

# ロッシェン符号化とロスレス符号化を相互接続する カラー画像のためのトランスコーディング

岩橋 政宏<sup>†</sup>

貴家 仁志<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>長岡技術科学大学 工学部 電気系  
〒940-2188 新潟県 長岡市 上富岡町 1603-1

<sup>‡</sup>首都大学東京 システムデザイン学部  
〒191-0065 東京都 日野市 旭が丘 6-6

**あらまし** 本報告では、ロスレス符号化とロッシェン符号化の相互接続に適した、カラー画像のためのトランスコーディングを提案する。白黒画像に対するトランスコーディングは、可逆ウェーブレット変換により実現される。これをカラー画像に適用するには、非可逆色変換と互換な可逆色変換が必要となる。従来の可逆色変換では、ロスレスを保証できる代わりに、互換性が低く実用的ではなかった。本報告では、可逆色変換におけるスケールリングを、ロッシェン符号化における量子化に組み込むことで、ロスレス符号化時の性能を維持しつつも、トランスコーディング時の再生画像の画質を飛躍に向上させる。実験の結果、エントロピとして 0.1 [bpp]程度は圧縮性能が低下するが、PSNR としては 58 [dB]程度の高画質を実現できることが確認された。

**キーワード** ロスレス、可逆、非可逆、符号化、画像

## Transcoding between Lossy Coding and Lossless Coding for Color Images

Masahiro IWAHASHI<sup>†</sup> and Hitoshi KIYA<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>Nagaoka University of Technology Nagaoka-shi, Niigata, 940-2188 Japan

<sup>‡</sup>Tokyo Metropolitan University Hino-shi, Tokyo, 191-0065 Japan

**Abstract** This report proposes a new transcoding between a lossless encoder and a lossy decoder for color image signals. It requires a reversible color transform (Rev.CT) with compatibility to an irreversible color transform (Irrv.CT). An existing Rev.CT guarantees lossless reconstruction of signals. However its compatibility to an Irrv.CT is not high enough for practical use. This is because a scaling is excluded from the Rev.CT for lossless coding. In this report, we embed the scaling into quantization in lossy decoding to realize both of lossless coding and transcoding with high compatibility. It is experimentally confirmed that image quality is improved by more than 37.6 [dB]. We also evaluate its performance based on various criteria including, bit-extension, word-length of signals and coefficients.

**Keyword** coding, transform, reversible, coding

### 1. はじめに

デジタル画像信号の高能率符号化としては、JPEG や MPEG 等の、再生画像の波形は若干歪むが、高い圧縮率を達成できるロッシェン符号化が広く普及している[1]。一方、オリジナル信号の保存においては、JPEG-LS や DPCM 等の、圧縮率は低いが、波形歪みが全く生じないロスレス符号化が有効となる[2]。近年、ロッシェン符号化と互換性のあるロスレス符号化に関する研究も、報告されている[3]。

文献[4]では、MPEG-2 と H.264 の間でのトランスコーディングが、また、文献[5]では、離散コサイン変換 (DCT) と離散ウェーブレット変換

(DWT) の間でのトランスコーディングが、それぞれ報告された。ロスレス符号化とロッシェン符号化の間では、可逆 DCT や[6]、可逆 DWT を用いることで[7]、白黒画像に対しては、実用的なトランスコーディングが実現できる。しかし、これらをカラー画像に適用するには、ロッシェン符号化において利用される色変換との互換性が高い、可逆な色変換 (Reversible Color Transform: Rev.CT) が必要となる。

従来の Rev.CT としては、4 段のリフティングに基づく方法が提案されている[8,9]。しかし、正規性や直交性などの制約条件のため、高い互換性が実現できない。このような制約を受けない

Rev.CTとしては、3段のリフティングに基づく方法が提案されている[10]。この方法では、ロッシー符号化との互換性を保持するためには、スケーリングが必要である。しかし、ロスレス再生を保証するため、このスケーリングが取り除かれている (Non-Scaled)。その結果、再生画像の画質が劣化し、互換性が低く実用的ではない。

本報告では、ロスレス符号化とロッシー符号化の相互接続に適した、カラー画像のためのトランスコーディングを提案する。これにより、ロスレス符号化 (可逆な順変換) による圧縮データを、ロスレス復号 (可逆な逆変換) することで、元のカラー画像をロスレスに再生でき、なおかつ、ロッシー復号 (非可逆な逆変換) により再生しても、歪みの少ない高画質を実現できる。

提案法は、従来の Rev.CT から取り除かれたスケーリングを、ロッシー復号時の量子化に組み込むことで実現される。提案法により、ロスレス符号化の性能を維持しつつも、トランスコーディング時 (ロッシー復号による再生時) の再生画像の画質を、従来法に比べて飛躍に向上できる。

本報告の実験では、再生画像の画質を、PSNRにより測定する他、係数値と信号値それぞれの丸め誤差に対する影響や、ビット拡張といった種々の尺度に基づき、提案法を多角的に評価する。

## 2. ロスレス符号化とロッシー符号化とのトランスコーディング

従来法によるトランスコーディングの手順をまとめ、その問題点を述べる。

### 2.1. JPEG 2000 における非可逆な色変換および可逆な色変換

JPEG 2000 (JP2K) のロッシー符号化では、整数値として与えられたカラー信号  $R, G, B$  は、行列  $\mathbf{A}$  により、

$$\begin{bmatrix} Y & C_r & C_b \end{bmatrix}^T = \mathbf{A} \cdot \begin{bmatrix} R & G & B \end{bmatrix}^T \quad (1)$$

但し、

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.5 & -0.419 & -0.081 \\ -0.169 & -0.331 & 0.5 \end{bmatrix} \quad (2)$$

として  $Y, C_r, C_b$  に変換される。更に、9-7 DWTにより複数の周波数帯域に分割される。これによ

り、信号値は実数となるので、エントロピ符号化の前に整数化する必要がある。結果、量子化を行わない場合であっても、逆変換を経て得られる再生信号は、元の値とは完全に一致しない。このことから、式(1)は非可逆な色変換 (Irreversible CT: Irrv.CT) と呼ばれる。

一方、JP2K のロスレス符号化では、色信号には以下の Rev.CT:

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_r \\ C_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{round}[(R+2G+B)/4] \\ R-G \\ B-G \end{bmatrix} \quad (3)$$

が適用される。この場合、 $\text{round}[x]$ で表記される信号値  $x$  の整数化にもかかわらず、元の信号が歪み無く完全に再生される。その後、可逆な 5-3 DWT を適用することで、ロスレス符号化が可能となる。

### 2.2. ロスレス符号化とロッシー復号との間でのトランスコーディング

Fig.1 は、ロスレス符号化とロッシー復号のトランスコーディングを示す。可逆な順変換から構成されるロスレス符号化の圧縮データが、非可逆な逆変換から構成されるロッシー復号により再生される。復号時に量子化を行わない場合に、再生信号  $R', G', B'$  の波形が、元の信号  $R, G, B$  の波形と出来るだけ近い (歪んでいない) ことが求められる。

この方式では、量子化を行わない場合であっても、入力信号  $R, G, B$  と再生信号  $R', G', B'$  が大幅に異なってしまう問題がある。その一因は、符号化時の可逆 5-3 DWT と、復号時の非可逆 9-7 DWT との、フィルタの周波数特性の違いにある。これは、文献[7]に示される可逆 9-7 DWT を適用することで解決できる。他の一因は、式(3)を、

$$\begin{bmatrix} Y & C_r & C_b \end{bmatrix}^T = \mathbf{B} \cdot \begin{bmatrix} R & G & B \end{bmatrix}^T + \text{Error} \quad (4)$$

但し、

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0.25 & 0.5 & 0.25 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

と表現した際の  $\mathbf{A}\mathbf{B}^{-1} \neq \mathbf{I}$  が挙げられる。本報告では、この色変換の特性の違いに起因する問題について議論する。

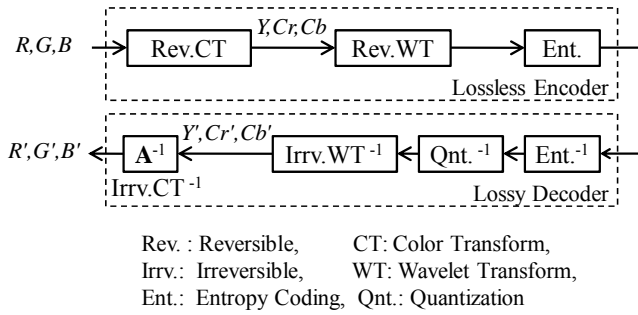


Fig.1 ロスレス符号化とロッシー復号とのトランスコーディング

Table I JPEG 2000 の可逆な色変換の性能

Image	Entropy Decrease [bpp]	Bit Extension [bit]	PSNR [dB]
Lenna	0.40	0.10	22.0
Mandrill	0.36	0.23	18.0
Pepper	-0.10	0.54	13.4
average	<b>0.22</b>	<b>0.29</b>	<b>17.8</b>

Table I には、式(3)の Rev.CT の出力に、式(2)の Irrv.CT の逆変換  $A^{-1}$  を適用して得られた再生信号の PSNR を示す。平均 17.8 [dB] と非常に大きな誤差が発生しており、両者の互換性が低いことがわかる。

表中のエントロピ減少 (entropy decrease) は、変換の前後における各成分の平均エントロピの減少分を示し、値が大きいほど圧縮性能が高い。また、ビット拡張 (bit extension) は、変換内部での信号値の整数ビットの増加分を示し、値が小さいほど信号値のオーバーフローの確率が低い。本報告では、互換性の他、これらの尺度により Rev.CT を多角的に評価する。

### 2.3. 従来の Non-Scaled 可逆色変換

Fig.2 は、文献[10]に報告された、スケーリングが除かれた可逆な色変換 (Non-scaled Rev.CT: NS-Rev.CT) を示す。置換行列  $E_1$ ,  $E_2$  はそれぞれ、以下の 6 通り :

$$Q_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, Q_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, Q_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$Q_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, Q_5 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, Q_6 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

のいずれか 1 つである。この処理は、式(4)と同様、

$$[Y^* \ C_r^* \ C_b^*]^T = E_2 C E_1 [R \ G \ B]^T + Error \quad (7)$$

但し、

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ c_5 & c_6 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ c_3 & 1 & c_4 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & c_1 & c_2 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$D = \text{diag}[d_1 \ d_2 \ d_3] \quad (9)$$

$$E_2 D C E_1 = A \quad (10)$$

と表現できる。Table II にはパラメータの値をまとめる。特に、 $|d_1| < 1$ ,  $|d_2| < 1$  となっていることに注意する。この場合、可逆な DWT における整数化の影響を受けて、ロスレス符号化を実現できない。このために、Fig.2 の構成からは、D によるスケーリングが除かれている。結果、トランスコーディング時の互換性が、Table III に示されるように、平均 18.5 [dB] と、非常に低くなり、実用的ではないという問題がある。

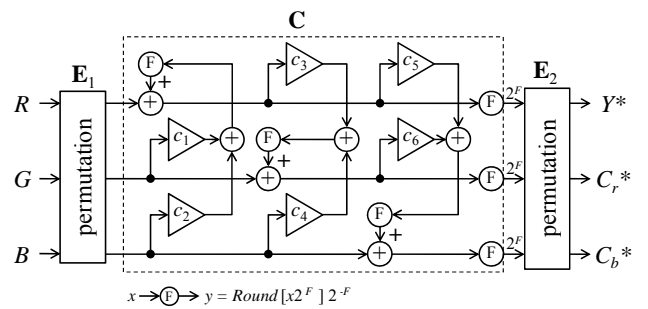


Fig.2 従来の可逆色変換 (Non-scaled Rev.CT)

Table II Non-Scaled Rev.CT の諸パラメータ

$c_1 = -0.337$	$c_2 = -0.663$	$c_3 = -0.172$	$c_4 = -1.000$
$c_5 = 0.172$	$c_6 = 0.337$	$d_1 = 0.500$	$d_2 = 0.473$
$d_3 = 1.000$	$E_1 = Q_6$		$E_2 = Q_3$

Table III 従来の Non-Scaled Rev.CT の性能

Image	Entropy Decrease [bpp]	Bit Extension [bit]	PSNR [dB]
Lenna	0.35	0.09	22.6
Mandrill	0.17	0.40	16.7
Pepper	-0.07	0.43	16.2
average	<b>0.15</b>	<b>0.31</b>	<b>18.5</b>

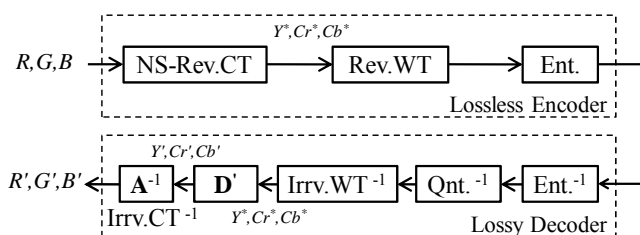


Fig.3 提案するトランスコーディング (基本処理)

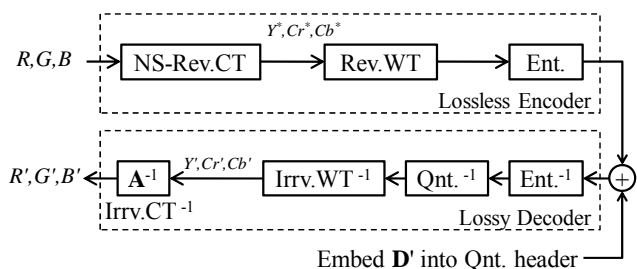


Fig.4 提案するトランスコーディング (実現例)

### 3. 提案するトランスコーディング

Fig.3 には、提案法の処理手順を示す。ここでは、Non-scaled Rev.CT から除かれた  $\mathbf{D}$  によるスケールリングを、

$$\mathbf{D}' = \text{diag}[d_1' \ d_2' \ d_3'] = \mathbf{E}_2 \mathbf{D} \mathbf{E}_2^{-1} \quad (11)$$

として、ロッキー符号化における復号側に導入している。これにより、式(7),(10),(11)から、

$$\begin{aligned} [Y' \ C_r' \ C_b']^T &= \mathbf{D}' [Y^* \ C_r^* \ C_b^*]^T \\ &= (\mathbf{E}_2 \mathbf{D} \mathbf{E}_2^{-1}) (\mathbf{E}_2 \mathbf{C} \mathbf{E}_1) [R \ G \ B]^T \\ &= (\mathbf{E}_2 \mathbf{D} \mathbf{C} \mathbf{E}_1) [R \ G \ B]^T = \mathbf{A} [R \ G \ B]^T \end{aligned} \quad (12)$$

となり、更に非可逆な色変換の逆変換  $\mathbf{A}^{-1}$  を適用することで、元の  $R, G, B$  を、より正確に再生できる。

Fig.4 に示す様に、このスケールリングは、ロッキー復号に備えられた逆量子化の量子化ステップ・サイズの変更により実現できる。そのため、何ら特別な処理を必要としない利点がある。以上、提案法により、可逆再生を保証しつつも、互換性の向上が可能となった。

### 4. 実験結果

以下、提案法による互換性向上の効果を確認する。Table IV には、全 36 通りの組み合わせのうち、互換性の高い代表的な 7 通りをまとめる。方法#1 は、2.3. に述べた従来の Non-scaled Rev.CT である。

Fig.5 には、互換性の評価結果を示す。Fig.2 において  $F=0$  であり信号値は整数化されている。式(8),(9)の係数値の小数部 (係数語長) が 64 [bit] と長い場合は、方法#5,6,7 が良い。これらにより、Table III の従来法の結果に比べ、互換性が 40 [dB] 程度も改善された。

係数語長が 4 [bit] と短い場合は方法#1,4 が良い。これらは乗算係数に対する感度が低く、4 [bit] であっても 40 [dB] の画質を維持できる。

Fig.6 には、係数語長は 64 [bit] として、信号値の小数部の語長  $F$  (信号語長) を変化させた場合を示す。信号語長に関係なく方法#5,6,7 で高画質を実現できる。但し、エントロピは  $F$  [bit] 増加して圧縮性能は劣化する。

Fig.7 には、 $F=0$  でのビット拡張の評価結果を示す。内部演算での overflow の発生確率は、方法#7 が最も悪い。それ以外は画像に依って異なる。なお、エントロピ減少については、全ての方法で Table III と同じであった。Table I の JP2K の Rev.CT に比べ、圧縮効率率は 0.1 [bpp] 程度劣化する。

以上、提案法により、トランスコーディングにおける互換性を飛躍的に向上できることが確認された。

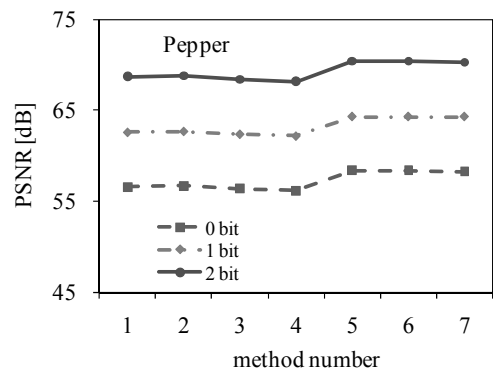
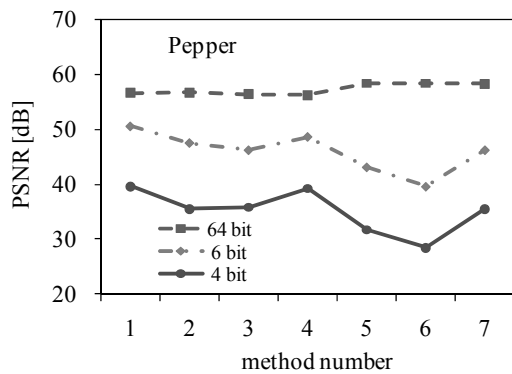
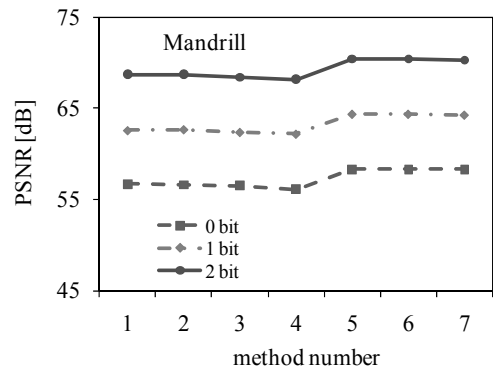
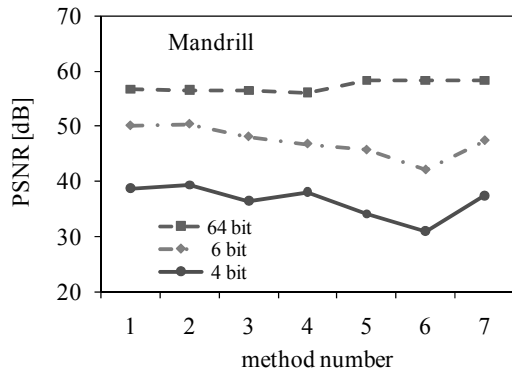
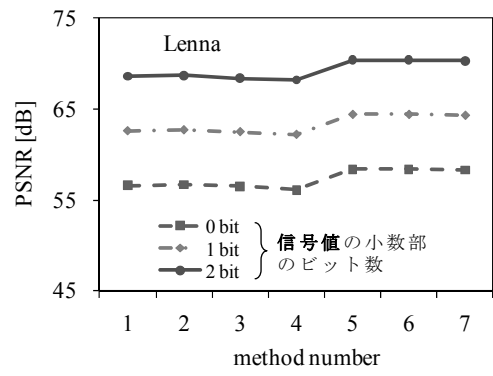
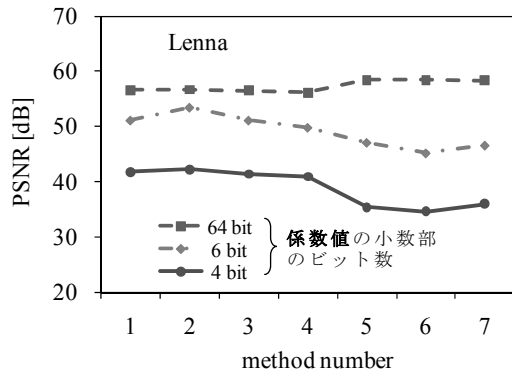


Fig.5 係数値の小数部の丸めによる画質劣化

Fig.6 信号値の小数部の丸めによる画質劣化

Table IV 従来の Non-Scaled 可逆色変換。  
文献[10]に示されていない他の実現形態。

#	permutation		Scaling Coefficients		
	$E_1$	$E_2$	$d_1'$	$d_2'$	$d_3'$
1	$Q_6$	$Q_3$	1	0.473	0.5
2	$Q_4$	$Q_6$	1	0.5	0.473
3	$Q_3$	$Q_3$	1	-0.473	0.5
4	$Q_1$	$Q_6$	1	0.5	-0.473
5	$Q_2$	$Q_2$	1	-0.419	0.564
6	$Q_2$	$Q_6$	1	-0.419	-0.564
7	$Q_2$	$Q_1$	0.587	0.713	0.564

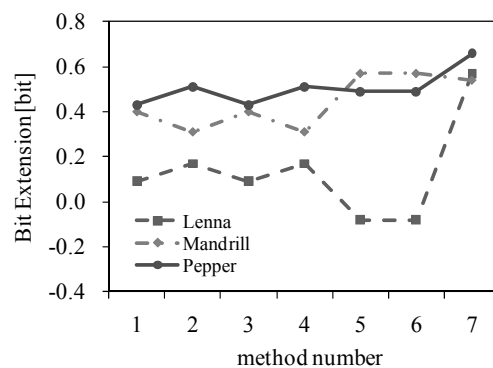


Fig.7 従来の Non-Scaled 可逆色変換による  
信号値の整数部の増分

## 5. 結論

本報告では、ロスレス符号化とロッシー復号の相互接続に適した、色画像のためのトランスコーディングを提案した。JPEG 2000 を例として、可逆な色変換におけるスケーリングを、ロッシー復号における量子化に組み込んだ。これにより、ロスレス符号化時の性能を維持しつつも、トランスコーディング時の再生画像の画質の、飛躍な向上が可能となった。実験の結果、エン트로ピでは 0.1 [bpp] 程度、圧縮性能が低下するものの、PSNR では 58 [dB] 程度の高画質を実現できることが確認された。

本報告は、JPEG 2000 の色変換を例としているが、これ以外の色変換に対しても同様に適用できる。

## 6. 参考文献

- [1] JTC1/ SC29, "Information technology -- Digital compression and coding of continuous-tone still images: Requirements and guidelines", ISO/IEC 10918-1, 1994.
- [2] M. Weinberger, G. Seroussi, G. Sapiro, "The LOCO-I Lossless Image Compression Algorithm: Principles and Standardization into JPEG-LS," IEEE Trans. Image Processing, vol. 9, no. 8, pp. 1309–1324, Aug. 2000.
- [3] S. Chokchaitam, M. Iwahashi, S. Jitapunkul, "A New Unified Lossless/Lossy Image Compression based on A New Integer DCT," IEICE Trans. on Fundamentals, E88-D, no.7, pp.1598-1606, July 2005.
- [4] S. Yeping, J. Xin, A. Vetro, S. Huifang, "Efficient MPEG-2 to H.264/AVC intra transcoding in transform-domain", IEEE ISCAS, vol.2, no.23-26, pp.1234-1237, May 2005.
- [5] Po-Chin Hu, et.al., "A wavelet to DCT progressive image transcoder," IEEE ICIP, vol.1, no.10, pp.968-971, 2000.
- [6] Vladimir Britanak, P. C. Yip, K. R. Rao, "Discrete Cosine and Sine Transforms: General Properties, Fast Algorithms and Integer Approximations," Academic, Oct.2006.
- [7] M. Iwahashi, H. Kiya, "Non Separable 2D Factorization of Separable 2D DWT for Lossless Image Coding," IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), no.SA.L1.L15, pp.17-20, Nov. 2009.
- [8] Soo-Chang Pei, Jian-Jiun Ding, "Reversible Integer Color Transform," IEEE Trans. Image Processing, Vol.16, Issue 6, pp. 1686- 1691, June 2007.
- [9] M.Iwahashi, K.Oguni, "Three Dimensional Integer Rotation Transform and Improvement of its Compatibility," IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), pp.2205 - 2208, May 2009.
- [10] Soo-Chang Pei, Jian-Jiun Ding, "Improved Reversible Integer to Integer Color Transforms," IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), pp.473-476, Nov. 2009.