

符号化後の画質と耐性を維持する電子透かし埋込み方法の検討

A Study on WaterMarking Method to Maintain the Image Quality and the Robustness after coding

†和田稔 ‡中村晴幸 †大竹剛 †真島恵吾 †伊藤浩 †鈴木光義 †合志清一
 Minoru Wada Haruyuki Nakamura Go Ohtake Keigo Majimai Hiroshi Ito
 Mitsuyoshi Suzuki Seiichi Gohshi

†三菱電機株式会社 情報技術総合研究所 ‡日本放送協会 放送技術研究所

†Mitsubishi Electric Corporation Information Technology R&D Center,

‡NHK Science & Technical Research Laboratories

1. はじめに

放送コンテンツの著作権を保護する手段として、受信機の出力映像に電子透かしを埋め込むことが提案されている[1]。本目的に使用する電子透かしには、さまざまな映像に埋め込んだ場合でも、符号化などの画像処理に対して一定以上の十分な耐性があること、また透かし埋込みによる画質劣化が十分小さいことが求められる。

従来、電子透かし埋込みにおける画質指標としてPSNRが使用されてきた[2]。しかし放送事業者では符号化などによる画質劣化を主観評価法によって評価している。視聴者には電子透かしによる劣化も符号化による劣化も区別がつかない。よって電子透かしによる劣化についても、主観評価法による評価が必要と考える。しかしながら、電子透かしによる映像の劣化を評価するのに、主観評価を用いた例はこれまで報告されていない。

我々は、主観画質評価装置[3]を用いて、映像に電子透かしを埋め込んだ後に符号化を行った場合の画質劣化と埋込情報の検出率に関する実験をおこなった。実験の結果、画質劣化と透かし耐性の間に一定の関係を見出したので報告する。

2. 従来法

PSNRを画質の指標として、任意の画像に透かしを埋め込んだ場合に(符号化前の)所望画質を得る電子透かし法[4]や、符号化耐性について研究が行われている[2, 5, 6]。静止画においては、透かしを埋め込んだ直後の画質を劣化させずに符号化後の耐性を向上させた透かし方式例が報告されている[7]。この他PSNR以外の指標も検討されている[8]。しかし、映像を符号化した後の主観的な画質について、電子透かしによる画質劣化の影響や電子透かしの耐性との関係について定量的に議論されることはなかった。

また電子透かしをMPEGなどの符号化列に直接埋め込み、その符号化列を復号した場合に画質の劣化が少ない手法[9]が検討されているが、耐性と主観的な画質とを結びつけた議論は行われていない。

† 三菱電機(株) 情報技術総合研究所,
 Mitsubishi Electric Corporation Information
 Technology R&D Center

‡ 日本放送協会 放送技術研究所,
 NHK Science & Technical Research Laboratories

映像を符号化した後の透かし耐性についても議論されている[10]が、画質劣化の度合いに応じて透かし検出率に変化する電子透かし法についてであり、透かし検出率を維持するために耐性を高めた場合の符号化後の画質については議論されていない。

この他、画質と耐性を維持する電子透かし埋込みシステムに関していえば、電子透かしの評価として、強度や埋込データ量を変化させて映像に電子透かしを埋め込み、いったん符号化してからその耐性を評価することは広く行われている。しかし電子透かしの埋込と映像の符号化をリアルタイムで行い、かつ映像のシーンごとに適切な透かし強度を設定する方法は議論されていなかった。

3. 電子透かし方式

本実験で用いた電子透かし方式[11, 12]は、NHKと三菱電機(株)が共同開発したもので、HD放送から低レートのネットワーク配信まで、幅広い品質の映像に対応可能である。用途や目的に合わせ、埋め込み情報量や画質などを柔軟に設定することができる。今回は、下記のように設定した。

埋め込み情報量 : 8ビット
 検出単位 : 1フレーム

4. 映像の主観画質と透かし耐性

映像の主観評価には多くの時間と人手を要するため、その実施は容易ではない。われわれは、リアルタイム透かし埋込/検出装置[11, 12]、およびリアルタイム画質評価装置[3]を使用することでこれを解決した。画質評価装置では人間の視覚評価特性に基づいた新規の客観評価方法を採用している。そこから得られる画質の指標(劣化度)は、主観評価の1つである二重刺激連続品質尺度法と良好な相関関係がある。我々は既上記装置を利用して、我々の電子透かし方式[11, 12]に関し、下記知見[13]を得ている。

「強度(robustness)を一定で電子透かしを埋め込んだ映像を符号化した場合、符号化後の画質は、符号化による劣化が大きいシーンでは、相対的に透

かしの起因する劣化が小さくなる」

本稿では、上記知見に基づき、符号化後の映像において、透かしの強度を強めた場合に主観的な画質と透かし耐性がどのように変動するかについて定量的に議論する。

図1に今回使用した測定システムの構成を示す。またこのシステムを使用して、映像を符号化した後の電子透かしの検出率と画質(劣化度)を測定した結果を図2~4にグラフで示す。劣化度は、数値が大きいほどより画像が劣化していることを示す。これら測定は、評価画像と電子透かしの強度を変化させておこなった。さらに評価画像ごとの検出率と画質(劣化度)の平均値を表1に示す。

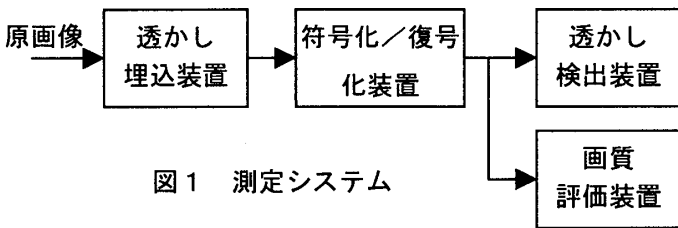


図1 測定システム

評価画像は、“whale”と“European market”および“Japanese room”を使用した。それぞれ約3分間繰り返して透かし埋込みと符号化/復号化をおこない、その際の透かし検出率と劣化度を測定した。透かし埋込みの強度は、強度1~5の5段階とし、強度1<強度2<強度3<強度4<強度5の順で耐性が強くなる。それぞれの強度は、本透かし方式の様々なパラメータを組み合わせ、全体として耐性が向上するように設定されている。透かし検出はすべてのフレームで行い、2秒間ごとに8ビットデータが検出できたフレーム割合を検出率とした。劣化度は、画質評価装置で測定された値から、対応する時刻の値を選択した。符号化のビットレートは6Mbpsである。

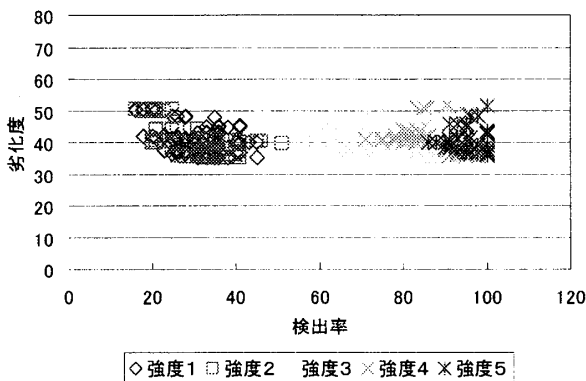


図2 検出率と劣化度 (whale)

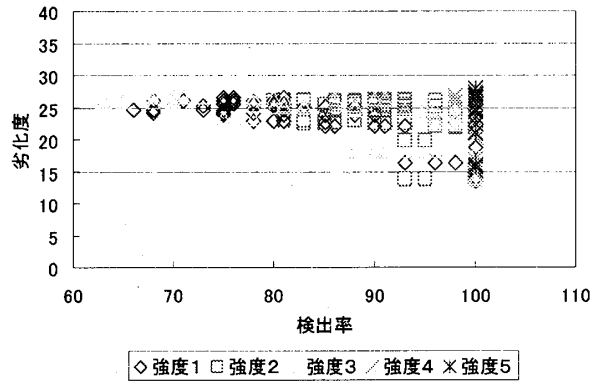


図3 検出率と劣化度 (European market)

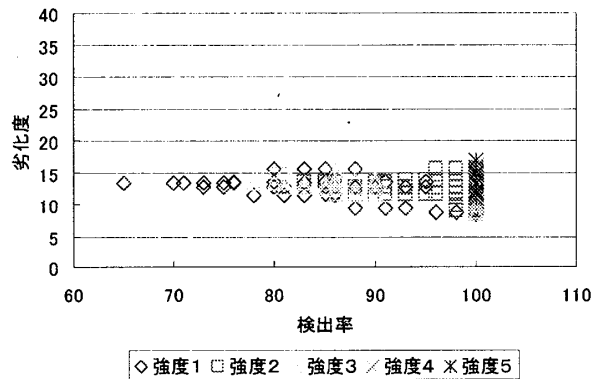


図4 検出率と劣化度 (Japanese room)

表1 検出率と劣化度 (平均値)

強 度	whale		Euro. market		Japanese room	
	検出率	劣化度	検出率	劣化度	検出率	劣化度
1	31.45	40.52	84.89	22.22	89.85	11.35
2	31.03	40.26	92.57	22.36	96.24	11.49
3	74.38	40.42	88.36	22.49	92.38	11.46
4	89.16	40.26	99.85	22.92	100.00	12.35
5	96.63	40.99	100.00	23.50	100.00	13.48

図2~4のグラフから、埋込強度を1→5に強めると、ほぼ強度を強めるに従って検出率が改善することが読み取れる。その際、劣化度はこのグラフでは読み取れない程度にしか変動していない。このことから、本透かし方式では概ね画質劣化を生じないで、耐性を向上できているといえる。

次に表1から、上記変動を読み取ってみる。今回の測定では、劣化度の値に、映像符号化の際に生じた画質変動分が含まれているため、透かしによる劣化を厳密に数値で示すことができない。しかしながら、whaleの強度1~4、European market および Japanese roomの強度1~3では、劣化度はほぼ変化しない。しかしそれ以上強度を強めたwhaleの強度5や、European market および Japanese roomの強度4~5では、劣化度が増大している。これらは、透か

しが原因で画質劣化が増大していると考えられる。このことから、画質に対する本指標によれば、whaleのような劣化度30~40の映像シーンでは強度4、またEuropean marketおよびJapanese roomのような劣化度10~25のシーンでは強度2を使用することが適切であるといえる。これらを設定した場合、それより弱い強度の場合と比較して、符号化後の画質劣化を招かないで耐性を向上させることが可能といえる（但し、強度3は検出率を考慮すると、“European market や Japanese room”では有効ではない）。

5. 画質と耐性を維持する電子透かし埋込み方法

ここでは、前節で明らかになった劣化度と透かしの埋込強度の関係を利用し、符号化後の画質と電子透かし耐性を適切に維持するシステムについて検討する。実際の放送や配信では、符号化によって発生する画質劣化の度合いはシーンによって大きく変動する。変動に対応するには、シーンごとの符号化による画質劣化の度合いに応じて、適切な透かし埋込強度を設定すればよい[13]。一方、符号化による画質劣化は符号化装置によって引き起こされるため、その劣化の度合いを推定可能な符号化情報を透かし埋込みの際に利用すればよいとも考えられる。符号化情報を透かし埋込みに利用する方法を下記にまとめる

- ①符号化装置に透かし埋込機能を組み込む
- ②符号化装置から符号化情報をインタフェースを介して透かし装置に伝える
- ③透かし装置で、映像信号から符号化情報に近似する情報を生成する
- ④復号した映像の画質や透かし検出結果を測定し、透かし埋込み装置にフィードバックする

符号化情報を容易に利用するための最適な構成は①であるが、符号化装置の改造が必要であり、直ちに実現できない。この点では②も同じである。③は有望な方法であるが、情報の精度を高めるためには透かし装置側の負荷が大きくなる問題がある。それに対し、④では実際に利用される画質や検出結果の情報を利用できるため、適切な制御が期待できる。その反面、フィードバック制御による遅延やシステム規模が大きくなる問題がある。今回われわれは現時点での実現性を考慮し、③と④を組み合わせた方式を提案する(図5)。このシステムでは、透かし装置において算出したシーンチェンジなどの情報と、フィードバックされた画質や透かし検出率の情報を利用して透かしの埋込強度を制御する。

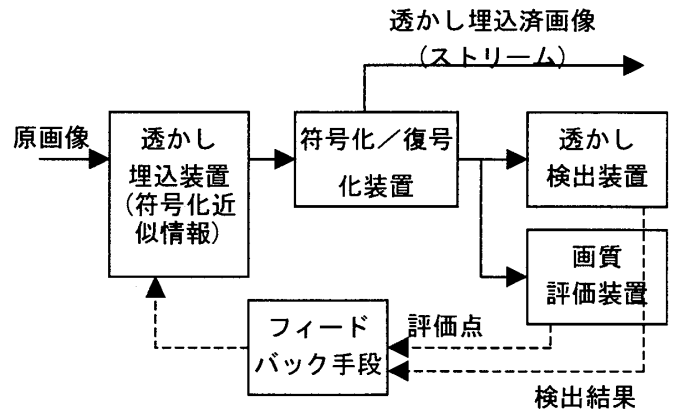


図5 提案システム

6. まとめ

画質の指標として2重刺激法に基づいた主観評価装置を用い、電子透かしを埋め込んだ後に符号化された映像の画質と透かし耐性を評価した。その結果、電子透かしによる画質劣化の増大を防ぎながら、電子透かしの符号化耐性を高めることが可能であることを定量的に示した。これらの知見は、放送受信機で電子透かしを使用する際など、多様な動画像に対し、画質と耐性を維持する際に有用である。

またこの知見を利用する電子透かし埋込システムを検討し提案した。今後の課題は、符号化による画質指標の変動や画質以外の符号化情報の利用の検討、また提案システムの実現とその制御精度の向上である。

[参考文献]

- [1]山田他“放送コンテンツの著作権保護における電子透かしの利用方法”、映報学誌 Vol.57, No.9, pp1155~1167(2003)
- [2]橘他, “放送監視のための非参照型画像電子透かし法”, 信学論 D- II Vol. J86-D- II No. 2 pp. 233-241 2003年2月
- [3]西田 合志他 “リアルタイム画質評価装置” 映情学誌 Vol. 54, No11, pp. 1623-1630(2000)
- [4]橘他, “種々の統計分布を透かし系列に適応可能な画質保障型電子透かし法”, 信学論 D- II Vol. J87-D- II No. 3 pp. 850-859 2004年3月
- [5]fujiyoshi and T.hasegawa, “On the amount of embedded information of watermarking methods based on the parallel combinatorial spread spectrum scheme,” IEICE Trans. Fundamentals, vol. E84-A, no. 4, pp. 941-948, April 2001
- [6]藤吉他 “透かしエネルギーのブロック適応に関する検討,” 2001 信学ソ大(情報・システム), D-11-17, Sept. 2001
- [7]松井他, “2値透かし系列のための画質保障型電子透かし法”, 映情学誌 Vol. 57, No. 7 pp. 878-881 (2003)
- [8]上条, “電子透かしの耐性向上に関する考察と実験” 信学技報 ISEC2001-2, May 2001

2003年2月

[9] 貴家 “JPEG, MPEG 画像へのバイナリデータの埋込み法” 信学論 A Vol. J83-A No. 12 pp. 1349-1356 2000/12

[10] 杉本他, “MPEG 符号化による劣化を検出するリファレンス画像なしの画質客観評価手法” 信学技報 CS2000-112 2000

[11] 和田他 “動画用電子透かし装置の開発” FIT2002 J-046

[12] 和田他 “HDTV 用電子透かし装置の開発” FIT2003 J-031

[13] 中村他 “デジタル放送番組に対する電子透かしによる画質劣化の定量的評価” FIT2004 投稿中