

イントラ参照画素の成分間予測手法の検討 A Study on Cross-Component Prediction of Intra Reference Pixels

河村 圭†
Kei Kawamura

内藤 整†
Sei Naito

1 まえがき

動画像符号化方式 HEVC の改善検討が MPEG や VCEG で 2015 年から始まっている。これまでに色成分間の相関を削減する手法として再構成した輝度信号から色差信号をイントラ予測する方式が提案されている。本方式は色成分間の並列パイプライン処理が困難という問題がある。本稿では、並列処理しやすくすることを目的とし、再構成する前に、イントラ予測の参照画素と残差信号とをそれぞれ成分間予測する手法を提案する。

2 従来手法とその課題

色成分間の相関を直接利用する方法として、LM 方式が提案されている。LM 方式では再構成した輝度信号から色差信号を線形予測する。予測残差信号は通常の変換・量子化を経て符号化される。再構成モデルは以下の式で表される。

$$\alpha, \beta = \text{Params}(\text{Rec}_L[x, y], \text{Rec}_C[x, y]), \quad (1)$$

$$\text{Rec}_C[x, y] = \alpha \times \text{Rec}'_L[x, y] + \beta + \text{Res}_C[x, y]. \quad (2)$$

サイド情報を削減するために、パラメータ α と β は再構成した近傍画素値 (Rec_L と Rec_C) から求める。

さらに色成分間と時空間方向との相関を同時に利用する方法として、CCD 方式が提案されている。CCD 方式では再構成した輝度残差信号から色差残差信号を線形予測する。再構成モデルは以下の式で表される。

$$\begin{aligned} \text{Rec}_C[x, y] &= \text{RegPred}_C[x, y] \\ &+ \alpha/8 \times \text{Res}_L[x, y] + \text{Res}_C[x, y]. \end{aligned} \quad (3)$$

パラメータ α は [-8, -4, -2, -1, 0, 1, 2, 4, 8] のいずれかから選択され、サイド情報として伝送される。

ACT 方式は RGB 色空間の予測残差信号を対象に色空間を動的に変換する方式である。この方式はイントラとインターの両予測残差信号に適用する。再構成モデルは以下の式で表される。

$$\text{Rec}[x, y] = \text{RegPred}[x, y] + \text{CT} \cdot \text{Res}[x, y]. \quad (4)$$

CT は色空間の変換行列であり、単位行列 (無変換) と YCoCg 行列が現在のところ HEVC で定義されている。色空間変換はサイド情報に基づいてブロック単位で適用可否が判断される。

これら三方式の符号化性能は LM と ACT, CCP の順で低下するが、それぞれの符号化性能は対象シーケ

ンスの特性に強く依存する [1, 3]。

ここで、HEVC デコーダのイントラフレームのパイプライン処理を考える。まずエントロピーデコーダステージは後段の信号処理とは独立しており、イントラ予測モードや係数レベルが復号される。信号処理のステージとしては、イントラ予測と、逆量子化・逆変換とが挙げられる。両ステージの出力信号は加算されてローカル復号バッファに格納される。これらのステージは独立しており、さらに色成分間でも独立となっている。インループフィルタはさらに後段のステージでローカル復号バッファに適用される。

LM モードでは予測係数を復号側で導出するため、輝度信号の再構成が終わった後にしか、色差のイントラ予測を実行できず、色成分間の処理ステージに強い依存関係を導入する。一方、CCD は輝度の逆変換後に色差の予測残差信号を生成できる。色差信号ではイントラ予測信号、予測した残差信号、残差信号の 3 つを加算してローカル復号バッファに格納される。LM と CCD の違いはステージの長さである。ACT は、色差信号だけではなく輝度信号も含めて色空間の逆変換を行う。これ以外の処理は通所のデコーダと同じだが、ブロックごとに色成分間の同期をする必要がある。

3 提案手法

本稿では、色成分で色差の画素値を間接的に線形予測する方式を提案する。提案方式は同様に画素値を用いる LM モードの問題点を解消可能となる。

基本的な方針としては、輝度信号の再構成処理をイントラ予測信号と残差信号との分解することある。さらにイントラ予測信号は参照画素とイントラ予測そのものに置き換え可能である。したがって、それぞれの信号は成分間で予測可能となる。

改めて LM モードの色差の再構成モデルは以下の式で表される。

$$\text{Rec}_C[x, y] = \alpha \times \text{Rec}'_L[x, y] + \beta + \text{Res}_C[x, y]. \quad (5)$$

Rec と Res は再構成と残差の画素値を表し、パラメータ α と β は最小二乗法により求められる線形モデルである。LM モードは以下の式に書き改められる。

$$\begin{aligned} \text{Rec}_C[x, y] - \text{Res}_C[x, y] &= \alpha \times (\text{Pred}_L[x, y] + \text{Res}_L[x, y]) + \beta \quad (6) \\ &= \alpha \times \text{IntraPred}(\text{Ref}_L)[x, y] + \beta + \alpha \times \text{Res}_L[x, y] \quad (7) \\ &= \text{IntraPred}(\alpha \times \text{Ref}_L + \beta)[x, y] + \text{CCD}(\text{Res}_L[x, y]) \quad (8) \end{aligned}$$

†株式会社 KDDI 研究所, KDDI R&D Laboratories Inc.

ここで、IntraPred と CCP は HEVC で定義されている通常のイントラ予測と成分間予測を表す。既存の符号化ツールを再利用することで実装コストが削減可能となる。この式展開は、イントラ予測と成分間予測の線形性を利用している。また、成分間予測による依存性は再構成信号から参照信号へ前倒しされている。すなわち、成分間予測で必要とされる参照画素はイントラ予測のそれと同じである。したがって、イントラ予測ステージと逆量子化・逆変換ステージはそれぞれ色成分間で独立となる。

パラメータは従来手法と同様に、参照する輝度と色差の画素値に線形モデルを適用して最小二乗法により導出する。この導出はエンコーダとデコーダの両方で行う。ここで、本モデルの参照画素はイントラ予測にも用いられており、すでに復号が完了している。なお、CCP をイントラ予測に適用するときには、DM モードに限定されている。同様に、提案手法においても DM モードに限定して適用することとする。また、パラメータは変換ユニットごとにシグナリングする。

ここで、DM モードは二つの色差成分で共通の予測モードとなるが、CCP はそれぞれの色差成分で別々に送られる。そこで、適用の可否を色差成分で共通化すると one frag モードと、個別に適用可否を送る two frag モードを比較して性能を検証する。

4 実験結果と考察

提案手法を評価するために、HEVC 参照ソフトウェアである SCM2.0 に実装した。実験条件は共通実験条件 CTC に従うが、提案手法はイントラ符号化を対象としているため、All Intra/Lossy 条件のみを対象とした。QP は 22, 27, 32, 37 の 4 つである。対象素材は RGB4:4:4 と YUV4:4:4 で、4 つのカテゴリである “text and graphics with motion (TGM)” と “mixed content (M)”, “animation (A)”, “camera-captured content (CC)” に分類されている。具体的なテストシーケンスを表 1 に示す。符号化性能は標準化会合で利用されている BD-rate を用いた。従来手法である LM を含めた評価結果を表 2 に示す。

提案手法の符号化性能は LM モードにやや劣るが、RGB の大部分のカテゴリで、YUV の Animation と Camera Captured コンテンツで性能改善が確認できる。LM モードより性能低下しているのは、適用できる色差予測モードを DM に限定しているためであると考えられる。

5 むすび

本稿では、デコーダパイプライン処理における色成分間の並列実行性を維持しながら、画素値を間接的に予測する方式を提案した。提案手法は従来の LM モードに劣るものの、並列実行を妨げる要因を削減できる

Table 1: Test sequences for screen content coding.

Resolution	Sequence name	Category	fps
1920x1080	sc_flyingGraphics	TGM	60
	sc_desktop	TGM	60
	sc_console	TGM	60
	MissionControlClip3	M	60
	EBURainFruits	CC	50
	Kimono1	CC	24
1280x720	sc_web_browsing	TGM	30
	sc_map	TGM	60
	sc_programming	TGM	60
	sc_SlideShow	TGM	20
	sc_robot	A	30
2560x1440	Basketball	M	60
	MissionControlClip2	M	60

Table 2: Coding performance in BD-rate

Category	Prop. 1 flag	Prog. 2 flags	Conv. LM
RGB, TGM, 1080p	0.01p	0.01p	-0.02p
RGB, TGM, 720p	-0.11p	-0.06p	-0.27p
RGB, M, 1440p	-0.17p	-0.19p	-0.33p
RGB, M, 1080p	-0.14p	-0.15p	-0.30p
RGB, A, 720p	-0.05p	-0.04p	-0.29p
RGB, CC, 1080p	-0.24p	-0.26p	-0.54p
YUV, TGM, 1080p	0.03p	0.02p	-0.08p
YUV, TGM, 720p	0.00p	0.04p	-0.47p
YUV, M, 1440p	0.06p	0.11p	-0.57p
YUV, M, 1080p	0.19p	0.22p	-0.39p
YUV, A, 720p	-0.55p	-0.50p	-1.84p
YUV, CC, 1080p	-0.34p	-0.34p	-1.30p

優位性がある。今後は、DM モード以外に適用する手法を検討する。

参考文献

- [1] J.-S. Kim, *et al.*, “AHG7: The performance of extended chroma mode for non 4:2:0 format,” JCTVC-J0253, Oct. 2012.
- [2] W. Pu, *et al.*, “Cross Component Decorrelation for HEVC Range Extension Standard”, COM-P3.10, ICIP2014, Oct. 2014.
- [3] L. Zhang, *et al.*, “SCCE5 Test 3.2.1: In-loop color-space transform,” JCTVC-R0147, July 2014.
- [4] H. Yu, *et al.*, “Common Test Conditions for Screen Content Coding,” JCTVC-R1015, July 2014.
- [5] G. Bjøntegaard, “Calculation of average psnr differences between rd-curves,” VCEG-M33, April 2001.