

# 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ている。

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。

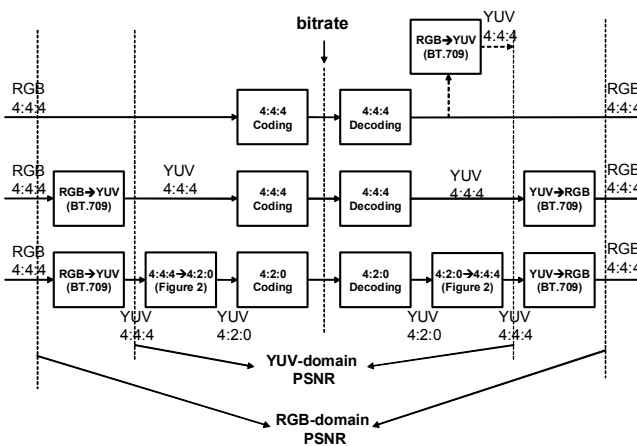


図 1 評価手順の概要

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 53 dB (RGB 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 39-43 dB、RGB⇄YUV 変換も含めた全変換工程での PSNR 上限は 36-42 dB 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。

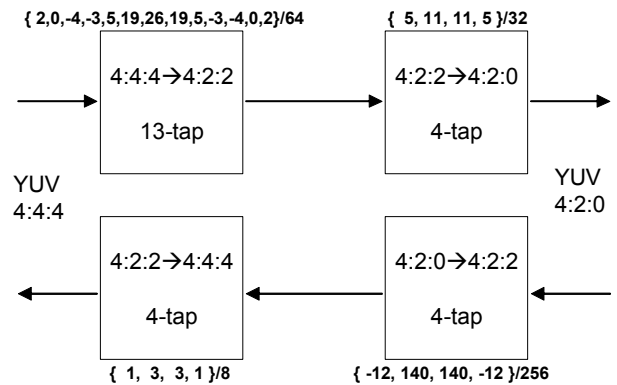


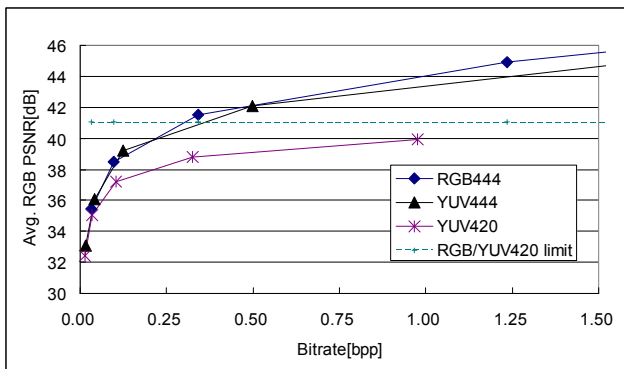
図 2 色差ダウンサンプル・アップサンプル処理

表 1 テスト条件

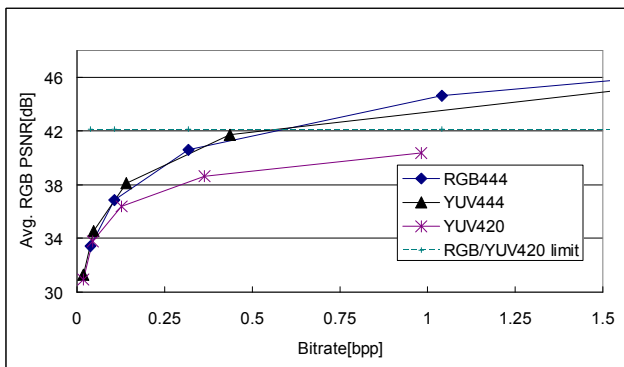
符号化方式	4:4:4 : High 4:4:4 Predictive Profile 4:2:0 : High Profile
Qp 値	12, 18, 24, 30, 36
エントロピー符号化	CABAC
動き探索範囲	SIF/SDTV : ±32, HDTV : ±64
R-D 最適化	ON
GOP 構造	I/P picture のみ(IPP), B picture あり(IPB)

3. 実験結果

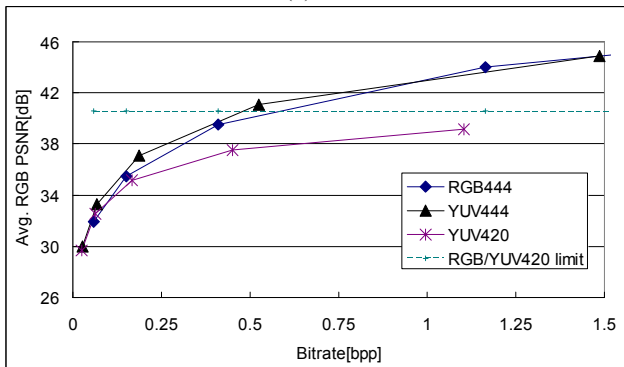
3種類のテストシーケンス (Plane, Freeway, Shimoda 各60フレーム) で HDTV、SDTV、SIF の各解像度での評価を行った。図3にレートひずみ曲線の例を、表2に、YUV4:2:0 符号化を基準としてレートひずみ曲線間の差異を定量化した BD-PSNR 値[5]を示す(Qp 値は 18~36 を使用)。図3中、横軸は  $8 \times 3[\text{bits}]$  の1カラーサンプルを pixel とする bits/pixel を、横軸は RGB4:4:4 領域での3成分平均 PSNR である。"RGB/YUV420 limit"は原信号レベルで RGB  $\leftrightarrow$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