

H.264/AVC 符号化の 4×4 イントラ予測を利用した情報ハイディングの改善

和田 直哉*

Improvement of Information Hiding for H.264/AVC using 4×4 Intra Prediction Mode

Naoya WADA*

ABSTRACT : In this paper, an improved information hiding method for H.264/AVC which embeds information by changing the value of the intra 4×4 prediction mode is presented. In this method, information is embedded into 4×4 macroblocks in H.264/AVC intra prediction. However, the change of encoding cost by embedding information causes the decrease of 4×4 macroblocks. The improved method considers the change of encoding cost in selecting intra prediction size and increases the amount of information allowed to be embedded by 20-50 percent compared with the conventional method.

Keywords : Information Hiding, H.264/AVC, Intra Prediction, Image Processing

(Received September 20, 2013)

1. はじめに

情報伝送路の高速化や情報圧縮技術の発展によって、動画像コンテンツはネットワークにつながったパソコンやモバイル機器で視聴されるようになり、それに伴い付加情報サービスのニーズが高まりつつある。デジタルコンテンツ内に情報を埋め込む技術としては電子透かしが有名であるが、それが攻撃耐性や秘匿性を重視するのに対し、より多くの情報量の埋め込みを志向した技術として情報ハイディングがある。情報ハイディングは情報を付加し新たなサービスを提供するのに有効であり、画質の劣化なしに動画像コンテンツに情報を埋め込む技術に注目が集まっている。一方動画像符号化ではH.264/AVC¹⁾がMPEG-2²⁾と同等の画質で約二倍の圧縮率を実現している、現在の主流となっている。これまでH.264/AVCの符号化技術を利用した情報ハイディングは、動きベクトルやイントラ予測を用いたものが提案されている³⁾⁴⁾が、いずれもH.264/AVCエンコーダの欠点である膨大な演算量を考慮していない。一方この問題を解決するために符号化を工夫して高速化させる研究も行われていて⁵⁾、その一つに 4×4 イントラ予測を利用したシンプルな情報ハイディング手法⁶⁾がある。しかしその手法には情報を

埋め込むことで符号化効率が悪くなり、十分な埋め込みビット量が得られないという問題点があった。そこで、本研究ではイントラ予測において 4×4 イントラ予測領域、即ち埋め込む対象となる領域を増やし埋め込みビット量を増加させるため、情報埋め込み時の符号化コスト変動を考慮したマクロブロックサイズ選択を用いた情報ハイディング手法を提案する。そして、その有効性を示すために、埋め込みビット量と画質、符号量を調べる実験を行い、画質の劣化と符号量の増加を最小限に抑えつつ、埋め込みビット量を大きく増加させられることを実証する。

2. H.264/AVCとイントラ予測

2.1 イントラ予測符号化

H.264/AVCでは圧縮率を向上させるため、一画像内においてブロック間の画素相関を利用し、イントラ予測符号化を行う。輝度成分のマクロブロック (MB) サイズは 4×4 と 16×16 の二種類あり、複雑な画像は 4×4 画素ブロック、平坦な画像は 16×16 画素ブロックで符号化することによって、複雑な画像も平坦な画像も効率よく予測することができる。4×4 画素単位のイントラ予測では、図 1 に示すように隣接する符号化済みの画素から 9 通りの予測方向 (予測モード) のうち 1 つを選択し、対象画

* : 工学部情報科学科助教(wada@st.seikei.ac.jp)

素の予測を行う。予測方向の決定には式(1)のコスト関数を計算し、これが最小となる最適な予測方向(以下, Best Mode)を決定する。

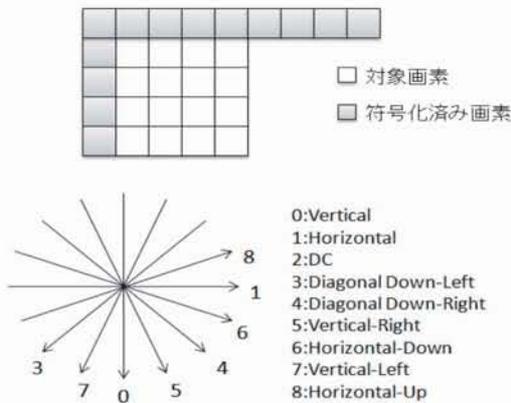


図1 イントラ予測の方向

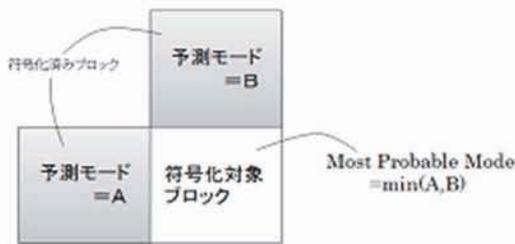


図2 イントラ予測方向の予測

$$Cost = SSD + \lambda_{MODE} \times Genbit$$

$$\lambda_{MODE} = 0.85 \times 2^{\frac{QP}{3}} \quad \dots(1)$$

ここでSSD(Sum of Square Difference) は原画像との予測誤差の二乗の総和, Genbitは符号化対象マクロブロックを符号化候補モードで仮符号化した場合の発生ビット量, QPは量子化パラメータである。

2.2 予測方向の予測

予測方向は隣接ブロックの予測方向と相関が高くなるので, 符号化済みの隣接ブロックの予測方向から対象ブロックの予測方向を予測できる。図2に示すように, 符号化対象ブロックの左に隣接するブロックの予測モード=A, 上に隣接するブロックの予測モード=Bの場合, 符号化対象ブロックの予測されるモードはmin(A,B)の値となる。このとき, 予測されたモードをMost Probable Modeと呼び, 予測モードフラグにBest ModeとMost Probable Modeが一致するかどうかの情報を載せ, デコーダ側に送信する。これを後述する透かし情報の抽出時に利用する。

3. イントラ予測を利用した情報埋め込み

3.1 埋め込み方法

イントラ予測される 4×4 画素単位のMBにおいて, Most Probable Modeを利用してBest Modeを変更することにより, 1 bitの透かし情報を埋め込む。1 bitの透かし情報の表現方法は以下の通りである。

“0” : Best ModeをMost Probable Modeに変更
 “1” : Best Modeを, Most Probable Modeを除いた中でコスト関数が最小となる方向に変更

3.2 抽出方法

デコーダでは受信した予測モードフラグを調べれば, 埋め込まれた透かし情報を抽出できる。

“0” : 予測モードフラグが“一致”
 “1” : 予測モードフラグが“不一致”

予測モードフラグは送受信の過程で量子化のように非可逆変化をするような処理をされないので, 透かし情報の誤検出は0%になる。

4. イントラ予測における演算量の削減

4×4 イントラ予測において, Best Modeを決定する一般的な手順を図3に示す。この場合, Best Modeの決定のためにコスト計算を9回繰り返す必要がある。更に透かし情報を埋め込む場合のBest Mode決定のアルゴリズムを図4に示す。ここで透かし情報“1”を埋め込む場合, コスト計算はMost Probable Modeの分を除いた8回分行うことになる。一方, 透かし情報“0”を埋め込む場合のコスト計算はMost Probable Modeについての1回分のみで済む。よって透かし情報を埋め込む場合は, 埋め込まない場合に比べてコスト計算の回数を削減することができる。本手法では, このようにしてH.264/AVCエンコーダの短所となる演算量に配慮している。

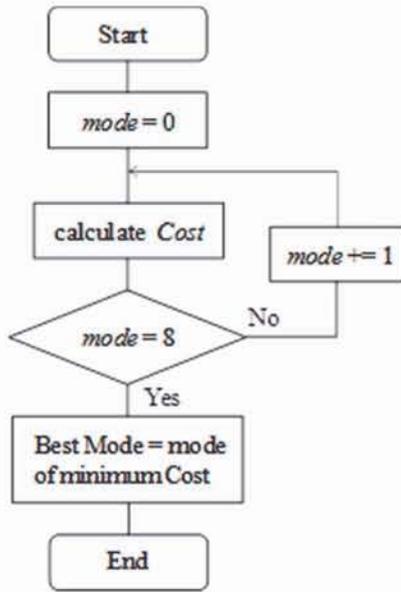


図3 Best Modeを決定するアルゴリズム

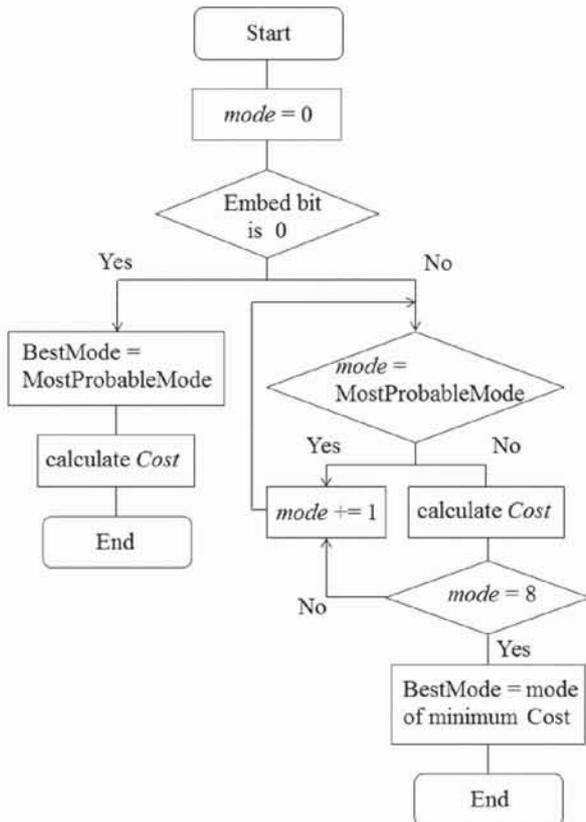


図4 情報埋込時のBest Mode決定アルゴリズム

5. 改善手法の提案

本手法では、4×4イントラ領域に1ビットの透かし情報を埋め込むので、埋め込みビット量は4×4イントラ領域数に依存する。ここまでの手法では、情報を埋め込まずにエンコードする場合に比べて、埋め込む場合に4×4イントラ領域数が減少してしまい、埋め込みビット

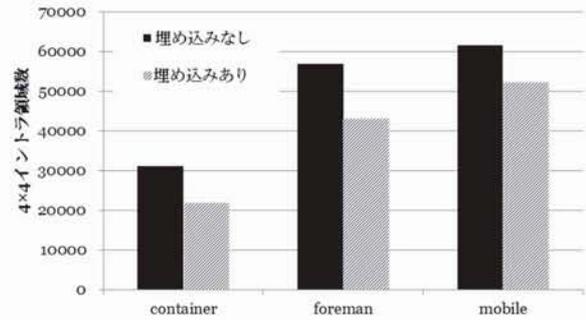


図5 情報埋め込みによる4×4イントラ領域数変化

量が減ってしまう問題点がある。この原因は透かし情報を埋め込むために予測方向を変更すると4×4イントラ予測のコストが増加し16×16コストを上回り、16×16イントラ予測が選ばれるためである。図5に情報埋め込み前後の4×4イントラ領域数を示す。図5より、情報を埋め込んだときに4×4イントラ領域数が15%~30%程度減少していることが確認できる。

そこで、4×4イントラ予測方向を故意に変更したことで生じる増加分のコスト(差分コスト)を、16×16イントラ予測のコストに加算することで4×4イントラ予測領域数が減少することを防ぐ手法を提案し、これを提案法とする。図6、図7に従来法と提案法におけるイントラ予測のマクロブロックサイズを決定するまでの手順を示す。

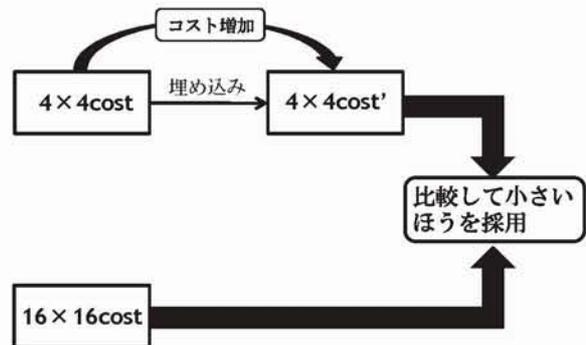


図6 従来のイントラ予測サイズ決定方法

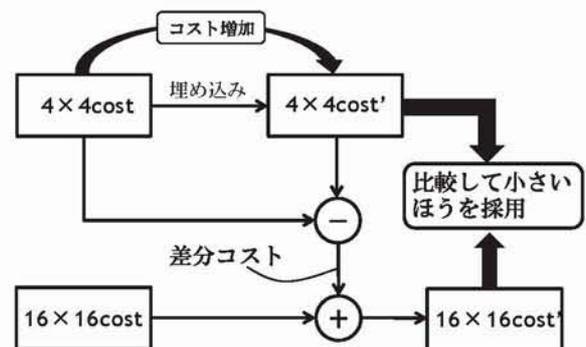


図7 提案法のイントラ予測サイズ決定方法

表1 符号化条件

フレームサイズ	CIF(352×288)
フレーム数	150
フレームレート[fps]	15
GOP構造	IPP…IPP…
QP	28,32,36,40
シーケンス	container, foreman, mobile

6. 実験結果と考察

本章では従来法と提案法のそれぞれを用いてH.264/AVC動画像への情報埋め込みを行った際の情報埋め込み量や画質の変化をもとに、各手法の性能評価と考察を行う。

6.1 符号化条件

H.264/AVCの参照ソフトウェアであるJM⁹⁾に情報を埋め込むプログラムを実装し、表1に示す符号化条件でH.264圧縮を行うと同時に情報を埋め込む。なお表中のGOP構造はIピクチャを15枚ごとに入れ、その他のフレームにはPピクチャを入れたものである。量子化パラメータ(QP)は、低ビットレートから高ビットレートまで幅広く実験結果を得るために(28,32,36,40)を用いた。各MBにおける埋め込み方法は、一枚のフレームで“0”と“1”を等確率で埋め込む。よってシーケンス全体で見ても“0”と“1”の埋め込み数は同じになる。シーケンスには動きの少ないcontainer、小刻みなブレがあり途中でカメラが大きく横に振れるforeman、緩やかにズームアウトするmobileを用いた。各シーケンスの0フレーム目の画像を図8に示す。



図8 各シーケンスの0フレーム目画像

6.2 実験結果

埋め込みなし、従来法、提案法のそれぞれを用いて情報を埋め込んだ際の埋め込みビット量の変化を図9から図11に示す。ここで言う埋め込みなしとは、通常のH.264/AVC符号化時に4×4イントラ予測を用いるマクロブロック数を、埋め込み可能ビット数としてカウントしたものである。また同条件での客観画質の評価として、PSNRとビットレートの関係を図12から図14に示す。

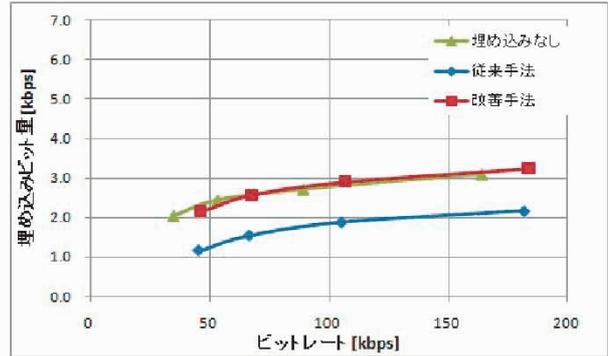


図9 埋め込み量とビットレートの関係(container)

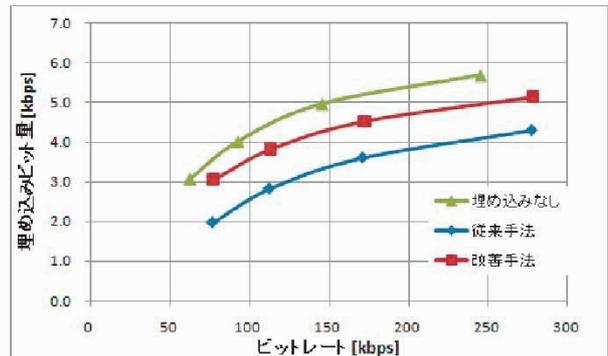


図10 埋め込み量とビットレートの関係(foreman)

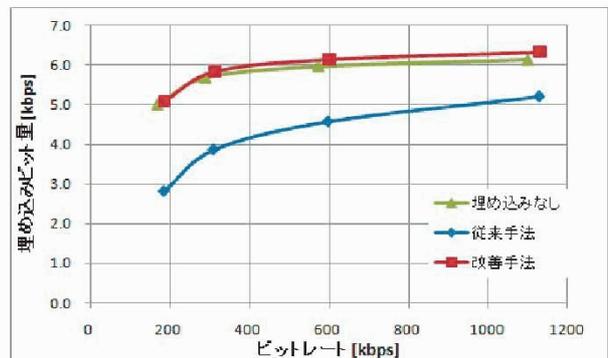


図11 埋め込み量とビットレートの関係(mobile)

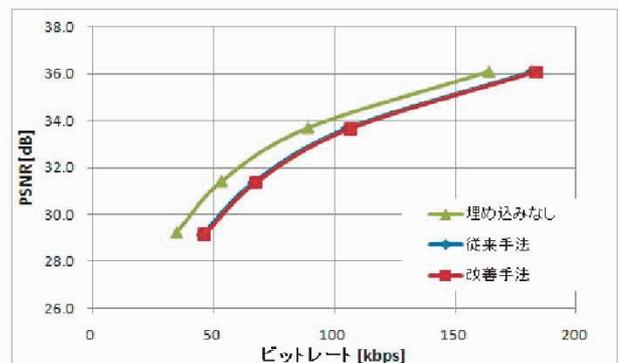


図12 PSNRとビットレートの関係(container)

図9～図11より、埋め込みビット量は全シーケンスにおいて、従来手法よりも大きく増加していることが確認

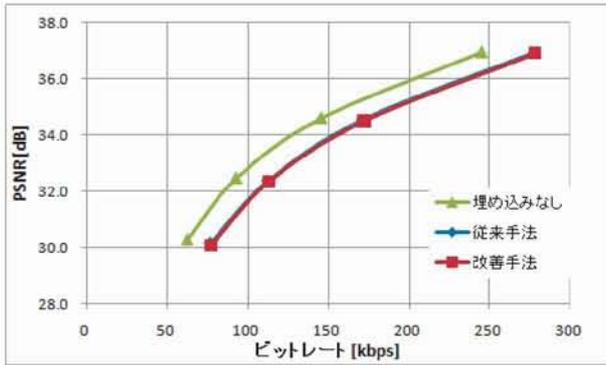


図 13 PSNRとビットレートの関係(foreman)

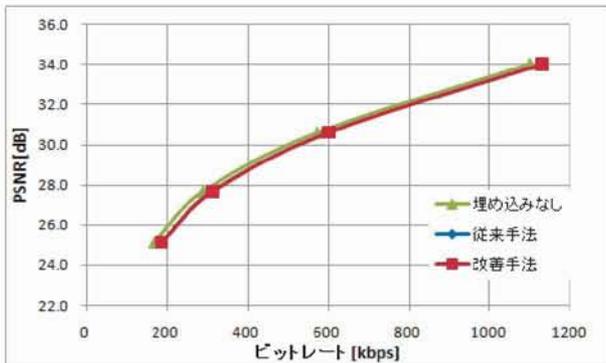


図 14 PSNRとビットレートの関係(mobile)

できる。containerでは、非埋め込み時とほぼ同程度、mobileでは非埋め込み時よりも 0.15kbps程度多い埋め込みビット量を得ることが出来た。一方foremanでは、従来法からの改善は得られたものの、その埋め込み量は非埋め込みに比べ約 0.6kbps低い程度となっている。

またPSNRに関しては、従来法と提案法との差は全条件において 0.1dB以下とほとんどなく、画質は同等と言える。また従来法の画質は先の研究により最小限であると証明されていることから、改善法の画質も保証されると言える。さらに、ビットレート(符号量)はcontainerで 1.2~2.5%、foremanで 0.24~0.68%、mobileで 0.23~1.08%程度しか増加しない。即ち、改善手法では画質の劣化と符号量の増加を最小限に抑えて、埋め込みビット量を大きく増加させることができた。

6. 3 考察

前項の通り、提案法は埋め込み可能ビット量を大きく向上させることができた。しかしながら、非埋め込み時と比べるとcontainerとmobileでは若干多い埋め込みビット量を得ることが出来た一方で、foremanでは逆に減少している。ここで図 15 に非埋め込み時と提案法で埋め込みビット量の比較とピクチャごとの内訳を示す。

この内訳を見ると、Iピクチャの埋め込みビット量は全シーケンスにおいてほとんど変化しない一方で、Pピク

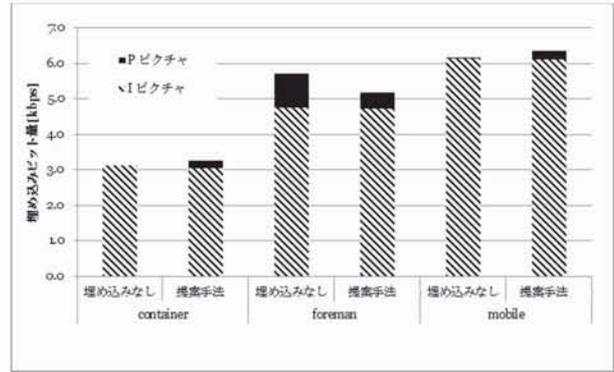


図 15 ピクチャごとの埋め込みビット量(QP=28)

チャにおいてシーケンスに差が現れ、特にforemanで埋め込みビット量が減少していることがわかる。Pピクチャはインター予測(フレーム間予測)を行うため、情報を埋め込み 4×4 イントラ予測方向を変更すると、イントラ予測の効率が悪くなり、その分インター予測の割合が増えることが想定される。foremanは途中でカメラが大きく横に振れ動きが大きくなることから、その影響が大きく出てしまったと考えられる。

7. むすび

本研究では、H.264/AVCへの情報ハイディング手法においてより多くの情報量を埋め込むため、情報埋め込み時のコスト変動を考慮したマクロブロックサイズ選択を用いた情報ハイディング手法を提案し、実験の結果QP=28の条件下で従来法より埋め込みビット量を20%~50%改善できることを実証した。

今後の課題として、非埋め込み時の 4×4 イントラ予測数よりも減少するシーケンスへの対応が考えられる。また本研究はイントラ予測のみを対象としていたが、インター予測についても併せて検討し、効率のよい情報ハイディング手法を考えていく必要がある。

参考文献

- 1) ITU-T Recommendation H.264, "Advanced video coding for generic audiovisual services (2007)
- 2) 櫻田素一 "H.264 | MPEG-4 AVC 規格の概要", 社団法人 電波産業会 (2006)
- 3) Do Quan and Yo-Sung Ho : "Categorization for Fast Intra Prediction Mode Decision in H.264/AVC", IEEE (2010)
- 4) S.Moiron and M.Ghanbari : "Reduced complexity intra mode decision for resolution reduction on H.264/AVC transcoders", IEEE Transactions on Consumer

Electronics, vol.55,no.2,pp.606-612,(May 2009)

- 5) Najla Mohaghegh, Omid Fatemi : “H.264 Copyright Protection with Motion Vector Watermarking”, Digital Object Identifier: 10.1109/ICALIP.2008.4590217 pp.1384-1389 (2008)
- 6) Yang Hu, Chuntian Zhang and Yuting Su : “Information hiding based on intra prediction modes for H.264/AVC”, Proc. of IEEE International Conference on Multimedia and Expo, pp.1231-1234 (2007)
- 7) Chia-Hsiung Liu, Oscar T.-C : “Data Hiding in Inter and Intra Prediction Modes of H.264/AVC”, Digital Object Identifier, 10.1109/ISCAS.2008.4542095,pp.3025-3028 (2008)
- 8) Yamadera S, Wada N, Hangai S : ”A Study on light information hiding method compatible with conventional H.264/AVC decoder” EUVIP (2010)
- 9) Y Joint Model Team(JVT) “H.264/AVC Reference Software (JM12.4)” <http://iphome.hhi.de/suehring/tml/>