

近傍符号化画像の周波数成分を考慮したイントラ予測拡張方式

吉野 知伸 内藤 整 酒澤 茂之 小池 淳

株式会社 KDDI 研究所 〒356-8502 埼玉県ふじみ野市大原 2-1-15

E-mail: {to-yoshino, sei, sakazawa, koike}@kddilabs.jp

あらまし H.264 において高い符号化効率につながる要素技術の一つに、イントラ予測が挙げられる。同予測では複数の予測方向が定義されており、映像特徴に適した予測方向を用いることで高い予測精度が得られる。しかしながら、同予測値として、予測方向に沿って同一の値が用いられるため、画素値変化を伴う絵柄に対しては、単調な画素値変化であっても、予測性能は低下する。したがって、高いイントラ予測性能を得るためには、画素値変化に追従可能なイントラ予測手法が求められる。以上の背景から、本研究では、H.264 符号化の拡張によるイントラ予測の性能改善手法を提案する。提案手法では、参照 MB における局所復号された画素値の周波数成分を、予測値の周波数成分とする。また提案手法は、予測値の周波数成分における DC 成分に自由度を許容しており、同成分を最適化することで高い予測性能が得られる。提案手法に関して符号化実験を行い、最大 6.86% の符号量削減が得られることを確認した。

キーワード イントラ予測, H.264 符号化, 周波数成分

An extended intra prediction scheme based on frequency component representation of neighboring coded images

Tomonobu YOSHINO Sei NAITO Shigeyuki SAKAZAWA and Atsushi KOIKE

KDDI R&D Laboratories Inc. 2-1-15 Ohara, Fujimino-shi, Saitama, 356-8502 Japan

E-mail: {to-yoshino, sei, sakazawa, koike}@kddilabs.jp

Abstract An intra prediction is one of the effective coding tool to achieve high coding performance in H.264 coding technology. In this prediction mode, predicted value is applied along a specific pixel direction, and this direction can be selected for every block dependent on the image feature. However, predicted pixels are assumed to be identical along a specific direction, and prediction performance might be degraded for image textures with high frequency components independent on those frequency characteristics. Therefore, a novel intra prediction scheme based on representing the frequency component of a prediction reference is required to achieve further prediction gain. From this perspective, this paper describes a novel intra prediction scheme based on extending H.264 coding framework proposed to improve the total coding performance. In the proposed scheme, the frequency component of locally decoded prediction reference MB is extracted and preserved along the prediction direction. In our proposed scheme, preserved DC component can be adjusted dependent on coded image features, and further prediction gain is expected by the optimal parameter selection. From experimental results, it was confirmed that our proposed scheme introduced 6.86% bit-saving at the maximum case.

Keyword intra prediction, extended H.264 coding, frequency component

1. はじめに

近年、HDTV などの高精細映像を用いた映像配信サービスが普及しつつある。同サービスの代表である IPTV や高度 CS 放送では、映像の圧縮符号化方式として、現在の標準化方式で最も高い符号化効率を実現する H.264 の採用が有力視されている。一方、将来的な映像配信サービスとして、高品位な高精細映像コンテンツを移動体端末で視聴するサービスの実現が期待されている。同サービス実現のために、映像圧縮技術に

対する高性能化の要求は尽きることが無く、既標準方式の枠を超え、さらに高性能な映像圧縮方式の確立が強く求められている。

H.264 において高い符号化効率につながる符号化要素技術の一つに、イントラ予測が挙げられる。同予測では、符号化対象のマクロブロック(以下、マクロブロックを MB、符号化対象の MB を処理 MB と呼ぶ)においてイントラ予測方向に沿った位置の画素に対して、近傍の符号化済み MB(以下、参照 MB)における局所復

号された画素値(輝度もしくは色差)を、予測値として設定する。イントラ予測方向として複数の予測方向が定義されており、映像特徴に応じた予測方向を選択することで、高い予測精度が得られる。しかし、H.264のイントラ予測方式では、同予測値として、処理MB内のイントラ予測方向に沿って同一の値が適用され、入力映像の近傍領域における絵柄を考慮していない。このため、予測値として用いられる参照MBにおける画素(以下、参照画素)から離れるほど、予測誤差が拡大する可能性が高い。

以上の背景から、H.264におけるイントラ予測について、予測性能の改善を目的としたイントラ予測の拡張手法が、文献[1]から文献[3]で提案されている。

文献[1]では、隣接する画素における予測値から当該画素における予測値を生成する手法が示されている。同手法により、参照MBから離れた画素における予測精度を改善している。

文献[2]では、予測値として用いる参照MBにおける画素について、処理MBに隣接しない画素も適用可能とする手法が示されている。同手法により、縞模様絵柄に対する予測精度を改善している。

また、H.264におけるサブマクロブロック(以下、sub-MB)単位のイントラ符号化では、処理sub-MBに対して左または上に位置する符号化済みsub-MBにおける局所復号された画素値を、処理ブロックにおける予測値とする。一方、文献[3]では、処理MBにおけるsub-MBのスキャン順序を変更することで、一部のsub-MBについて全方向からのイントラ予測を可能とする手法が示されている。更に、文献[3]では、2つのイントラ予測方向を組み合わせて、両イントラ予測方向から生成される予測値に対して重み付けした値を処理ブロックにおける予測値とする手法が提案されている。

文献[1,2]の手法では、従来のH.264(以下、従来手法)よりも高い符号化性能が期待されるものの、グラデーション効果など、周期的な画素値変化を伴うテクスチャに対しては、従来手法と同等のイントラ予測性能しか期待できない。また、文献[3]に関しては、向かい合う2つのイントラ予測方向の予測値について、参照画素からの距離に応じた重み付けを行うことで、単調に変化する予測値を生成することが可能である。したがって、グラデーション効果に代表される絵柄において、従来手法に対する予測性能の改善が見込まれる。しかしながら、同予測を適用可能なブロックは限定されており、予測値もリニアに単調変化する値しか生成できない。したがって、すべてのブロックを対象とし、空間的に周期的な画素値変化を伴うテクスチャに適した予測値を生成するためには、検討の余地を残している。

以上の背景から、本研究では、H.264符号化の拡張

によるイントラ予測の性能改善手法を提案する。提案手法では、参照MBにおける局所復号された画素値の周波数成分を予測値の周波数成分とすることで、原画像のテクスチャにおける画素値変化に追従する予測値を生成することができる。また、予測値の周波数成分におけるDC成分に自由度を許容しており、同成分を最適化することで高い予測性能が得られる。提案手法に関して、符号化実験を行い、符号化性能を評価する。

2. 従来手法

2.1. H.264におけるイントラ予測

H.264におけるイントラ符号化では、MB(16画素×16ライン)に対するイントラ予測、およびMBを8画素×8ラインもしくは4画素×4ラインに分割した単位でのイントラ予測が可能である。以下では、それぞれIntra16x16、Intra8x8、Intra4x4と呼ぶ。

また、H.264におけるイントラ予測では、参照画素における局所復号された画素値を、処理MBにおいてイントラ予測方向に沿った位置にある画素の予測値として設定する。

Intra16x16では4種類の予測方向が定義され、Intra8x8およびIntra4x4では9種類の予測方向が定義されている。表1および表2に従来手法における予測方向を示す。また図1に、Intra8x8およびIntra4x4における、DC予測以外の予測方向の概念図を示す。ただし、図中の数字は予測方向のインデックス値を表している。なお、Intra16x16における垂直予測および水平予測に関する予測方向の概念は、図1の同予測と同等である。

表1 Intra16x16

インデックス値	イントラ予測方向
0	垂直方向予測
1	水平方向予測
2	DC予測
3	平面予測

表2 Intra8x8およびIntra4x4

インデックス値	予測方向
0	垂直方向予測
1	水平方向予測
2	DC予測
3	左下方向予測
4	右下方向予測
5	垂直右方向予測
6	水平下方向予測
7	垂直左方向予測
8	水平上方向予測

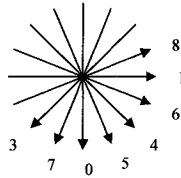


図1 イントラ予測方向

2.2. 従来手法における予測性能の低下

イントラ予測における発生符号量は、予測誤差の大きさに依存するため、予測性能が符号化効率に与える影響は大きい。一方で、従来のイントラ予測では、参照画素における局所復号された画素値を、処理MBにおける予測値として用いる。また、処理MBにおける予測値設定については、参照画素から予測方向に沿った位置にある画素に対して、上記の値を予測値として設定する。したがって、処理MBにおける予測値は、予測方向に沿って同一の値が設定されることになる。したがって、グラデーションや精細かつ単調な模様を含むようなテクスチャのように、画素値が一定の周波数成分に従って変化する絵柄に対して、処理MBにおける画素について、参照画素から離れるほど、予測精度が低下する。

上記を実画像上で確認する。文献[4]において共通のテストセットに含まれる720pフォーマットの動画シーケンス“ShuttleStart”を対象として、従来手法によるイントラ符号化を行った。なお、当該映像は、静止カメラ(若干のブレがある)において、シャトルが発射するとともに噴煙が広がる映像である。図2に、同素材の特定フレームを静止画で示している。

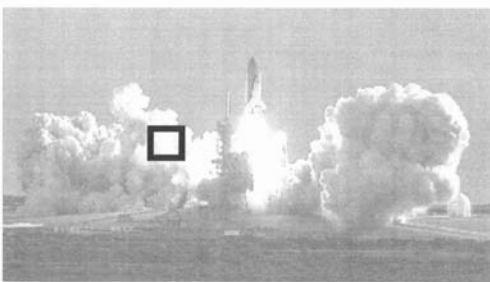


図2 評価映像

従来手法におけるイントラ予測性能を確認するため、リファレンスエンコーダ(JM)[5]を用いた符号化実

験を行った。符号化条件は表3に従い、Intra16x16符号化モードのみを用いて符号化した。なお、予測方向の決定はR-D最適化法に従うものとした。図中の太枠で囲った領域は、シャトルの噴射に向かって輝度値が増加するテクスチャを持つ領域である。図3に、参照画素からの距離に対する予測誤差を示す。ただし、予測誤差は、輝度信号に関する原画像と予測値の差分絶対値である。

表3 符号化条件

設定項目	設定値
GOP構造	Iピクチャのみ
プロファイル	High Profile
レベル	4.0
符号化方式	CABAC
DCTサイズ	4x4 もしくは 8x8
QP	32(固定)
R-D最適化	使用
符号化構造	Frame構造

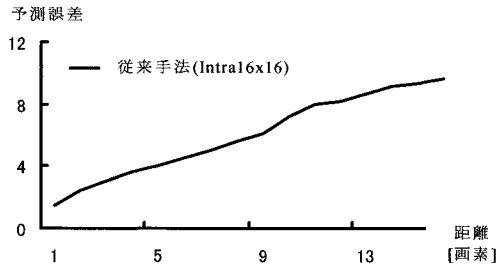


図3 参照画素からの距離と予測誤差

結果より、従来手法におけるイントラ予測に関して、参照画素から距離が離れるほど予測性能が低下し、予測誤差が拡大していることがわかる。

以上より、従来手法におけるイントラ予測は、グラデーションや精細かつ単調な画素値変化を伴うテクスチャに対して、予測精度が著しく低下する。したがって、同絵柄に対するイントラ予測性能を向上させるためには、空間方向の画素値変化に追従した予測値を生成可能なイントラ予測手法が求められる。

3. 提案手法

2章で示した従来手法におけるイントラ予測の改善を図る目的から、原画像における画素値変化に追従した予測値を生成するイントラ予測手法を提案する。

提案手法におけるイントラ予測値生成では、符号化済みデータを復号した画素値(各画素に対応して2次

元配列で表現される)を1次元化し、1次元の直交変換を施す。ある予測方向に沿って生成される1次元の予測値列を P 、符号化済みデータを復号した画素値のある予測方向に沿って1次元化される画素値列を X とする。 P および X の関係の一例として、Intra4x4における水平方向予測の例を図4に示す。

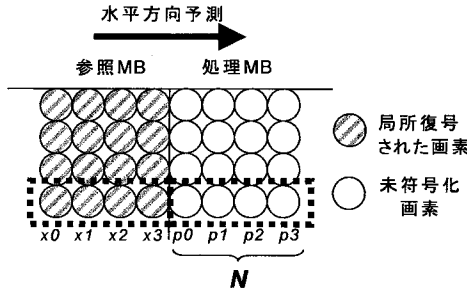


図4 P および X の関係(Intra4x4 水平方向予測の例)

P に含まれる画素数 N は、予測方向および分割ブロック内で予測方向に沿って先頭に相当する画素の位置によって、一意に決まる。ここで X は、予測方向に沿って、処理MBに最も近い符号化済み画素から、 P に含まれる画素数 N と同数の符号化済み画素で構成されるものとする。

1次元配列 X における i 番目の画素値を $x(i)$ とする。 X に対して1次元DCTを施した結果、 u 番目の基底に対する変換係数を $t(u)$ とする。ここで、DC成分として $t(0)+s$ 、AC成分として $t(1)$ 、 $t(2)$ 、 \dots 、 $t(N-1)$ を持つDCT係数 $t(u)$ を定義する。ただし、 s はDC成分を制御するためのパラメータである。1次元配列 P における i 番目の予測値 $p(i)$ は、 $t(u)$ を逆DCTすることにより求める。すなわち、 $p(i)$ は式(1)により求まる。ただし、式(1)における $C(u)$ は、式(2)に従う。

上記に示したイントラ予測の拡張手法を、輝度および色差に対するイントラ予測に適用し、各成分(輝度および色差)ごとに適切な s を設定することで、高い予測精度を得ることができる。

$$p(i) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{u=0}^{N-1} C(u) \times t(u) \times \cos \frac{(2i+1)u\pi}{2N}$$

$$= \frac{t(0)+s}{\sqrt{N}} + \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{u=1}^{N-1} t(u) \times \cos \frac{(2i+1)u\pi}{2N} \quad (1)$$

$$C(u) = \begin{cases} 1/\sqrt{2} & (u=0) \\ 1 & (u \neq 0) \end{cases} \quad (2)$$

4. 評価実験

4.1. ソフトウェア実装

提案手法の性能評価を目的として、JMに対して、3章で示した拡張イントラ予測を実装する一例を示す。

本実装では、Intra4x4およびIntra8x8に関して、既存のH.264における9種類の予測方向に加え、既存予測方向からDC予測を除く8種類の予測方向に対して3章で示した拡張を行う。同様に、Intra16x16に関して、既存のH.264における4種類の予測方向に加え、水平方向および垂直方向に対して3節で示した拡張を行う。なお、本シミュレーションでは、輝度値に対するイントラ予測のみを対象とした。

また、拡張イントラ予測における予測値のDC成分について、同成分を制御するためのパラメータ s を式(3)のとおりを設定可能とした。

$$s = 8 \times n - 40 \quad (n = 0, 1, \dots, 10) \quad (3)$$

実験では、最良時の効果を評価することを目的とし、予測値のDC成分について適応的に最適な値が与えられることを前提とした。すなわち、拡張手法を実装したエンコーダから出力される符号化データのシンタックスにおいては、拡張した予測方向を表現するインデックスのみを符号化した。

4.2. 符号化実験

4.1で実装したエンコーダを用いて符号化実験を行った。QPは22, 27, 32, 37(固定値)を用い、QP以外の符号化条件は表3に従うこととした。素材としてQCIF素材としてforeman, container, silent, CIF素材としてforeman, mobile, tempete, paris, 720p素材としてBigShips, City, Crew, Night, ShuttleStartを用いた。使用フレーム数は、QCIFおよびparisについては150フレーム、parisを除くCIFについては300フレーム、720pについては100フレームとした。表4に符号化結果を示す。なお、従来手法としてJM12.1の結果を取得し、提案手法による比較手法に対する平均符号量削減率およびSNR改善を表している。各評価値の算出は文献[6]に従った。

結果より、従来手法に対してQCIF素材で平均2.52%、CIF素材で平均2.42%、720p素材で平均4.45%の平均符号量削減が得られた。また、平均符号量削減率はShuttleStartで最大となり、6.86%のゲインが得られた。

表 4 符号化結果

素材	解像度	フレームレート	符号量削減率 [%]	SNR改善 [dB]
Foreman	QCIF	15fps	3.45	0.17
Container			2.05	0.27
Silent			2.06	0.16
QCIF 平均			2.55	0.20
Foreman	CIF	30fps	4.28	0.28
Mobile			1.70	0.20
Tempete			1.33	0.13
Paris		15fps	2.38	0.23
CIF 平均		2.42	0.21	
BigShips	720p	60fps	3.93	0.21
City			2.31	0.18
Crew			6.33	0.24
Night			2.81	0.21
ShuttleStart			6.86	0.29
720p 平均			4.45	0.23

5. 考察

5.1. 提案手法による予測性能の改善効果

提案手法では、グラデーション効果やエッジに伴う画素値変化を持つ絵柄に対して、高精度な予測が可能である。図 5、図 6 に、同絵柄を持つ素材である、ShuttleStart および foreman を示す。なお、同図では、QP=32 の符号化において、提案手法が適用された MB を、塗りつぶして示してある。結果より、ShuttleStart については、煙に光が当たる領域で提案手法が適用されており、foreman については、エッジ付近で提案手法が適用されていることが分かる。

一方で、従来手法のイントラ予測では、上記絵柄における画素値変化に対し、高精度な予測が困難であり、予測値が追従できないために符号化効率の低下を招いていた。

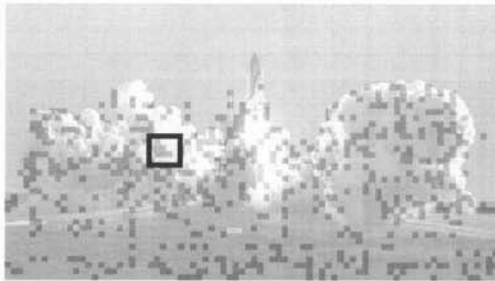


図 5 拡張イントラ適用箇所(ShuttleStart 720p)

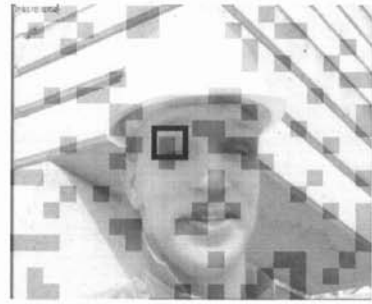


図 6 拡張イントラ適用箇所(foreman CIF)

図 5、図 6 で示した結果において、拡張イントラ予測を適用することによる予測性能向上を確認する。図 7、図 8 に、Intra16x16 予測について、参照ブロックからの距離と予測誤差の関係を示す。図 7、図 8 はそれぞれ、図 5、図 6 の太枠で示した箇所に対応する結果である。結果より、従来手法に対して予測誤差が抑制されていることがわかる。

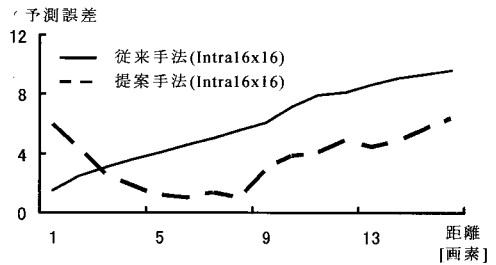


図 7 ShuttleStart の結果

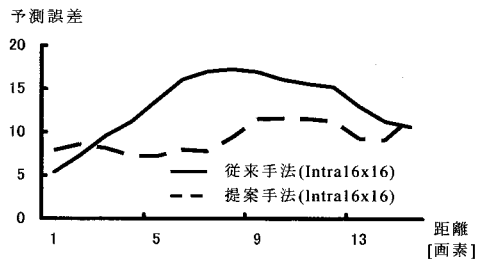


図 8 foreman の結果

また、提案手法による従来手法に対する符号量削減効果の大きさは、入力素材における周期的な画素値を持つテクスチャの有無によって左右される。したがって、提案手法による改善効果は、入力素材の絵柄に強く依存する。Foreman, Crew, ShuttleStart は、大

きな改善効果が得られる典型例といえる。一方で、*tempete* や *mobile* 等では、周期的な画素値変動を伴うテクスチャが少ないため、提案手法による改善効果が得られていない。

本シミュレーション実験では、予測値の DC 成分の大きさについて、適応的に最適な値が与えられることを仮定した。一方で、厳密なデコーダ実装を考慮すると、予測値の DC 成分の大きさをエンコーダおよびデコーダで共有することが求められる。同情報の共有に関するアプローチの一つとして、エンコーダにて同情報を符号化データに記述し、同情報をデコーダで復号する方法が考えられる。もしくは、符号化および復号処理済み画素値から適応的に算出する手法が考えられる。同アプローチの検討は今後の課題である。

5.2. 予測性能改善と解像度

以下に、提案手法による予測性能改善と解像度の関係について考察する。解像度間での改善効果の差異を確認するため、*foreman* の符号化結果に着目する。同素材は、同一の絵柄について、CIF 解像度および QCIF 解像度での符号化が行われている。

図 9 に、QCIF の *foreman* に対し、特定フレームにおいて、拡張イントラ予測が適用された MB を塗りつぶして示す。同図では QP=32 の結果を用いた。CIF に対する結果である図 6 に対し、拡張イントラ予測が適用されている領域について、背景の壁面においてはほぼ同等であることがわかる。一方、同素材では、人の顔において光が当たることで輝度値の単調な変化が見られる。同領域へのイントラ予測に関して、CIF では、隣接するブロックからの輝度値の連続性が保たれ、拡張イントラ予測が適用されている。一方、QCIF では、解像度が低いために、同領域における輝度値変化がブロック内に閉じてしまうため、拡張イントラ予測が適用されない。したがって、QCIF は、CIF よりも拡張イントラ予測の適用頻度が低下し、従来手法に対する改善効果は CIF に及んでいない。



図 9 拡張イントラ適用箇所(*foreman* QCIF)

以上より、提案手法においては、解像度が高いほど、局所的な輝度値変化に対して、同変化に追従した予測値を生成することが可能である。結果、解像度が高いほど、従来手法に対する改善効果が高いと考えられる。

なお、本研究におけるシミュレーション実験では、輝度のみに対する拡張としたが、色差にも同様に拡張することで、従来手法に対して更に符号化効率が改善することが見込まれる。

6. まとめ

H.264 符号化におけるイントラ予測の性能改善を目的として、周辺領域における画素値の周波数成分を考慮した拡張手法を提案した。提案手法により、画素値に一定の周波数成分を持つ絵柄に対し、高い予測性能が得られることを確認した。特に、高精細映像を対象とした符号化において、従来手法に対して大きな改善が得られることを確認した。予測値の周波数成分における DC 成分に関して、適応的な決定手法の検討が今後の課題である。

謝辞 日頃ご指導いただく株式会社 KDDI 研究所代表取締役所長 秋葉重幸博士に感謝の意を表する。

文 献

- [1] 谷沢 他, “参照画素の距離に応じた画素適応画面内予測”, 2006年 映像情報メディア学会年次大会, 13-2, Aug. 2006.
- [2] 松尾 他, “周辺近傍画素を利用したイントラ予測改善手法の検討”, 情報処理学会 研究報告, 2007-AVM-56, pp.37-42, Mar. 2007.
- [3] Taichiro Shiodera, Akiyuki Tanizawa, Takeshi Chujoh, “Bidirectional Intra Prediction”, ITU-T SG16/Q6, 31st VCEG Meeting, Marrakech MA, January, 2007. VCEG-AE14.
- [4] TK Tan, Gray Sullivan, Thomas Wedi, “Recommended Simulation Common Conditions for Coding Efficiency Experiments Revision 1” ITU-T SG16/Q6, 31st VCEG Meeting, Marrakech, Morocco, January, 2007, Doc. VCEG-AE10r1.
- [5] Karsten Suhling, H.264/AVC software Coordination, <http://ftp.hhi.de/index.htm>
- [6] Gisle Bjontegaard, “Calculation of Average PSNR Differences between RD curves”, ITU-T SG16/Q6, 13th VCEG Meeting, Austin, Texas, USA, April 2001, Doc. VCEG-M33.