

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月31日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500179

研究課題名（和文） 汎用動画画像符号化に対応できる動きベクトルへの情報埋め込み方式に関する研究

研究課題名（英文） A study on information hiding method with motion vectors of standard video compression

研究代表者

半谷 精一郎 (HANGAI SEIICHIRO)

東京理科大学・工学部・教授

研究者番号：70147510

研究成果の概要（和文）：本研究では H.264/AVC の符号化方式に基づく情報埋め込み手法について検討した。イントラ予測における二つの埋め込み手法とインター予測における一つの手法を提案した。実際に6種類の動画画像に対し評価実験を行い、ビットレートに対する情報埋め込み量や画質劣化、演算量の関係について明らかにした。イントラ予測とインター予測の手法を組み合わせることで、より多くの情報を埋め込むことができることが分かった。

研究成果の概要（英文）：In this research, we investigated the methods of information hiding for H.264/AVC. We proposed two methods based on the intra prediction and a method based on the inter prediction. We evaluated these methods by computer simulation using six sequences and showed the relationship of embedded bits, image degradation and computational cost to bit rates. By combining intra and inter predictions, it can embed more information bits.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2009年度 | 2,100,000 | 630,000 | 2,730,000 |
| 2010年度 | 600,000 | 180,000 | 780,000 |
| 2011年度 | 700,000 | 210,000 | 910,000 |
| 総計 | 3,400,000 | 1,020,000 | 4,420,000 |

研究分野：画像情報処理

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：情報埋め込み・動画画像符号化・動きベクトル・画質評価

1. 研究開始当初の背景

電子透かしに代表される動画画像に対する情報の埋め込み方法は様々な方式が提案されているが、その多くが画像の空間領域もしくは空間周波数領域を利用するものであり

静止画像に対するものと同様のアルゴリズムであった。また、時間方向に情報を埋め込む方式も提案されていたが既存の動画画像符号化方式との親和性は考慮されていないものが多かった。

2. 研究の目的

既存の動画画像符号化の枠組みを利用しながら、信頼性の高い情報埋め込み手法を確立するため、以下の検討を行う。

- (1) イントラ予測を活用することで、情報埋め込み量が多く画質劣化が少ない手法を検討する。
- (2) インター予測を活用することで、情報埋め込み量が多く画質劣化が少ない手法を検討する。
- (3) 複数の実動画画像を用いて評価実験を行い、その有効性を確認する。

3. 研究の方法

本研究では、動画画像の符号化方式の一つである H. 264/AVC (以降、H. 264) におけるイントラ予測およびインター予測を活用して、演算量の増加や画質の劣化を抑えた情報埋め込み手法について検討した。

- (1) イントラ予測における 9 種類の予測モードを活用した埋め込み手法の検討

予測モードの変更や、あらかじめ予測モードを二つの群に分類するなどにより、情報を埋め込む。

- (2) インター予測における参照フレームの選択を活用した埋め込み手法の検討

参照フレームや動きベクトルを変更することで情報を埋め込む。符号化効率が優れたモードでは情報を埋め込まないなどにより、埋め込み情報量と画質劣化のバランスの取れた手法とする。

- (3) 実際の動画画像を用いた情報埋め込み手法の評価

空間解像度やフレームレートの異なる画像を用いて評価を行う。可能であれば、画質劣化を主観により評価する。

4. 研究成果

本研究の主な成果について以下に報告する。

4.1 本方式で活用する H. 264 の予測方式

4.1.1 イントラ予測

フレーム内においてブロック間の画素相関を利用して、イントラ予測を行う。マクロブロックサイズは 4×4 と 16×16 の二種類があり、画像の複雑さによって最適なサイズを決定する。マクロブロックサイズが 4×4 のイントラ予測(以下、 4×4 イントラ予測)では図1のように、周囲の符号化済み画素から、対象ブロックを 9 通りの予測モードによって補間することで予測信号を生成する。最適な予測モードの決定方法は、コスト関数を計算し、最もコストが小さい、つまり最適なモード(以下、Best Mode)を採用する仕組みになっている。なお、このコスト関数はモード判定のみでなく、動き補償を決定する際にも使用する。

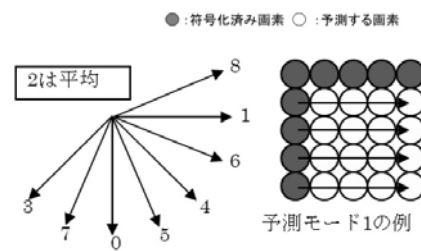


図1 4×4 イントラ予測の 9 通りの予測モード

隣接ブロックの予測モード同士は相関が高くなる。そこで、符号化済み隣接ブロックの予測方向から対象ブロックの予測モードを予測することが可能である。この時、予測されたモードを Most Probable Mode と呼び、先のコスト関数により決定された Best Mode と比較し、一致するかしないかの情報をデコーダ側に送信する。

4.1.2 インター予測

- (1) 可変ブロックサイズ動き補償

多くの動画画像符号化方式では、各フレームをブロックに分割し、すでに符号化したフレ

ームからの動きに基づく補償が行われている。H. 264 のインター予測では、よりきめ細かな予測を行うために、いくつかの動き補償ブロックサイズの中から、最適なものを切り替えて用いる仕組みが取り入れられている。ブロックサイズは16×16、16×8、8×16、8×8、8×4、4×8、4×4 の計7 種類がある。

(2) 複数の参照ピクチャからの予測

H. 264 の動き補償では、直前のピクチャだけで無く、図2 のように複数のピクチャを参照ピクチャとして用いることができる。動き補償ブロックごと(ブロックサイズが8×8 以下の場合には8×8 ごと)に参照ピクチャを変更可能である。選択された参照ピクチャを特定するために、参照ピクチャ番号を対象ピクチャから近い順に0, 1, 2...と付ける。複数の参照ピクチャを用いることで、動物体の背後に隠れた背景なども予測できるようになる。

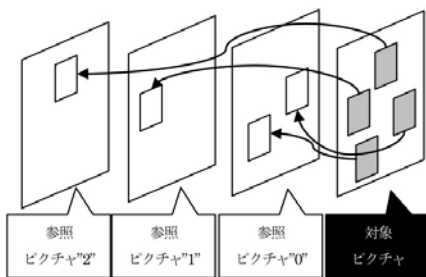


図2 複数の参照ピクチャ(P ピクチャ)

(3) Skipped Macro Block Mode(以下SMB モード)

SMB モードとはマクロブロックの情報(マクロブロックサイズ、動きベクトル、参照フレーム番号)を全く送らずに、自動的にマクロブロックサイズを16×16とし、周囲の動きベクトルから予測される動きベクトルと参照ピクチャ“0”を用いて符号化する手法である。動きが一様であり変化がない動画像に対して符号化効率を向上させることができる。

4.2 検討した三つの埋め込み手法

4.2.1 イントラ予測のMost Probable Modeを利用した埋め込み手法(手法A)

4×4 イントラ予測されるマクロブロックに対して、Best Mode をMost Probable Mode に変更することで、1bit の情報を埋め込む。埋め込み規則を表1 に示す。

表1 手法Aにおける埋め込み規則

| |
|---|
| “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モードに変更 |

図3 に埋め込みを行うためのBest Mode 決定手順を示す。受信側では予測モードの予測が一致したら”0” が、不一致であれば”1” が予測モードフラグにより抽出できる。

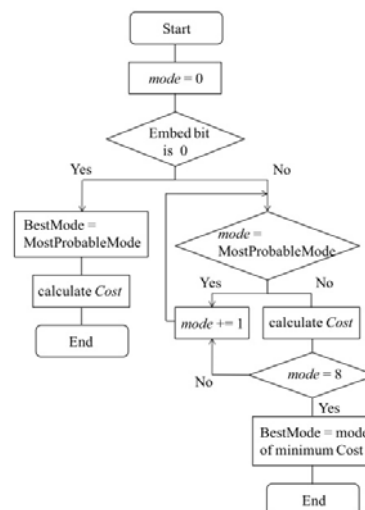


図3 手法Aにおける予測モードの決定手順

4.2.2 イントラ予測の予測モード分類による埋め込み手法(手法B)

手法Aと同様に、4×4 イントラ予測されるマクロブロックに対して1bit の情報を埋め込む。手法Bでは図1 の予測モードを二つの群(第1 群: モード0, 1, 3, 4、第2 群: モード2, 5, 6, 7, 8)に分類し、埋め込み情報によって選択される予測モードを限定することで情報を埋め込む。埋め込み規則を表2 に示す。

表2 手法Bの埋め込み規則

| | |
|-----|--------------------------------|
| “0” | 予測モードが“第1群”の中から 適した予測モードを採用 |
| “1” | 予測モードが“第2群”の中から 適した予測モードを採用 |

4.2.3 インター予測の参照ピクチャ番号による埋め込み手法（手法C）

インター予測される動き補償ブロックごと（ブロックサイズが8×8 以下の場合は8×8 ごと）に1bit の情報を埋め込む。埋め込み規則を表3に示す。また、先にも述べたSMB モードは符号化効率が良いため、埋め込みによる影響が大きくなることを考慮してSMB モードが選択されている場合には埋め込みを行わないこととする。なお、受信した参照ピクチャ番号を調べれば、簡単に埋め込み情報を抽出できる。

表3 手法C の埋め込み規則

| | |
|-----|-----------------------------------|
| “0” | 参照ピクチャ番号が“偶数”の中から 適した参照ピクチャを採用 |
| “1” | 参照ピクチャ番号が“奇数”の中から 適した参照ピクチャを採用 |

4.3 各埋め込み手法における演算量

4.3.1 イントラ予測による手法の演算量

4×4 イントラ予測において、通常H.264の符号化処理と比べてBest Mode を決定するためのコスト計算回数が増える。

通常は予測モードを決定するのに9 回のコスト計算を行わなければならない。これに対し手法Aのモード変更の手順は図3 に示した通りで、例えば“0”を埋め込む場合には1 回、“1”を埋め込む場合には8 回のコスト計算をすれば済むことになる。手法Bのモード変更の手順を図4に示す。“0”を埋め込む場合には4 回、“1”を埋め込む場合には5 回のコスト計算をすれば済む。この手法により半分程度の計算量の削減が期待できる。

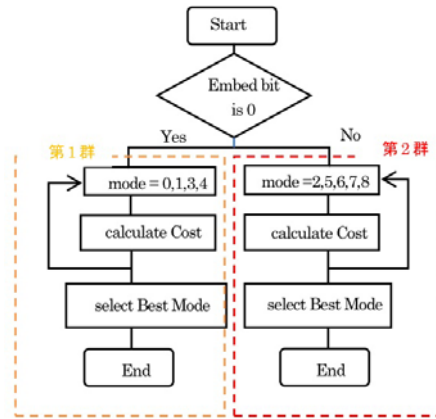


図4 手法B のBest Mode 決定手順

4.3.2 インター予測による手法の演算量

H.264 のインター予測においては複数のピクチャを対象とした動き補償を行うが、本手法では埋め込みビットにより、ピクチャの位置が限定される。そのため、コストの演算量が少なくなる。具体的には、SMB モードでコスト計算を行う。その後埋め込み情報に応じて動き補償を行う領域を決定する。埋め込みビットが“0”の時は参照ピクチャ番号が偶数のものからのみ動き補償を行い、“1”の時には奇数のものからのみ動き補償を行う。

4.4 評価実験

それぞれの手法を実装し、表4に示す条件でH.264符号化を行うと同時に情報を埋め込む。以降では、紙面の都合から、手法Aと、手法Bおよび手法Cを組み合わせた手法（以降、手法B+Cと呼ぶ）について結果を述べる。

表4 実験の符号化条件

| プロファイル | Baseline |
|---------------|---|
| GOP 構造 | IPP…IPP… |
| シーケンス | container,mobile,foreman news,silent,paris |
| サイズ | CIF(352×288) |
| フレームレート [fps] | 15 |
| 参照ピクチャ数 | 2 |
| ビットレート [kbps] | 64,96,128,160,192 224,256,384,512,640 |

4.4.1 埋め込み量に関する評価

手法A、手法B+Cにおけるビットレートと埋め込み情報量の関係をそれぞれ図5および図6に示す。これらの図からわかるように、手法Aよりも手法B+Cは埋め込み情報量が増えている。特に、400kbps以上の高ビットレートでは、手法Aは埋め込み量が飽和しているのに対し、手法B+Cは増加し続けている。これはインター予測の導入により埋め込み可能な領域が増え、埋め込み量の限界値が引き上げられたためである。また、container, newsの埋め込み量が少なかったのは、これらシーケンスは動きが一樣もしくは動きのない領域が多くを占めており、SMBモードが採用されやすいためである。

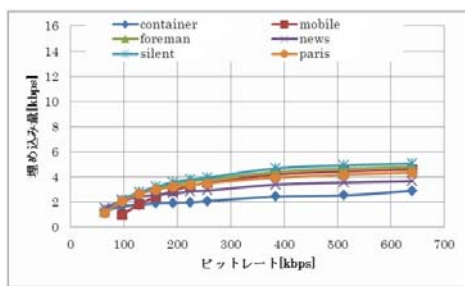


図5 手法Aの埋め込み量

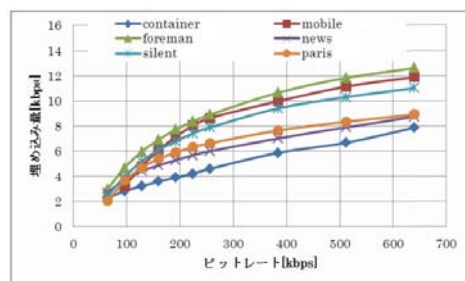


図6 手法B+Cの埋め込み量

4.4.2 画質に関する評価

手法A、手法B+Cにおけるビットレートと Δ PSNRの関係をそれぞれ図7および図8に示す。 Δ PSNRは埋め込みを行って符号化した際のPSNRから、埋め込みを行わず、通常の符号化処理をした際のPSNRを引いたものである。手法B+Cは埋め込み量が多い反面、インター予測による予測誤差が増加するため Δ PSNRの低下が大きい。したがって、同ビットレートでは

量子化パラメータが大きくなり Δ PSNRが低下して画質は劣化する。ビットレートが大きくなると手法Aは Δ PSNRが改善されていくが、手法B+Cでは埋め込み量が増加するため、画質が改善されない。

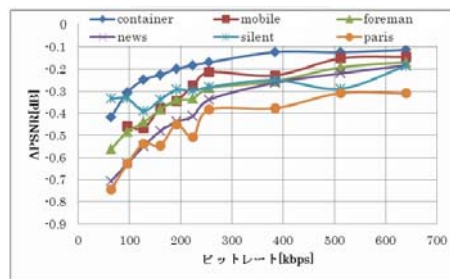


図7 手法Aの Δ PSNR

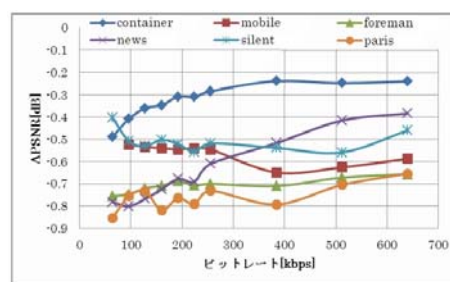


図8 手法B+Cの Δ PSNR

4.4.3 埋め込み手法の総合評価

手法Aおよび手法B+Cにおける埋め込み情報量と画質の関係をまとめて評価するために、横軸に Δ PSNR [dB]、縦軸に埋め込み情報量 [kbps]として図9および図10に示す。

手法Aは埋め込み情報量は大きく増えないものの、PSNRが改善する。手法B+Cはnewsとcontainerを除いてビットレートの変化に対してPSNRの改善は見られないが、埋め込み量が大きく改善している。これに対し、newsとcontainerはSMBモードが多数採用されておりインター予測が働かず、手法Aと同様にPSNRが改善されている。以上のことから、画質を重視する場合はインター予測を抑制するなど何らかの制御が必要である。

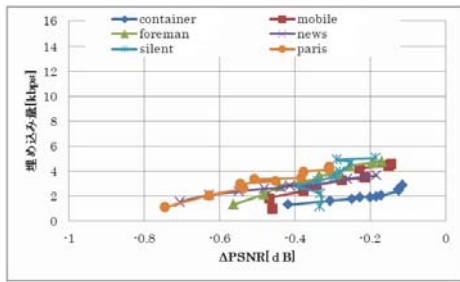


図9 手法Aの総合評価

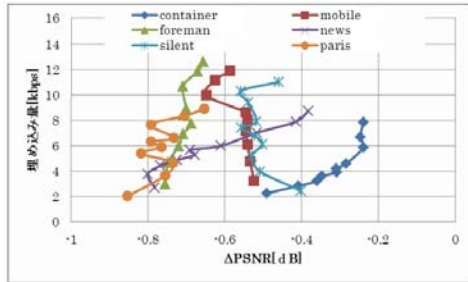


図10 手法B+Cの総合評価

4.5 今後の課題

主観評価実験を行い、提案法が主観画質に影響与えるシーケンスと与えないシーケンスを確認すること。主観画質に影響を与えない最低の Δ PSNRの値を調べること。foremanやparisなどの Δ PSNRが低いシーケンスには埋め込み手法Cを抑制させるような基準を作ること。より埋め込みによる劣化が少ない埋め込み手法を検討すること。以上が、今後の課題である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

- ① 高木洋, 和田直哉, 浜本隆之, 半谷精一郎, H. 264/AVCにおける参照フレームの変更による埋め込み情報量の増加について, 暗号と情報セキュリティシンポジウム予稿集, 査読無, 2012, CD-ROM, 8pages
- ② Syunya Yamadera, Naoya Wada, Seiichiro Hangai, A study on the information hiding technique by changing the intra prediction mode of H. 264/AVC, Proc. of International workshop on image media quality and its applications, 査読有, 2010, D-6, 92-95
- ③ Syunya Yamadera, Naoya Wada, Seiichiro Hangai, A study on light information hiding method compatible with conventional H. 264/AVC, Proc. of European

workshop on visual information processing, 査読有, 2010, 210-213

- ④ 山寺秀弥, 吉田孝博, 和田直哉, 半谷精一郎, H. 264/AVCのイントラ予測方向を変更する電子透かしの検討, 映像メディア処理シンポジウム予稿集, 査読無, I6-18, 2009, 155-156
- ⑤ 松崎可苗, 北浦嘉浩, 浜本隆之, 高フレームレート画像を用いた高精度動き推定とフレーム補間への応用, 画像符号化シンポジウム予稿集, 査読無, P5-10, 2009, 95-96

[学会発表] (計5件)

- ① 高木洋, H. 264/AVCにおける参照フレームの変更による埋め込み情報量の増加について, 暗号と情報セキュリティシンポジウム, 2012年2月1日, 金沢
- ② Syunya Yamadera, A study on the information hiding technique by changing the intra prediction mode of H. 264/AVC, International workshop on image media quality and its applications, 2010年5月13日, 東京
- ③ Syunya Yamadera, A study on light information hiding method compatible with conventional H. 264/AVC, European workshop on visual information processing, 2010年7月7日, フランス
- ④ 山寺秀弥, H. 264/AVCのイントラ予測方向を変更する電子透かしの検討, 映像メディア処理シンポジウム, 2009年10月9日, 修善寺
- ⑤ 松崎可苗, 高フレームレート画像を用いた高精度動き推定とフレーム補間への応用, 画像符号化シンポジウム, 2009年10月7日, 修善寺

6. 研究組織

(1) 研究代表者

半谷 精一郎 (HANGAI SEIICHIRO)
東京理科大学・工学部・教授
研究者番号: 7 0 1 4 7 5 1 0

(2) 研究分担者

和田 直哉 (WADA NAOYA)
東京農工大学・工学研究院・助教
研究者番号: 2 0 4 3 4 0 2 9
浜本 隆之 (HAMAMOTO TAKAYUKI)
東京理科大学・工学部・教授
研究者番号: 1 0 2 9 7 6 2 4

(3) 連携研究者

なし