

I-014

# クロマフォーマットと映像符号化効率の関係に関する一検討 On Coding Performance Comparison between 4:4:4 Coding and 4:2:0 Coding

関口 俊一 山岸 秀一 山田 悦久 浅井 光太郎 村上 篤道†

Shun-ichi Sekiguchi, Shuichi Yamagishi, Yoshihisa Yamada, Kohtaro Asai, Tokumichi Murakami

## 1. はじめに

3原色信号を間引きせずにサンプリングする映像信号フォーマットを4:4:4信号と呼ぶ。4:4:4信号は画像のテクスチャを表現する輝度情報だけでなく色情報を損失なく表現できる信号フォーマットであるが、輝度信号に比べて色差成分に対する信号劣化の視認性が低いことから、従来のMPEG、H.26x等の映像符号化標準では、輝度サンプルに対して色差サンプルを間引いたYUV4:2:0信号を符号化対象信号として採用してきた。一方、近年のデジタルAV機器の技術的進展に伴い、民生向けの映像撮像・表示系においてもモバイルから大画面薄型テレビに至るまでデジタルRGB信号をドットバイドットで扱う系にシフトしてきており、コンテンツの色再現性が機器性能上の重要なファクタとなってきた。

また、4:4:4信号はデジタルシネマ等、業務用途向けを中心に近年急速に注目を集めており[1]、MPEG-4 AVC/H.264規格においても、4:4:4信号の直接符号化が可能な業務用プロファイル(High 4:4:4 profile)が追加された[2]。本稿では、同High 4:4:4 profileを用いて、民生機器で用いられる映像解像度、ビットレート条件で4:4:4信号を符号化した性能について、YUV4:2:0符号化性能との比較により評価を行った。YUV4:2:0符号化にはMPEG-4 AVC/H.264 High profileを用いた。実験の結果、現在民生向けに用いられるコーデック運用条件において、4:4:4信号で直接符号化を行っても十分に実用的なレートひずみ性能が得られることを確認したので報告する。

## 2. 実験の概要

まず、RGB 4:4:4, 8bits/pel, HDTV(1920x1080pel)の原信号から、SDTV, SIF解像度の原信号を生成した。

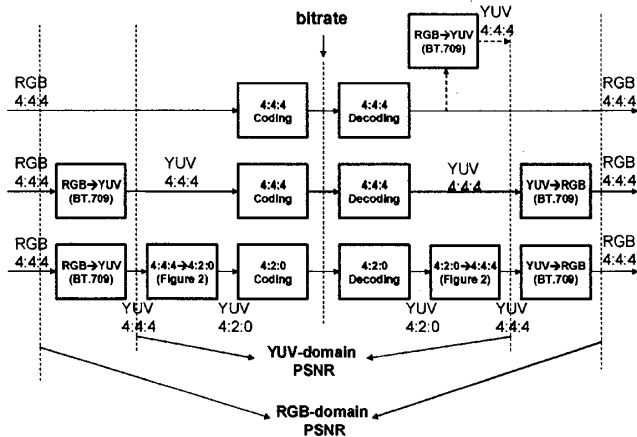


図1 評価手順の概要

各解像度のRGB4:4:4原信号について、YUV変換によりYUV4:4:4信号を、さらに色差信号のダウンサンプルによってYUV4:2:0信号を生成し、MPEG-4 AVC/H.264 High4:4:4 Predictive Profile [2]でRGB/YUVの各4:4:4信号を、High ProfileでYUV4:2:0信号をそれぞれ符号化した(図1)。測定するPSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)は、色情報を含めた再現性の観点から、RGB 4:4:4信号領域において原信号に対して色成分ごとにPSNRを測定し、3成分の平均PSNRを用いた。このPSNR測定を行うため、YUV4:4:4信号の符号化画像に対してはRGB変換を施し、YUV4:2:0信号の符号化画像に対しては色差アップサンプルを行った後RGB変換を行った。RGB⇄YUV変換はBT.709に従い、色差ダウンサンプル、アップサンプルはMPEG-4 VM[3]の手順をベースに定めた方法により実行した(図2)。RGB⇄YUV変換によるRGB4:4:4領域での達成可能PSNRの上限は約53dB(RBG平均)で、概ね理論値と合致した[4]。一方、YUV 4:4:4⇄YUV 4:2:0変換によるYUV4:4:4領域での達成可能なPSNR上限はコンテンツ依存で変動し39-43dB、RGB⇄YUV変換も含めた全変換工程でのPSNR上限は36-42dBであった。このソースレベルでのPSNR損失は、YUV4:2:0の色再現性能限界を意味する。表1に実験のテスト条件を示す。

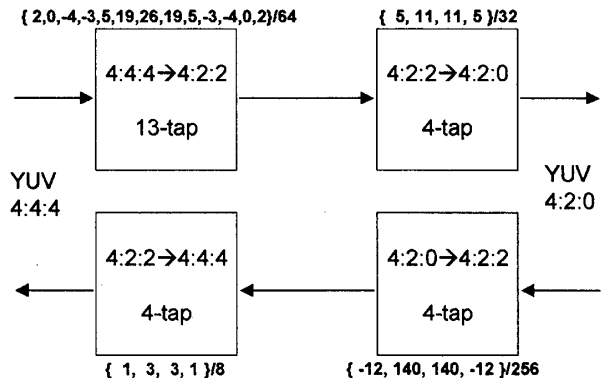


図2 色差ダウンサンプル・アップサンプル処理

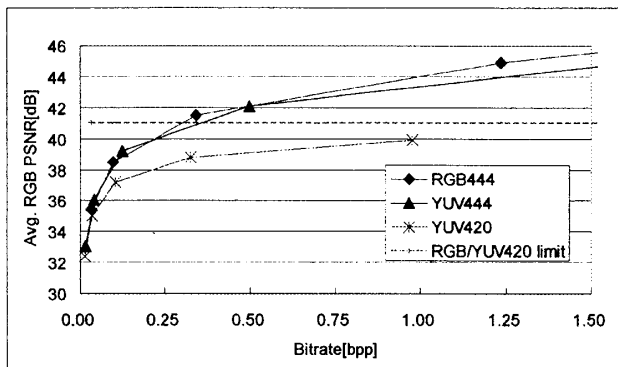
表1 テスト条件

符号化方式	4:4:4 : High 4:4:4 Predictive Profile 4:2:0 : High Profile
Qp 値	12, 18, 24, 30, 36
エントロピー符号化	CABAC
動き探索範囲	SIF/SDTV : ±32, HDTV : ±64
R-D最適化	ON
GOP構造	I/P pictureのみ(IPP), B pictureあり(IPB)

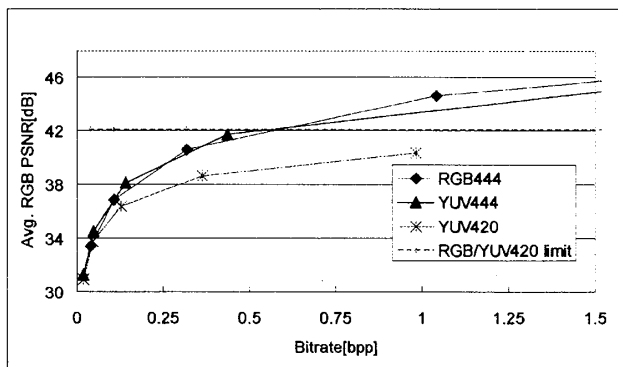
† 三菱電機株式会社

3. 実験結果

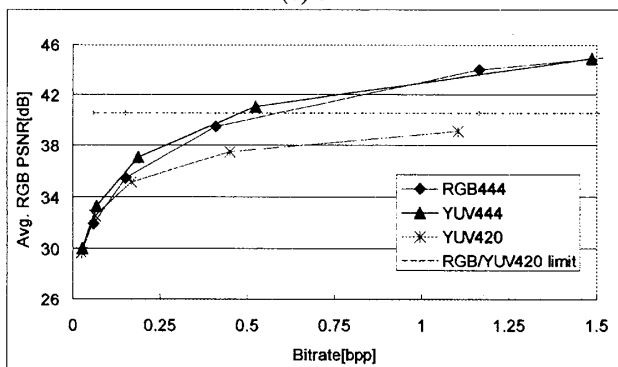
3種類のテストシーケンス (Plane, Freeway, Shimoda 各60フレーム) で HDTV、SDTV、SIF の各解像度での評価を行った。図3にレートひずみ曲線の例を、表2に、YUV4:2:0符号化を基準としてレートひずみ曲線間の差異を定量化したBD-PSNR値[5]を示す(Qp値は18~36を使用)。図3中、横軸は8x3[bits]の1カラーサンプルをpixelとするbits/pixelを、横軸はRGB4:4:4領域での3成分平均PSNRである。"RGB/YUV420 limit"は原信号レベルでRGB⇔YUV変換、4:4:4⇔4:2:0変換による損失を示す。



(a) HDTV



(b) SDTV



(c) SIF

図3 レートひずみ曲線(Plane)

表2 RGB平均PSNRに基づくBD-PSNR (vs. YUV4:2:0)

Sequence	RGB4:4:4 coding		YUV4:4:4 coding	
	IPP	IPB	IPP	IPB
Plane	1.49789	2.03193	1.21756	2.04992

Freeway	1.32356	1.91174	1.66011	2.01024
Shimoda	0.13871	0.33556	0.61547	0.70150

(b) SDTV

Sequence	RGB4:4:4 coding		YUV4:4:4 coding	
	IPP	IPB	IPP	IPB
Plane	1.07202	1.16404	1.07307	1.68993
Freeway	-0.54799	-0.47647	0.91911	1.06421
Shimoda	1.52993	1.76355	2.06369	2.24750

(c) SIF

Sequence	RGB4:4:4 coding		YUV4:4:4 coding	
	IPP	IPB	IPP	IPB
Plane	0.77524	0.82420	1.18370	1.667570
Freeway	-1.37332	-1.64488	0.88855	0.95823
Shimoda	1.82508	2.13530	2.61169	2.84922

実験結果から以下の知見が得られた。

- High 4:4:4 predictive profileは、現状民生向けに利用される映像ビットレートのレンジ(HDTV:10-12Mbps, SDTV:2-3Mbps, SIF:400-500kbps)でYUV4:2:0符号化に対しRGBドメインでの性能改善が確認される。YUV 4:2:0符号化は輝度のPSNRについては優れた特性を示すが、色信号の再現性が著しく劣ることが確認された。
- 4:4:4符号化と4:2:0符号化のレートひずみ曲線上の性能交差点の位置はシーケンスに依存するが、YUV 4:4:4領域で符号化を行うことで低いビットレート側にシフトさせることができる。
- 低ビットレートでは、YUV4:4:4符号化は、シーケンスによればらつきはあるものの、RGB4:4:4符号化よりも全般的に良い符号化性能を示す。RGB4:4:4での符号化とYUV4:4:4での符号化の性能の交差点は民生用途よりも高いビットレート領域で現れる。このことは、低ビットレートでは色成分間の相関が重要となることを示唆する。

実験結果は、最新のHigh4:4:4 predictive profileにより、4:4:4信号を直接符号化しても、民生向けビットレート条件において十分に実用的なレベルの性能が得られることを示している。同等ビットレートで4:4:4符号化と4:2:0符号化の主観品質を比較しても、色が極端に変化するエッジ領域近辺における明らかな品質改善が確認される。

4. まとめ

4:4:4符号化と4:2:0符号化との符号化性能比較実験の結果を示した。RGB領域における全色成分平均のPSNRでは、最新のHigh 4:4:4 predictive profileは、民生向けアプリケーションで使われるビットレート範囲で十分に実用的な性能を示すことを確認した。

5. 参考文献

[1] "Digital Cinema System Specification V1.0", July 20, 2005.  
 [2] ISO/IEC 14496-10:2005/FDAM2 New Profiles for Professional Applications, Jan. 2007.  
 [3] "MPEG-4 Video Verification Model version 18.0", Jan. 2001.  
 [4] G. Sullivan, "Approximate theoretical analysis of RGB to YCbCr to RGB conversion error," JVT-I017, Sep. 2003.  
 [5] G. Bjontegaard, "Calculation of average PSNR differences between RD-curves", VCEG-M33, April 2001.