

領域毎に画質を保証する非参照型電子透かし法 An oblivious watermarking scheme allowing desired image quality in each area

J-45

 橋 高志[†]
Takashi Tachibana

 藤吉 正明[‡]
Masaaki Fujiyoshi

 貴家 仁志[‡]
Hitoshi Kiya

1. まえがき

近年、通信衛星 (Communication Satellite) や放送衛星 (Broadcast Satellite) による多チャンネル放送が進展する中、放送監視の自動化が急務の課題となっている。この解決手段として、電子透かし法を用いて CM や番組の素材コードを画像へ埋め込み、監視ポイントでそのコードを抽出し、番組運行データと照合する方法が検討されている [1, 2]。しかしながら、放送局では、様々な圧縮方式や圧縮レートを持った記録機器が使われているため、埋め込んだ透かし情報を確実に抽出するためには、透かしの圧縮耐性を強くする必要がある。一般に、耐性と画質はトレードオフの関係にあるため、高画質が要求される放送局の映像素材に対して、一律に透かしの耐性を強くできない。

そこで、画像を領域分割し、その領域毎に耐性の強さを変え、耐性の強い透かしは、「オーバースキャンエリヤ」(家庭用テレビ受像機では通常表示されない画像周辺部) へ埋め込む方法が考えられる。しかしながら、放送局では「オーバースキャンエリヤ」の画質も監視しており、極端な画質劣化は許されず、画質を保証する必要がある。そこで、本稿では、提案法 [1, 2] を応用して、領域毎の画質を保証する非参照型の電子透かし法を検討したので報告する。

2. 提案法のアルゴリズム

提案法のアルゴリズムを以下に詳述する。

最初に、画像を B 個の領域 (領域 1, ..., 領域 B) へ分割する。分割された領域毎に目標画質を設定し、領域 b おける透かし画像の画質劣化の目標値を PSNR で設定する。提案法では、領域 b へ埋め込む Mb ビットの埋込データ $\mathbf{x}_b$ と 2^{Mb} 個の透かし系列 $\mathbf{w}_b$ との 1 対 1 対応を考える。領域 b の透かし系列 $\mathbf{w}_b = (w_{b1}, \dots, w_{bL_b})$ は、各要素 w_{bij} が分散 σ_{wb}^2 、平均 0 の正規分布に従う乱数で構成された実数値系列である。また、 L_b は透かし系列の長さを表している。仮に、 Mb が大きな値をとる場合、発生すべき透かし系列の個数が膨大となり、透かし系列の発生や抽出が非現実的なものとなる。そのため、 Mb ビットの埋込データ $\mathbf{x}_b$ をより短い Mb_s ビット毎に分割し、 Mb_s ビットの各部分ビット列に対して系列長 L_{bs} の透かし系列を 2^{Mb_s} パターン準備し対応させる。このとき、部分ビット数 Mb_s と分割数 Kb (自然数) は $Mb = Mb_s \times Kb$ が成立するように選択する。

部分ビット列への分割を前述したが、ここでは、議論を簡潔にするため混乱の無い限り、その Mb_s ビットの埋め込みデータを $\mathbf{x}_b = (x_{b1}, x_{b2}, \dots, x_{bMb_s}), x_{bij} \in (0, 1)$ と表し、そのデータに対応する実数値の透かし系列を $\mathbf{w}_b = (w_{b1}, \dots, w_{bL_{bs}})$ と略記する。

[†]日本電気エンジニアリング (株)

[‡]東京都立大学大学院工学研究科電気工学専攻

提案する埋め込みアルゴリズムは、領域毎に同じ手順をとるため、以下に領域 b への Mb_s ビットのデータ埋め込み手順を示す。

手順 1 透かし画像の画質劣化の目標値を PSNR で値 $PSNR_{b_{tar}}[\text{dB}]$ と設定する。

手順 2 $PSNR_{b_{tar}}$ を用いて DCT 係数の量子化ステップ値 Qb を式 (1) より求める。

$$Qb = \frac{A \times \sqrt{Db \times Nb_x \times Nb_y}}{10^{\frac{PSNR_{b_{tar}}}{20}}} \quad (1)$$

但し、 $Db = 12Nb_s^2 / (Nb_s^2 + 3)$ 。本稿では $Nb_s = 3$ を選択するので $Db = 9$ となる。

手順 3 この Qb から標準偏差値 $\sigma_{wb} = Qb / (2Nb_s)$ を決定する。

手順 4 系列長 L_{bs} で標準偏差値 σ_{wb} 、平均 0 の正規分布に従う透かし系列を 2^{Mb_s} パターン発生させる。但し、 w_{bi} の大きさに上限値 ($|w_{bi}| < Nb_s \sigma_{wb}$) を設定しこれを満たす系列のみを実際には使用する。(本稿では $Nb_s = 3$ を選択)

手順 5 2^{Mb_s} パターンの中からデータ $\mathbf{x}_b$ に対応した透かし系列 $\mathbf{w}_b$ を 1 つ選択する。

手順 6 画像を $Nb_x \times Nb_y$ 画素のブロックへ分割し、ブロック毎に 2 次元離散コサイン変換 (2D-DCT) を施す。

手順 7 系列要素 w_{bi} が埋込まれていないブロックを 1 つ選択する。そのブロックの $Nb_x \times Nb_y$ 個の DCT 係数 $\mathbf{f} = (f_1, \dots, f_k, \dots, f_{Nb_x Nb_y})$ の中から埋込対象係数 f_k を 1 つ選択する。次に、 Qb によって離散化し、DCT 係数 $\hat{f}_k = \text{round}(f_k / Qb) \times Qb$ を得る。但し、 $\text{round}(p)$ は p の小数第一位を四捨五入し得られる整数を意味する。

手順 8 この $\hat{f}_k$ へ透かし系列 $\mathbf{w}_b = (w_{b1}, \dots, w_{bL_{bs}})$ の要素 w_{bi} を 1 つ選択し加算する。すなわち、 $f_k = \hat{f}_k + w_{bi}$ 。

手順 9 1 つの係数に w_{bi} が埋め込まれた $Nb_x \times Nb_y$ 個の DCT 係数 $\mathbf{f}' = (f_1, \dots, f_k, \dots, f_{Nb_x Nb_y})$ に逆 2D-DCT を施す。

手順 10 選択された透かし系列 $\mathbf{w}_b$ の L_{bs} 個の要素 $w_{bi}, i = 1, 2, \dots, L_{bs}$ が全て画像へ埋め込まれるまで手順 7 ~ 9 を繰り返す。

以上の提案アルゴリズムが、非参照型でかつ透かし画像の画質を自動的に保証する画質保証型電子透かし法であること、各手順の持つ意味、式の導出に関しては、文献 [2] に詳述されている。

表 1: シミュレーション条件

評価画像 (動画)	704 × 240 8bit flower garden foot ball mobile&calendar
ダイナミックレンジ	$A = 255$
ブロックサイズ	$Nb_x = 8, Nb_y = 8$
埋込ビット数	$M1 = 2, M2 = 48$
(1 フィールド画像毎)	部分ビット $M2_s = 6$
分散上限値定数	$Nb_\sigma = 3$
系列長	$L_1 = 88, L_{2s} = 319$
埋込係数	(2,2)*
*DCT 係数ブロックで DC 成分を (1,1) とした時の埋込み係数を示す	
画質目標値	$PSNR1_{tar} = 40dB$ $PSNR2_{tar} = 58dB$
量子化ステップ値	$Q1 = 61.2000, Q2 = 7.7046$
透かし系列の分散	$\sigma_{w1}^2 = 104.0400, \sigma_{w2}^2 = 1.6489$

3. シミュレーション

シミュレーションにより、提案法の有効性を確認する。

3.1 シミュレーション条件

シミュレーション条件を表 1 に示す。画像は領域 1 (1~8 ライン)、領域 2 (9~240 ライン) へ分割しているが、ブロックサイズ、分散上限値定数、埋込係数はどの領域でも同じとしている。量子化ステップ値 $Q1, Q2$ は、画質の目標値 $PSNR1_{tar}, PSNR2_{tar}$ と式 (1) から、分散 $\sigma_{w1}^2, \sigma_{w2}^2$ は、手順 3 からそれぞれ求めている。

3.2 画質保証型の検証

ここでは、提案法が領域毎に画質を保証していることを検証する。すなわち、画質の目標値 $PSNR1_{tar}, PSNR2_{tar}$ に対して得られる画質 (PSNR) をシミュレーションで検証する。ここでは、評価画像の各フィールドに対して、埋込係数を (2, 2)、画質目標値を 40dB, 58dB とした場合の評価を図 1 に示す。このシミュレーション結果から、画質は、画像に依存せず、所望画質 $PSNR1_{tar}, PSNR2_{tar}$ をほぼ達成し、維持していることが分かる。

3.3 非参照型の検証

また、評価画像 "flower garden" において、分割された領域にそれぞれ埋め込んだ透かし系列が、参照画像無しで抽出できるかどうか検証した。同時に、MPEG2 圧縮に対する耐性も評価している。圧縮レートを 30Mbps から 5Mbps まで変化させている。シミュレーション結果を表 2 に示す。その結果、目標画質を 40dB にした領域 1 の透かし系列は圧縮レートにかかわらず 100% 抽出できている。それに対して、目標画質を 58dB にした領域 2 の透かし系列は圧縮レートが 15Mbps 迄は、100% 抽出できているが更に圧縮レートを下げていくと完全には抽出できないことが分かる。このことは、領域毎に耐性

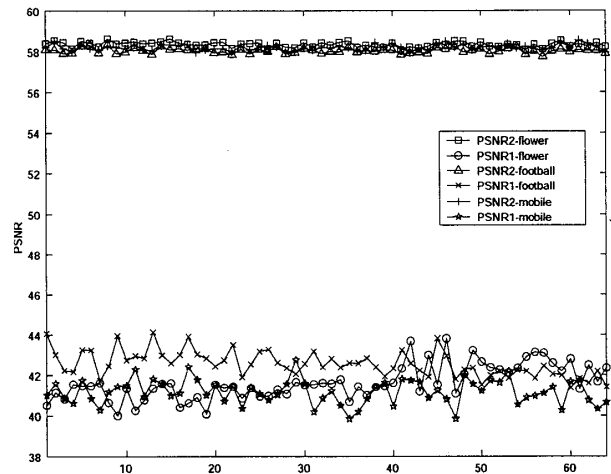
図 1: 画質評価 ($PSNR1_{tar} = 40dB, PSNR2_{tar} = 58dB$)

表 2: 圧縮レートと透かし系列の抽出成功率

flower (2,2)		
圧縮レート (Mbps)	抽出成功率 (%)	
	領域 1 (目標画質 40dB)	領域 2 (目標画質 58dB)
30	100.0	100.0
25	100.0	100.0
20	100.0	100.0
15	100.0	100.0
10	100.0	56.7
5	100.0	6.7

の異なる透かしを埋込んで、領域毎の画質が保証されていることを示している。

4. あとがき

本稿では、放送監視の自動化に適し、透かし系列抽出時に参照画像を必要とせず、分割した領域毎に画質保証が可能である電子透かし法を提案している。シミュレーションでは、この電子透かし法が、分割された領域毎に透かし系列データを参照画像を用いずに透かし系列が抽出できること、自動的に所望の画質が維持できることを確認した。今後の課題としては、提案法のハードウェアによる実現と実際の条件下での検証が挙げられる。

参考文献

- [1] 橘 高志, 藤吉 正明, 貴家 仁志, “放送監視のための画質保証可能な電子透かし法,” 信学技報, IE2001-118, pp.15-22, 2001.
- [2] 橘 高志, 藤吉 正明, 貴家 仁志, “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), 投稿中