

LJ-10

フレーム間差分信号への不可視マーカ埋め込みによる

符号化画像自動客観画質評価方式の高精度化

Improvement of estimation accuracy of automatic objective picture quality measurement method based on embedding invisible markers in inter-frame differential signals

杉本 修[†]
Osamu Sugimoto川田 亮一[†]
Ryoichi Kawada和田 正裕[†]
Masahiro Wada松本 修一[†]
Shuichi Matsumoto

1. はじめに

現在衛星放送を中心に進行している放送のデジタル化は、今後の地上波デジタル放送の開始によりさらに加速すると予想されている。一方、これらデジタル放送のバックボーンとなる放送局間の放送素材伝送に関しては、これに先立ちデジタル化が普及しており、ほぼアナログ伝送を置き換える段階に達している。こうした放送局向けのデジタル映像伝送では、放送素材としての蓄積も目的に含まれているため、非常に高い品質が要求されており、それゆえ伝送映像の画質監視は運用監視技術の中でも特に重要な要素となっている。

しかし、近年の高速かつ大容量の伝送網の発達や、デジタル放送の特徴である多チャンネル化などにより絶対的な回線数が増えるにつれ、従来の人間の目視に頼る画質監視では要員不足となることが懸念されている。また、デジタル伝送では圧縮符号化が適用されることから、デジタル伝送特有の劣化に対する知識が要求されるなど、人的監視に対する限界が指摘されている。そこで、近年、人間に代わって機械装置が画質監視を行う自動画質評価技術に対する要求が高まってきている。

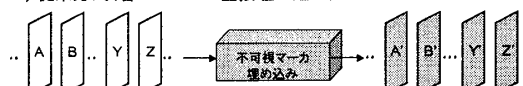
こうした背景のもと、筆者らは先に不可視マーカ信号埋め込みによる自動客観画質方式を提案した^[1]。本方式は、圧縮符号化を含む伝送路を前提とし、送信画像の各フレームに不可視マーカ信号と呼ばれる画質評価用テスト信号を埋め込み、これを受信側で検出し、その劣化の度合いから受信画像の PSNR を推定している。本方式により、リファレンス画像を用いることなく受信画像の符号化雑音による劣化を高い精度で推定することが可能となることが示された。しかし、素材伝送系での高いユーザ要求を満たすためには、さらなる精度向上が必要ことから、本稿では、不可視マーカ埋め込み対象をフレーム間差分信号とすることによる PSNR 推定精度向上を検討する。

本稿ではまず、マーカ埋め込みの対象となる差分信号を定義し、次にこの差分信号に対するマーカ埋め込み方式を示す。最後に、計算機シミュレーションにより従来方式との比較を行い、提案方式により、特に 1 フレーム単位での PSNR 推定精度が向上することを示す。

2. 従来方式の課題と解決法

自動客観評価で求められる画質評価値の出力の時間間隔は、VQEG によれば、2 サンプル/秒となっている^[2]。これは、525/60 信号規格では 15 フレーム平均の画質評価値を 1 秒間に 2 回出力することを意味する。しかし、これは放送局から視聴者宅への伝送である 2 次分配における要求であり、放送局間の素材伝送ではさらに短い時間間隔が要求されると考えられる。そのため、一定フレーム平均での推定精度以上に 1 フレーム単位での推定精度を向上させることが要求される。しかし、従来方式では、図 1(A)のように各フレームの信号に不可視マーカを直接埋め込む方式であったため、デジタル放送で汎用的に用いられる MPEG-2 で用いられるフレーム間予測の性質を十分に反映しているとはいえなかった。

A) 従来方式(各フレームに直接埋め込み)



B) 提案方式(フレーム間差分信号に埋め込み)

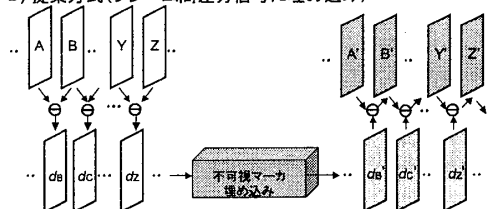


図1 従来方式と提案方式の概念比較

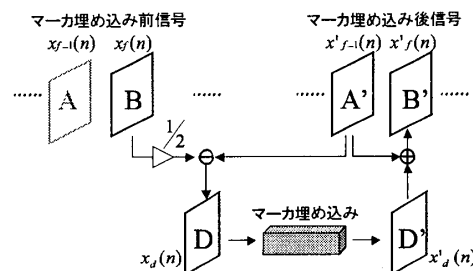


図2 不可視マーカ埋め込み対象の差分信号

そこで、本稿では、図 1(B)のように、まず原画像のフレーム間差分信号を求め、その信号成分に対して不可視マーカ信号を埋め込む方式を検討する。これは、マーカ信号の劣化が MPEG-2 等で用いられるフレーム間予測符号化を反映することを期待してのものである。すなわち、マーカ信号の劣化と符号化雑音の相関が高まり、PSNR 推定が高精度化するものという期待に基づいている。そこで次節では、差分信号に対するマーカ埋め込み方式について述べる。

3. 提案方式

3.1. 差分信号の定義

提案方式による差分信号の生成方式を図 2 に示す。図 2 では、フレーム A' とフレーム B の差分信号をもとにフレーム B に不可視マーカを埋め込んでいる。なお、フレーム A', B' はフレーム A, B のマーカ埋め込み後のフレームである。ここで、フレーム B の信号を $x_f(n)$ 、フレーム A' の信号を $x'_{f-1}(n)$ とすると、差分信号 $x_d(n)$ は

$$x_d(n) = \frac{1}{2} x'_{f-1}(n) - x_f(n) \quad (1)$$

により定義される。ここで、 $x'_{f-1}(n)$ に 1/2 を乗ずるのは、動きの小さな絵柄や背景部分など、差分信号が 0 に近い場合にもマーカ信号を埋め込むためである。また、差分を取る対象としてマーカ埋め込み前

[†]株式会社 KDDI 研究所, KDDIR&D Labs, Inc.

のフレーム A ではなく A'を用いるのは、実際に符号化器に入力されるのはマーカ埋め込み後のフレーム A'であるためである。

3.2. マーカ埋め込み、検出方式

次に、式(1)により得られた差分フレーム D に対して不可視マーカを埋め込む。不可視マーカの埋め込みは、従来方式と同様に、 $x_d(n)$ および WHT (Walsh-Hadamard Transform) を施した後、その振幅成分の値を変化させることにより 1 ビットの情報を埋め込むことにより実現する^[1]。よって、1 フレーム中には、画素ブロックと同じだけのビット量の情報が埋め込まれる。その後、逆 WHT およびスペクトル逆拡散を実行することにより、信号 $x'_d(n)$ を得る。最後に、マーカが埋め込まれた差分情報を埋め込まれた画像は、伝送路を介して受信側に送られる。このフレーム D' と参照元のフレーム A' からフレーム B' を生成する。

受信側では、受信画像から埋め込まれたビット情報を検出する。この際、画像には MPEG-2 等の圧縮符号化が適用されるため、受信画像は送信画像そのままではなく、符号化雑音を含んだ状態となる。よって、送信側で埋め込んだビット情報を受信側で検出すると、その一部は送信側と異なるビットをあらわす。すなわち、マーカ信号が誤検出となる。ここで、マーカ信号の誤検出率と受信画像の PSNR の間にある相関が存在することから、マーカ誤検出率を計算することにより PSNR を推定することが可能となる。一般に、PSNR の測定には原画と復号画の両方が必要となることから、送受信間が離れている映像伝送では PSNR を測定することが不可能であるが、本方式では、不可視マーカの検出結果を参照することにより、原画をリファレンスとすることなく PSNR の測定を可能としている点に特徴がある。

4. 計算機シミュレーション

提案方式の有効性を確認するために計算機シミュレーションによる実験を行った。7 種類のテスト画像に対し従来方式と提案方式により不可視マーカを埋め込んだ後、MPEG-2 TM5 により符号化を行い、マーカ誤検出率 (FDR; False Detection Rate) - PSNR 特性を求め、そこから PSNR 推定精度を計算した。また、式(1)の $x'_{f-1}(n)$ の項の 1/2 の乗数の効果を確認するため、この乗数をはずした場合についても実験を行った。実験の条件を表 1 に示す。

従来方式および提案方式における FDR-PSNR 特性を図 3, 4 に示す。同図にプロットされている点はテスト画像の各フレームにおける FDR と PSNR の関係を示している。また、同図の曲線は、 $\ln(\text{FDR})$ と PSNR が対数関数で近似されるという理論^[1]に基づき得られた回帰曲線である。推定精度は、この回帰曲線と各プロット点との距離により定義される。すなわち、プロット点と回帰曲線が離れているほど推定誤差が大きく、またプロット点の集合のばらつきが大きいほど分散が大きくなる。ここで、両方式における推定誤差の平均値と分散を比較してみると、表 1 の通りとなり、提案方式により推定誤差の平均値が 0.15dB、分散が 0.8dB² 以上改善されることが確認できる。特に、分散値の改善が大きいことから、1 フレームごとに PSNR を推定する場合に提案方式が特に有利であることがわかる。

次に、式(1)の 1/2 の乗数の効果であるが、この乗数を適用せずに単なるフレーム間差分信号に対して不可視マーカを埋め込んだ場合には、推定誤差が拡大してしまうことが確認できる。よって、式(1)による差分信号の与え方が適切であることがわかる。

5. おわりに

デジタル映像伝送の自動客観画質監視の一方式として、フレーム間差分信号への不可視マーカ信号の埋め込みに基づく受信画像の PSNR 推定方式を提案した。従来方式と比較して、特に 1 フレーム単位での PSNR 推定精度の改善の効果が大きく、分散にして 0.8dB² 以上

の改善が確認された。また、不可視マーカ埋め込みによる符号化効率の低下は従来方式と同じくほとんどないため、これにより、高品質を要求される放送局向けデジタル映像伝送の品質監視への応用が可能であると考えられる。さらに、本方式は携帯電話やインターネットなどのモバイル・IP 向け映像配信などへの応用も可能である。

本方式により、デジタル映像伝送の監視運用業務の高度化の一助としたい。

参考文献

- [1] 杉本, 川田, 和田, 松本, “WHT を用いた不可視マーカ埋め込みによる画質評価方式”, 情処研報 AVM-33-1 (2001)
- [2] VQEG (Video Quality Experts Group), “RRNR-TV Test Plan version 1.4”, http://www.its.bldrdoc.gov/vqeg/test_plan/RRNR-tv_draft_v1_4a.doc (2002)

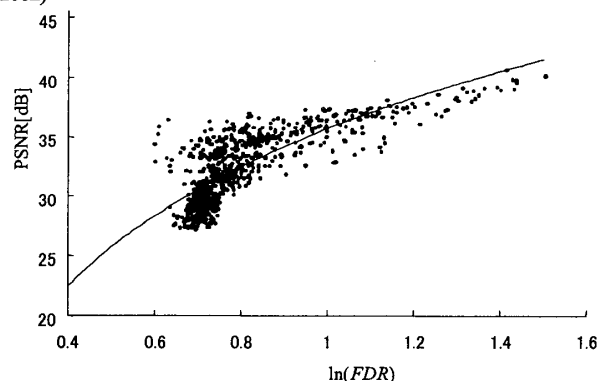


図 3 マーカ誤検出率-PSNR 特性 (従来方式)

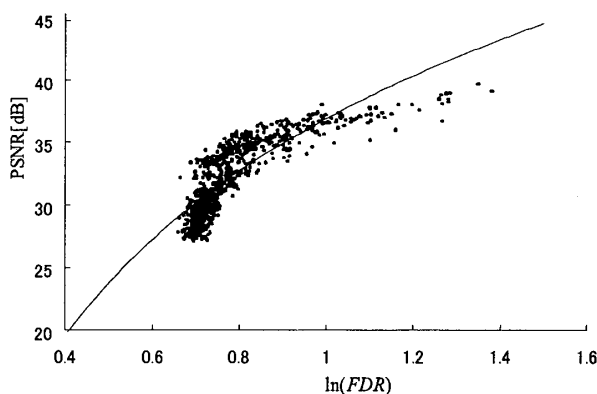


図 4 マーカ誤検出率-PSNR 特性 (提案方式)

表 1 実験条件

テスト画像	Cheerleaders, Flamingoes, Green leaves, Marching in, Mobile and Calendar, Soccer Action, Flower Garden
サイズ	704(H)×480(V), 4:2:0, 30fps
コーデック	MPEG-2 Test Model 5
ビットレート	8, 10, 12, 14Mbps
マーカ埋込ブロックサイズ	8×8

表 2 推定精度の比較

	1 フレーム単位での推定精度 [dB]	
	推定誤差平均	誤差値の分散
従来方式	1.51	3.45
提案方式	1.35	2.64
式(1)の 1/2 の項をはずした場合	2.45	7.95