

## 平均値座標に基づいた適応イントラ予測方式

望月 慎太<sup>†</sup> 松田 一朗<sup>†</sup> 深井 寛修<sup>†</sup>  
伊東 晋<sup>†</sup> 河村 圭<sup>††</sup> 内藤 整<sup>††</sup>

本稿では、DCTなどのブロック単位の処理に基づいた画像符号化方式に適用可能な、新しいイントラ予測手法を提案する。動画画像符号化標準のH.264/AVCやHEVCに規定されているイントラ予測方式では、予測に用いる参照画素の配置が固定されており、予測手順も比較的単純な処理で構成されるため、多数の参照画素値の重みづけによって滑らかな予測値を生成することが困難である。これに対し、提案手法では予測に用いる参照画素群の重みを平均値座標に基づいて画素ごとに算出している。このため、参照画素の配置に関する自由度が高く、ブロックごとの符号化順序を変更した場合であっても様々なタイプのイントラ予測を適用することが可能である。

### An Adaptive Intra Prediction Method Based on Mean Value Coordinates

SHINTA MOCHIZUKI<sup>†</sup> ICHIRO MATSUDA<sup>†</sup> HIRONOBU FUKAI<sup>†</sup>  
SUSUMU ITOH<sup>†</sup> KEI KAWAMURA<sup>††</sup> SEI NAITOH<sup>††</sup>

This paper proposes a new intra prediction method which can be used with block-based image coding techniques such as DCT. In the conventional intra prediction methods specified in H.264/AVC and HEVC, a predicted value at each pel is typically calculated from a few reference pels located at fixed positions. Therefore, it is difficult to generate a smooth predicted image which could be obtained by weighting a large number of the reference pels. On the other hand, our method calculates prediction coefficients for all of the reference pels according to mean value coordinates of the respective pels to be predicted. This procedure imposes no restriction on disposition of the reference pels and, as a result, various types of intra prediction can be performed even if the coding order of blocks is adaptively changed.

#### 1. はじめに

DCTなどのブロック単位の処理に基づいた画像符号化方式の性能改善策として、空間方向の相関を利用したイントラ予測の技術が注目されている。動画画像符号化の標準方式であるH.264/AVCでは、当該ブロック近傍の再生画素値を用いた最大9通りの予測方式が規定されており、これらを適応選択することで符号化対象信号の冗長度を削減している[1]。また、次世代の標準方式であるHEVCでは、予測の種類が最大35通りに増強される予定である[2]。しかし、これらの方式では予測に用いる参照画素の配置が符号化対象ブロックの左または上方に固定されており、予測手順も特定方向の参照画素値を外挿するといった比較的単純な処理で構成されている。このため、ブロックごとの符号化順序の変更に対処できず、多数の再生画素の重みづけによって滑らかな予測値を生成することも困難である。本稿では、参照画素の配置に関する制約を緩和し、予測対象画素との位置関係に応じた適切な重み係数を決定できるようにするために、平均値座標(Mean Value Coordinates)に基づいたイントラ予測方式について検討する。

#### 2. 平均値座標に基づいたイントラ予測

平均値座標は、三角形の各頂点に対する重みで定義される重心座標を、多角形に拡張したものである[3]。反時計回りに整列した $m$ 角形の頂点群を $p_0, p_1, \dots, p_{m-1}$ と表記したとき、任意の点 $x$ に関する平均値座標 $\lambda_i(x)$ は次式で表せる。

$$\lambda_i(x) = \frac{w_i}{\sum_{j=0}^{m-1} w_j} \quad (i = 0, 1, \dots, m-1), \quad (1)$$

$$w_i = \frac{\tan(\alpha_{i-1}/2) + \tan(\alpha_i/2)}{\|p_i - x\|} \quad (2)$$

但し、 $\alpha_i$ は点 $x$ から頂点 $p_i$ と $p_{i+1}$ に向かう線分同士のなす角である。

本稿では、 $8 \times 8$ 画素のブロック単位でDCTなどの符号化処理を適用することを前提に、平均値座標に基づいたブロックベースのイントラ予測手法を提案する。具体的には、図1のように当該ブロック( $8 \times 8$ 画素)の周辺に配置した参照画素群を多角形の頂点とみなし、各参照画素に対する予測の重み(予測係数)を平均値座標に基づいて算出する。これらの重みを用いて各参照画素の再生値 $f(p_i)$ を加重平均することで、ブロック内の画素 $x$ の予測値を得る[4]。

$$\hat{f}(x) = \sum_{i=0}^{m-1} \lambda_i(x) \cdot f(p_i) \quad (3)$$

上式は、各頂点の値を境界条件とするラプラス方程式の近似解を与えることが知られており、滑らかな補間値を求め

<sup>†</sup> 東京理科大学 理工学部 電気電子情報工学科  
Department of Electrical Engineering, Faculty of Science and Technology,  
Tokyo University of Science  
<sup>††</sup> (株)KDDI 研究所  
KDDI R&D Laboratories Inc.

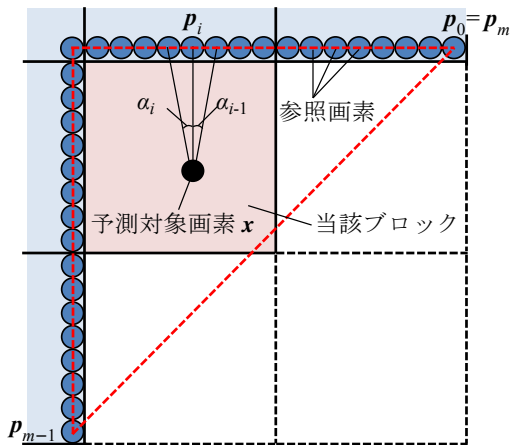


図 1 平均値座標に基づいた予測係数の算出

Fig 1 Calculation of prediction coefficients based on mean value coordinates.

るアルゴリズムとして画像処理を始めとする様々な分野への応用が検討されている[3].

### 3. 方向性予測への拡張

式(1), (2)からわかるように, 予測係数 $\lambda_i(x)$ の値は, 予測対象画素 $x$ と参照画素群 $p_0, p_1, \dots, p_{m-1}$ との相対的な位置関係のみに依存するため, それぞれの2次元座標が与えられれば, 予測対象画素 $x$ の位置に対応した予測係数の組を一意に決定できる. さらに, 予測係数の算出に先立って各座標に対して次式に示すような幾何変換を施しておくことにより, H.264/AVCやHEVCと同様な方向性を有する予測も容易に実現できる.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/a & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (4)$$

上式は, 図2に示すように原点を中心に回転を加えた後,  $x$ 軸方向の距離を $1/a$ に圧縮する操作に対応し,  $\theta$ 方向に位置する参照画素の影響を強める効果を与える. ただし, 隣接頂点の距離が離れているとき(図1の $p_{m-1}$ と $p_0$ に相当)や, 式(4)の幾何変換によって参照画素の配列が大幅に変化した場合は, 式(2)において角度 $\alpha_i$ が極端に大きくなることがある. これにより, 予測係数 $\lambda_i(x)$ が負になるなどの不都合が生じるため, 本稿では $\alpha_i$ の最大値を $\pi/4$ に制限している. 提案手法では角度 $\theta$ やパラメータ $a$ の値を複数用意することで, 原理的にはH.264/AVCや次世代標準のHEVC方式よりも多くの種類のイントラ予測を実現できると考えられる. 図1に示す参照画素群に周期的な値が与えられた場合について, 式(4)のパラメータ $\theta$ および $a$ の値を変化させて求めた予測画像の例を図3(a)に示す. ここで $a=1$ は方向性なしの場合を意味し, 比較のために同図(b)に示したHEVC方式のDC予測に類似した予測画像が得られていることがわかる. また, 方向性の強さを $a=50$ と設定し,  $\theta$ の値を $d=32$ 通り( $\pi/32$ 刻み)に変化させることで, HEVCのAngular

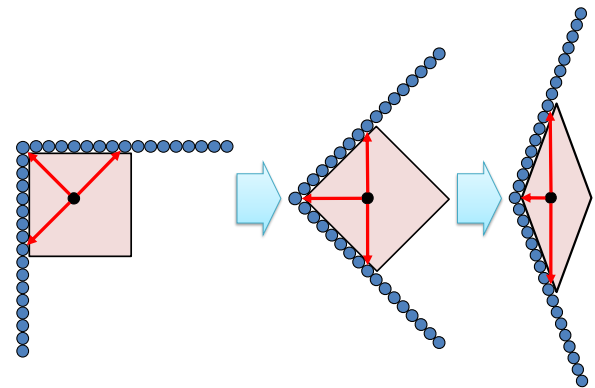
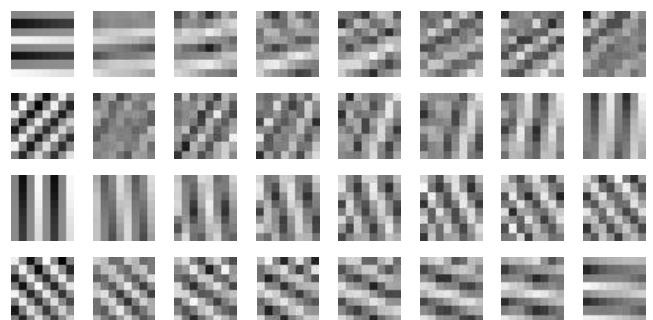


図 2 幾何変換の例

Fig 2 An Example of geometric transformation.



$a=1$  (方向性なし)

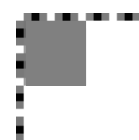


$a=50$  (方向性あり)

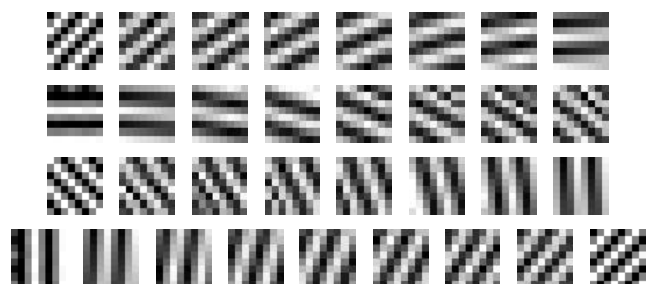
(a) 提案手法



Planar 予測



DC 予測



Angular 予測

(b) HEVC

図 3 予測画像の例

Fig 3 Examples of predicted images.

予測（33 方向）とほぼ同等の予測を実現している様子を  
 確認できる。

#### 4. 走査順序の変更による内挿予測の実現

提案手法は、参照画素群の配置に関して高い自由度を有  
 するため、符号化済みのブロックが離れた場所や、右や下  
 の方向に存在していても何ら問題が生じない。このことは、  
 符号化時のブロックの走査順序を変更することが容易である  
 ことを意味する。動画像符号化においては、フレームご  
 との符号化順序を変更することで、時間方向の内挿予測に  
 相当する両方向予測の適用が可能となり、全体の符号化効  
 率を改善できることが知られている。

そこで、空間方向のイントラ予測においても同様な内挿  
 予測の効果を実現するため、文献[5]のようにマクロブロッ  
 ク内に存在する複数のブロックを符号化する際の走査順序  
 を、適応的に切り替える手法について検討する。符号化対  
 象ブロックおよびマクロブロックのサイズを  $8 \times 8$  および  
 $16 \times 16$  画素とした場合、可能な走査順序の組み合わせは  
 $4! = 24$  通り存在するが、これらは回転、鏡像関係にあるも  
 のをまとめて図 4 のような「Z 型」、「U 型」、「X 型」の 3  
 種類に分類することができる。図 5 は、「Z 型」に属する 8  
 通りの走査順序について、可能となる参照画素配置の例を  
 示したものである。ここで、青色のブロックは符号化が終  
 了していることを示し、その境界に配置された小さな○印  
 が参照画素群の位置を表している。これらの参照画素群は、  
 「符号化対象ブロックの中心から周囲  $360^\circ$  を見渡した際  
 に、当該ブロックの辺から水平・垂直方向の距離が 1 ブロ  
 ック幅の範囲で最も近い符号化済み画素」という条件によ  
 って抽出したものである。例えば、図 5 (e)において、マ  
 クロブロック内で最初に符号化される右下のブロックでは、  
 距離の離れた参照画素を用いた外挿予測が適用されるため、  
 一般に予測精度は低下してしまう。一方、最後に符号化さ  
 れる左上のブロックでは、符号化対象ブロックの全周を取  
 り囲む参照画素群による内挿予測が可能となり、パラメー  
 タ  $\theta, a$  を適切に設定することで高精度な予測が期待でき  
 る。文献[5]では、符号化時のブロックの走査順序が図 5(a), (f)  
 の 2 通りに限定され、適用可能な予測モードも参照画素配  
 置に依存して決められていたが、提案方式ではこのような  
 制約がなく、どのような走査順序や参照画素配置であって  
 も、パラメータ  $\theta, a$  の値が与えられれば一意にブロック内  
 の予測値を生成することができる。

#### 5. シミュレーション実験

モノクローム静止画像を対象として、 $8 \times 8$  画素のブロッ  
 ク単位で  $d+1$  通りの予測方式（方向性なし 1 通り+方向性  
 あり  $d$  通り）を、また  $16 \times 16$  画素のマクロブロック単位で  
 $s$  通りの走査順序を、それぞれ 2 乗誤差規範で適応選択し  
 た際の予測性能を調査した。予測に用いる参照画素値は、

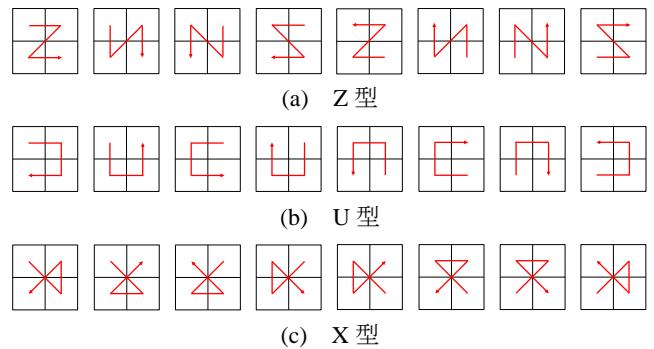


図 4 ブロックの走査順序  
 Fig 4 Block scan order.

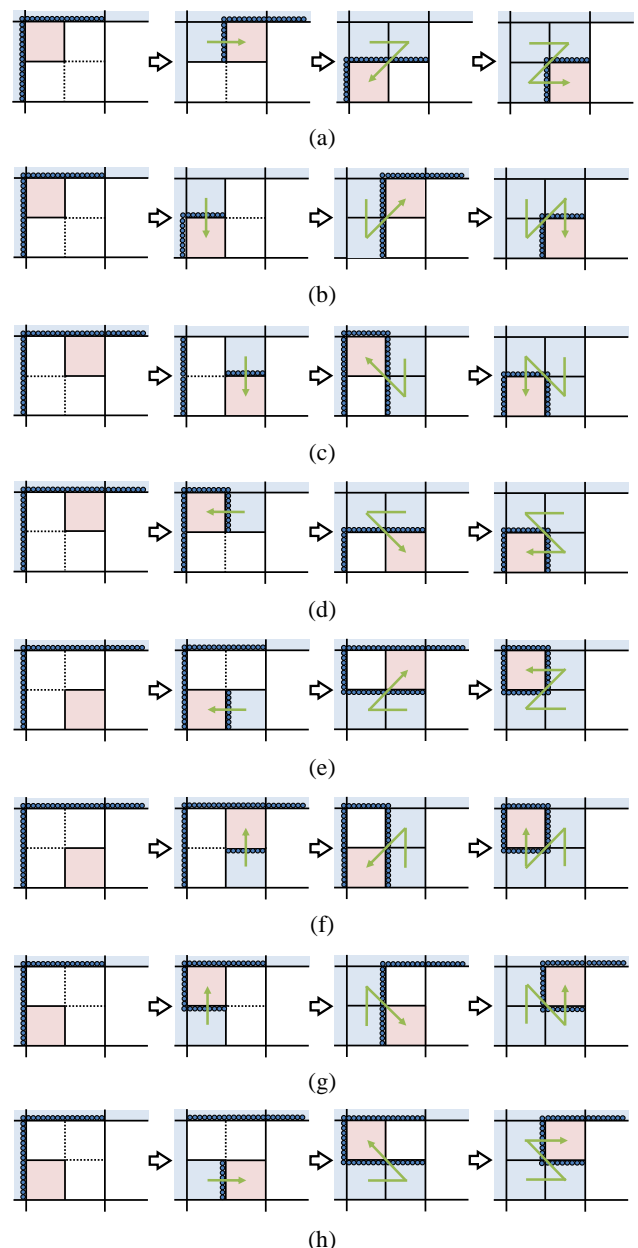


図 5 参照画素配置の例 (Z 型)  
 Fig 5 Examples of reference pel disposition (Z type).

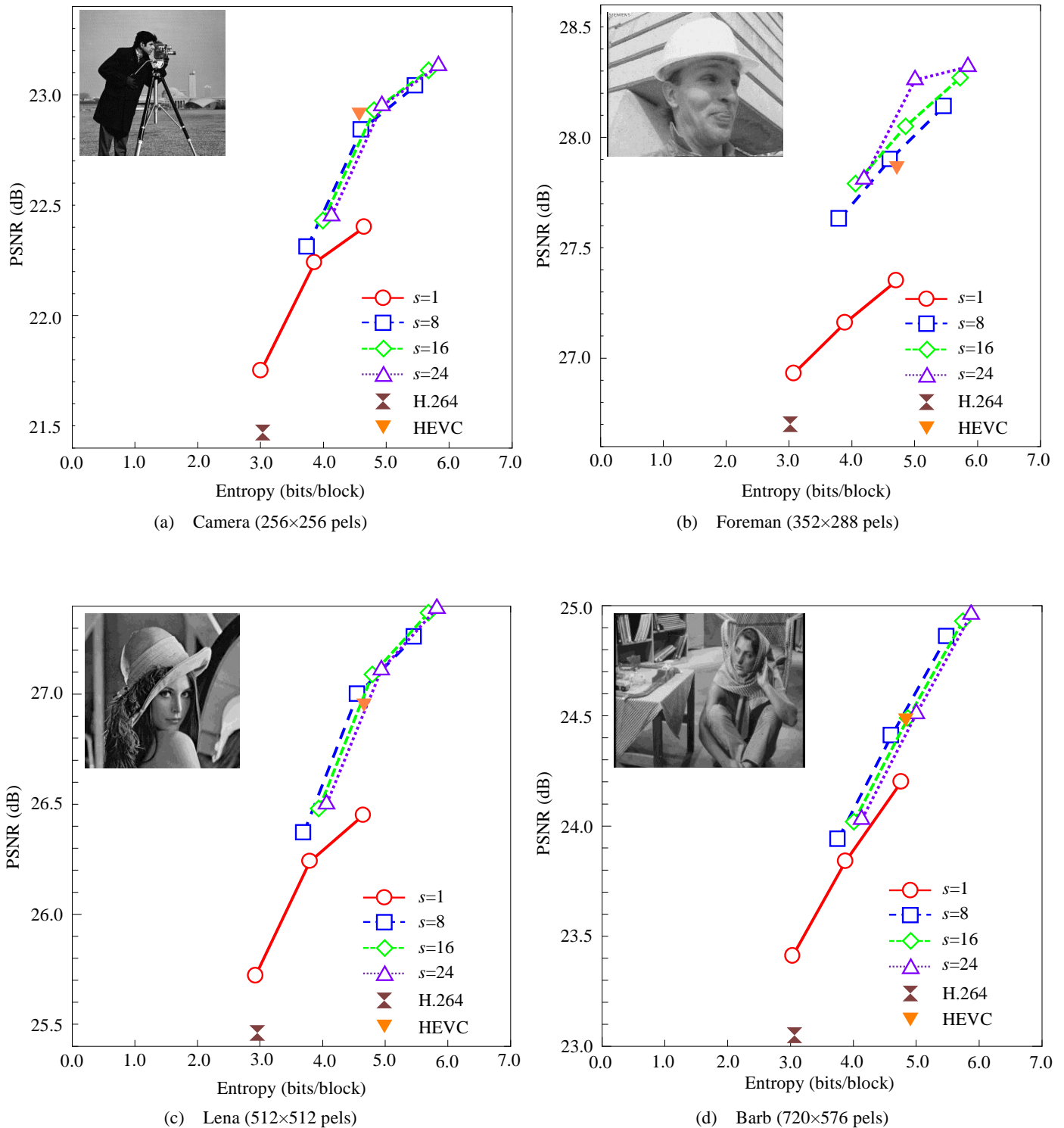
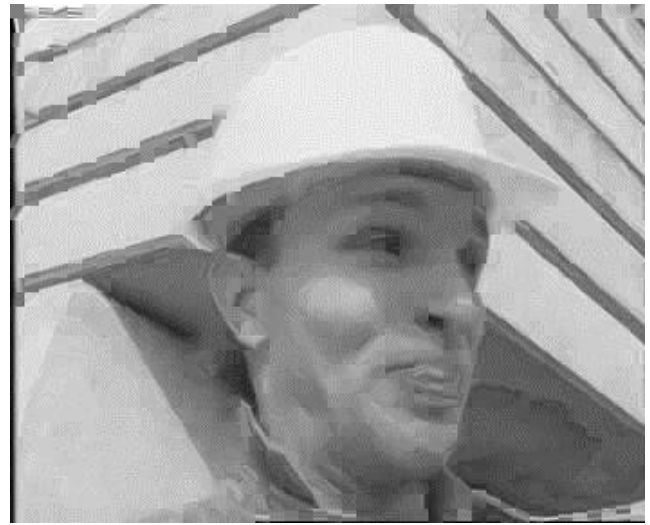


図 6 予測画像の SN 比と 8×8 画素のブロックあたりに必要な付加情報の関係

Fig 6 Relationship between PSNRs of the predicted images and side-information needed for each 8×8 block.



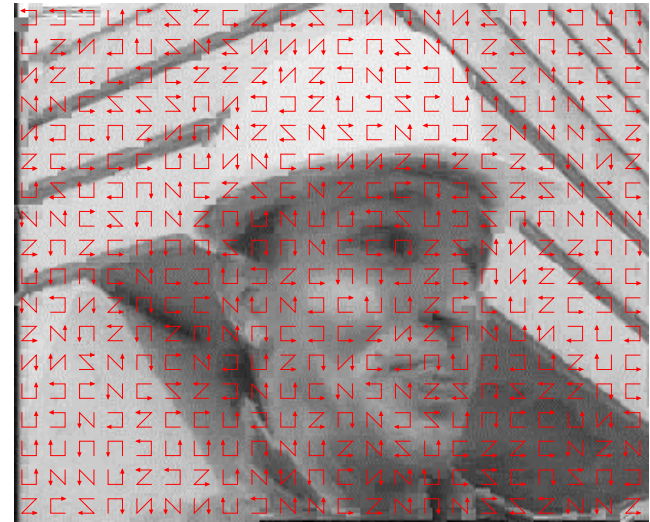
(a) H.264 (26.7dB)



(b) HEVC (27.9dB)



(c) 提案手法 ( $d=16, s=16, 28.1\text{dB}$ )



(d) (c)における走査順序の選択結果

図 7 予測画像の例 (Foreman)

Fig 7 Examples of predicted images (Foreman).

予測残差信号の DCT 係数をステップ幅 20 で一様量子化して生成したものを使用した。図 6 のグラフにおいて縦軸は予測画像の SN 比、横軸は予測方式および走査順序の適応選択に要する付加情報を、 $8 \times 8$  画素あたりのエントロピーで見積もった結果を表している。方向性予測 ( $a=50$ ) における  $\theta$  のとり得る値は  $\pi/d$  ( $d=8, 16, 32$ ) 刻みとした。また、走査順序の組み合わせを  $s=8, 16, 24$  とした際は、図 4 に示す「Z 型」、「U 型」、「X 型」の順に選択候補を追加している。これより、外挿予測のみが適用される場合 ( $s=1$ ) と比較して、走査順序の変更によって内挿予測が可能になった場合 ( $s \geq 8$ ) の予測画像の SN 比が大幅に向上している様子を確認できる。また、 $8 \times 8$  画素のブロック単位で H.264 や HEVC のイントラ予測方式を適応選択した場合と比較すると、H.264 (9 通り) に対する提案手法の優位性は明らかであり、HEVC (35 通り) に対しても画像 Camera を除いて同等以上の予測効率を達成していることがわかる。

なお、この実験では画素ごとに式(1)~(3)の計算を実数精度で行っているため、H.264 や HEVC のイントラ予測と比べて提案手法の計算時間は大幅に増大している。さらに、符号化側ではマクロブロックごとに  $(d+1) \times 4 \times s$  通りの予測を試行する必要があるため、実用化に際しては、演算量の低減が課題である。これについては、各参照画素に対する予測係数を事前に計算したり、適応選択の効果が顕著である走査順序を予め絞り込むといった対策が有効であると考えられる。最後に、画像 Foreman について、 $d=16, s=16$  と設定した際の提案手法の予測画像を、H.264、HEVC のイントラ予測の結果と合わせて図 7 に示す。内挿予測の効果により、左側の背景部における斜めのエッジの再現性が H.264 や HEVC のイントラ予測の結果に比べて向上している様子を確認できる。

## 6. むすび

本稿では、平均値座標に基づいた新しいイントラ予測手法について検討した。提案手法は、ブロックの走査順序や参照画素の配置に関する制約がなく、適当な幾何変換を併用することで様々なタイプの予測方式を実現できるという高い自由度を有している。今後は、演算量の削減の工夫や、付加情報と予測性能のトレードオフについてさらに検討を加えると共に、予測残差信号のエントロピー符号化を実装し、最終的な符号化効率の評価の観点から提案手法の有効性を評価する予定である。

## 参考文献

- 1) ITU-T Rec. H.264 | ISO/IEC 14496-10 AVC, "Advanced Video Coding for Generic Audiovisual Services," 2003.
- 2) JCT-VC, "High Efficiency Video Coding (HEVC) Text Specification Draft 6", Doc. JCTVC-H1003, Feb. 2012.
- 3) Z. Farbman, G. Hoffer, Y. Lipman, D. Cohen-Or, and D. Lischinski, "Coordinates for Instant Image Cloning," ACM Tran. Graphics, vol.28, no.3, pp.67:1-67:9, Aug. 2009.
- 4) 望月慎太, 松田一朗, 青森久, 伊東晋, "画像符号化のための平均値座標に基づいたイントラ予測方式", 2011 年映像情報メディア学会冬季大会講演予稿集, No.1-1, Dec. 2011.
- 5) T. Shiodera, A. Tanizawa, and T. Chujoh, "Block Based Extra/Inter-Polating Prediction for Intra Coding," Proc. of 2007 IEEE International Conf. on Image processing (ICIP 2007), vol.6, pp.445-448, Sep. 2007.