かしの検出率（今回は Symbol Peak を使用）の特性、およびカメラワークなどの映像特徴により、映像を分類し、代表的なものを選抜映像として、ピックアップした。分類の観点には以下のもので行った。

(a) 検出率グラフ

- グラフがほぼ平に推移(高中低)
- グラフが階段状に変化
- グラフが大きく乱高下
- 透かし検出ができなかった所が連続している

(b) 映像特性

- ズームイン、アウト
- パン
- スクロール
- 激しい動きの連続
- モノクロ
- ほぼ静止画
- ストロボ

次に、選抜映像について、MPEG 解析ツールを使用し、Picture Size と検出率の関係を分析した。また、あわせて、キャプチャした静止画について周波数スペクトルを測定した。

(2) 標準動画像による評価

一般動画像により得られたカメラワークによる検出率の変化の傾向を確認するため、標準動画像についても同様に表2のようなプロファイルにエンコーディングし、電子透かしの埋め込み検出を実施した。

同様に、MPEG 解析ツールを使用し、Picture Size と検出率の関係を分析した。また、あわせて、キャプチャした静止画についても、周波数スペクトルを測定した。なお、標準画像としては、Flower Garden、Yacht Harbor を使用した。

表2 標準画像のプロファイル

標準画像(Flower Garden, Yacht Harbor)		
ビットレート (bps)	MPEG2	6M, 3M
	WMV	1.5M, 768k, 384k
映像時間(s)	15秒	
フレームレート (fps)	MPEG2	29.97
	WMV	30
総フレーム数	431	
画面サイズ	MPEG2	720 x 480
	WMV	320 x 240
アスペクト比	MPEG2	4 : 3
	WMV	1 : 1
オーディオ	オーディオフォーマットは形式上存在しているが映像に音は入っていない	

3.3 一般動画像による評価結果

図2に、MPEG2の3Mbpsにおいて、フレームごとの検出率の推移を示す。本グラフでは、前節で述べたようなカメラワークおよび検出率の推移が特徴的なものについて選抜している。選抜映像のうち、検出率が大きく変化している部分は、スクロール、ズームイン・ズームアウト、パン、ストロボといった映像特性との

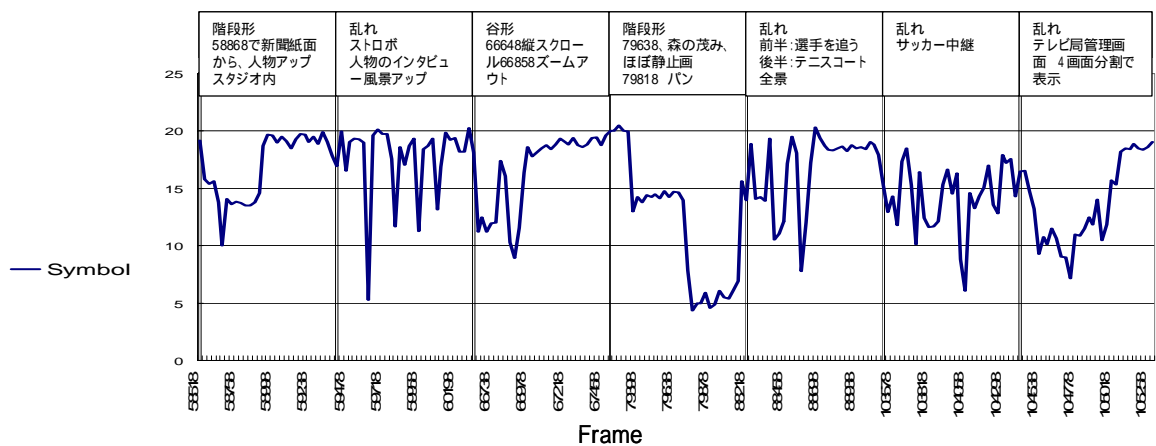
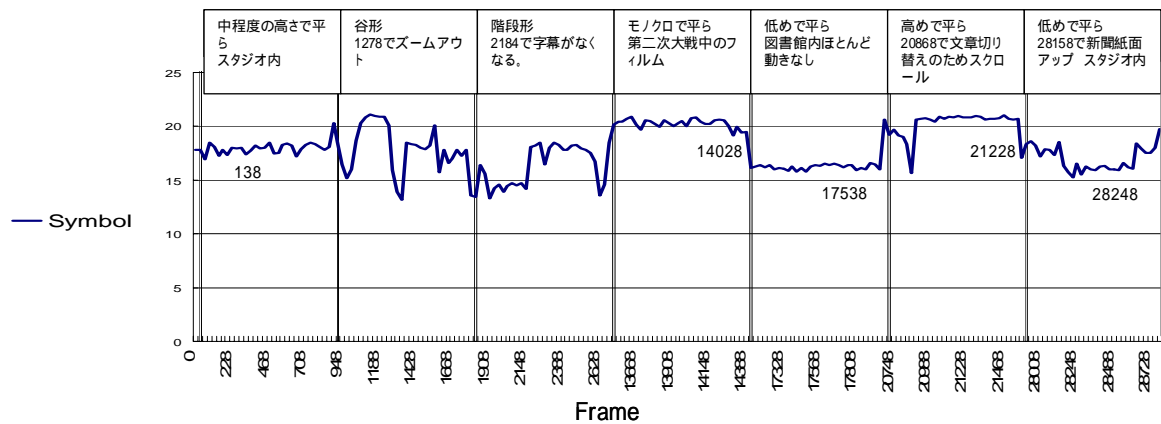


図2 一般映像のタイプ別分類

関連が強い。これらのうち、カメラワークは、サッカー、テニスなどのスポーツ番組、インタビューなどを含む報道映像、ライブを含む音楽番組に多く見られる。カメラワークと検出率の関係についての分析は、他の要因がなるべく混在しない状況で行うため、後節の標準動画像を使用した分析で詳細を述べることにする。

一方で、検出が平坦なもので、検出率が高いものと低いものが存在する。これは、カメラワークなど動きは少ないが、映像の各フレームの静止画としての特性により、影響を受けていると考えられる。選抜映像の透かし検出グラフで線が水平に推移しているものを5点選択し、それらのスペクトルを測定した。各スペクトルを図3に示す。この結果を見ると、スペクトルの分布が広いほど、検出率が低くなる傾向にある。今回評価を行った電子透かしアルゴリズムが、スペクトル拡散を行っているため、画像信号のスペクトルの分布が大きい場合、透かし信号と画像信号のS/N比が低下したものと考えられる。

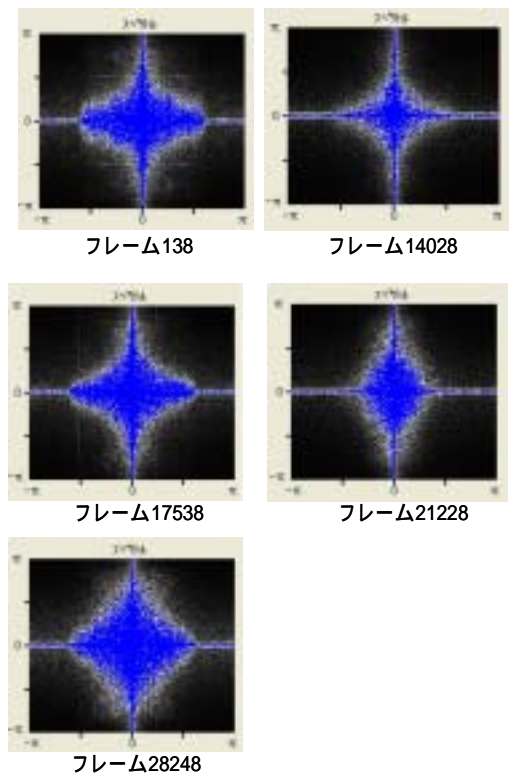


図3 一般画像のスペクトル分布

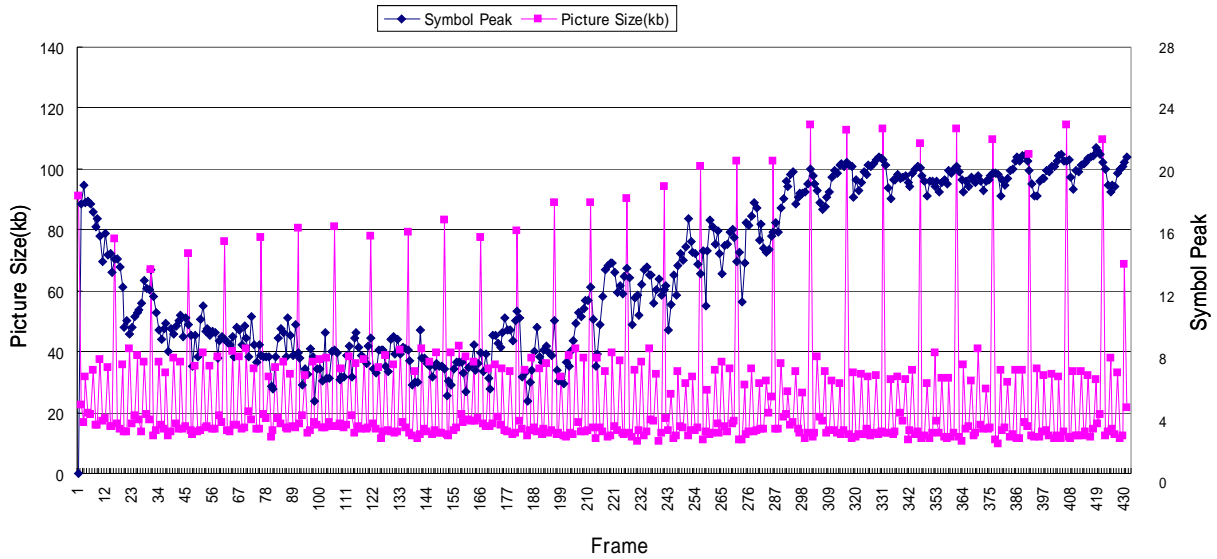


図4 Flower Garden のPicture SizeとSymbol Peakの相関グラフ

3.4 標準動画像による評価結果

図4に Flower Garden のMPEG2、6Mbps における Symbol Peak と各フレームの Picture Size を示す。図4を見ると、Iフレームの Picture Size が、減少するにつれて、Symbol Peak が低下し、8000byte 以下になると、ほとんど検出できないことがわかる。今回評価している電子透かしアルゴリズムは、映像信号そのものであるピクチャ層に対して情報を付加する電子透かしを付加する方式であるため、電子透かしを埋め込む対象である Picture Size に割り当てられるデータ量が、一定値を超えないと著しく、検出率が低下するものと考えられる。

次に、電子透かし強度を変化させた場合の Picture Size と検出率の関係を分析する。図5に強度と Picture Size を変化させた場合の Symbol Peak の分布図を示す。

図5を見ると、Picture Size が90000byte を超えると Symbol Peak の Peak 値と比例傾向にあることがわかる。また、強度を増加させることにより Symbol Peak は増加しているため、一定値以上の Symbol Peak を得たい場合、例え

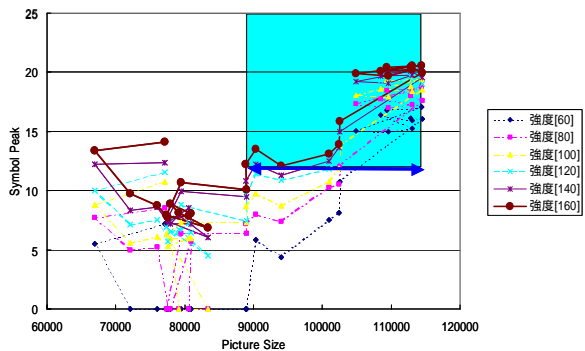


図5 Flower Garden のPicture Sizeと Symbol Peakの強度ごとの相関グラフ

ば、Symbol Peak=12 の場合を考えると、Picture Size により強度を矢印の範囲で調整することでより画質の劣化を抑えた強度で電子透かしの埋め込みを行う事が可能であることがわかる。

次に、Yacht Harbor についても同様に、Picture Size と検出率を強度ごとにグラフ化すると図6のようになる。

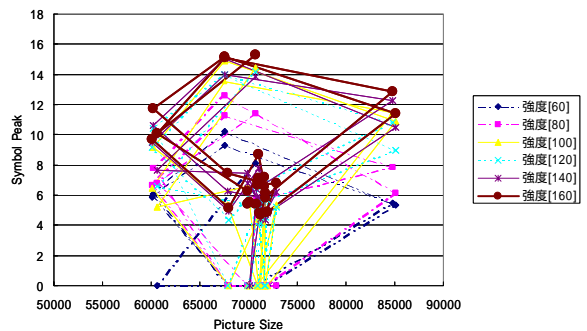


図6 Yacht HarborのPicture Sizeと Symbol Peakの強度ごとの相関グラフ

Flower Garden とは異なり、Picture Size と Symbol Peak の間に比例関係はなく、Picture Size が85000byte 付近では、同じ Picture Size であるにもかかわらず、Symbol Peak が大きく違っている。これは、一般動画像においてスペクトル分布により、検出率が変化する傾向にあることを述べたが、スペクトル分布を含め Picture Size 以外に、検出率に影響を与えているファクタがあると考えられる。

Flower Garden については、図5のように、Symbol Peak を一定値とするような Picture Size と透かし強度の関係が得られたが、一般動画像においても、Flower Garden と同様

のスクロール映像の場合には同様の傾向が見られるかを検証する。一般動画像より、スクロール部分を切り出し、分析した結果を図7に示す。Picture Sizeが90000byteを超えるとSymbol Peakは単調増加している事が分かる。ここから一般画像においてもFlower Gardenと同様の傾向を示す事が分かった。つまり一定値以上のSymbol Peakを得たい場合、Picture Sizeの大きさにより強度を変化させる事で画質劣化を最小限にしなが、電子透かしを埋め込む事が可能である。

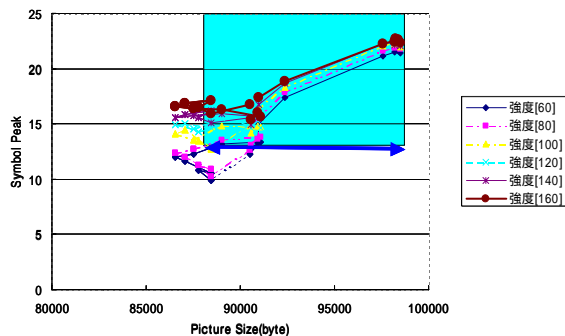


図7 一般画像のPicture SizeとSymbol Peakの強度ごとの相関グラフ

4. まとめ

本稿では、動画像に特徴的なカメラワーク、シーンチェンジに着目し、動画像の電子透かしの検出率と符号化情報など動画像から得られる情報の関係を分析した。本分析により、電子透かしの自動パラメータチューニングを行うための基礎データを得ることができた。

2章で述べたように、実運用においては、画質および検出率を一定値以上に保てるようにチューニングを行うことが重要である。今回の実験では一部のカメラワークについてのみであるが、Picture Sizeにより電子透かし強度を調整することで、検出率(本稿ではSymbol Peakを指標として使用)を一定値以上に保つことができる可能性を示す事ができた。

5. 今後の予定

今後評価を以下のように行う予定である。

- (1) 対象カメラワークの拡大
今回対象としたスクロール以外のカメラワークについても同様なコントロールが可能かを調査する。
- (2) フォーマットの拡張
WMVについても同様のチューニングを行うことができるかを検証する。

(3) 電子透かし方式の拡張

DCT 層に電子透かしを埋め込む方法など、他方式の電子透かしに対して同様の評価を実施していく。

参考文献

- [1]櫻井,木俣,高嶋,谷口,難波, “コンテンツ流通における著作権保護技術の動向”, 情処学会論文誌 データベース, Vol.42, No.SIG15(TOD12), pp.63-76 (2001).
- [2]山田,松浦,山本,萬本,川村,高嶋,黒川,大村, “権利流通プラットフォームの開発および評価”, 情処研報, Vo.2002, No.85, pp.51-57 (2002).
- [3]松井甲子雄, “電子透かしの基礎”, 森北出版 (1998).
- [4]小川,中村,高嶋, “DCTを用いたデジタル動画像における著作権情報の埋め込み方法”, 暗号と情報セキュリティシンポジウム, SCIS '97-31G (1997).
- [5]中村,小川,高嶋, “デジタル画像の著作権保護のための周波数領域における電子透かし方式”, 暗号と情報セキュリティシンポジウム, SCIS '97-26A(1997).
- [6]社団法人日本電子工業振興協会, “電子透かし技術に関する調査報告書”, (2000).