

符号量配分に伴う画像階層符号化効率の一検討

笠井 裕之 児玉 明 富永 英義

早稲田大学 理工学部 電子通信学科

〒169 東京都新宿区大久保 3-4-1

kasai@tom.comm.waseda.ac.jp

階層符号化方式を利用した映像提供を考えると、非階層符号化方式と比較した場合の画質低下の問題、入力画像の統計的性質・各階層符号化量の変化などによる各階層での画質の変化などの問題が存在する。本稿では、階層符号化方式の特性解析を大きな目的として、各階層に配分する符号量の変化に伴う高位階層の画質の特性解析を行なった。シミュレーション実験から得られるデータを解析することで特性を明らかにした。特に非階層符号化と比較した場合に、最も階層化劣化を生じる符号量の配分の考察と、その際の劣化度に対して考察した。その結果、総符号量のうち基本階層に約64%を配分した時最も大きな劣化度を示し、これは総符号量、シーケンスの種類に依存しないことを確認した。さらに最大劣化度も総符号量にほとんど依存しないことを確認した。

キーワード 階層符号化方式, 階層化劣化, 符号量配分, SNR スケーラビリティ

A Study on Hierarchical Image Coding Efficiency according to Bit Allocation

Hiroyuki KASAI Mei KODAMA Hideyoshi TOMINAGA

Dept. of Electronics and Communication Engineering, WASEDA University

3-4-1 Ohkubo Shinjuku-ku, Tokyo, 169 JAPAN

kasai@tom.comm.waseda.ac.jp

This paper aims at the characteristic analysis of hierarchical image coding, and focuses on the image quality changes by bit allocation to each layers from simulation experiment. When we compare hierarchical image coding with non-hierarchical image coding, we study the largest hierarchical loss and bit allocation ration which provides it. As a result, when bit at 64% of total bit are allocated to Base-Layer, the largest loss is caused. This doesn't depend on total bit or sequences.

keyword Hierarchical Image Coding, Hierarchical Loss, Bit Allocation, SNR Scalability

1. はじめに

従来画像階層符号化方式は、情報自体に階層構造を持たせることで高機能な情報提供を可能とするものであると考えられてきた。例えば、MPEG-2で採用されている空間スケーラビリティは異なる解像度の画像を提供することが可能であり、SNR スケーラビリティは解像度の変化はないものの、異なる品質の画像を提供することが可能である⁽¹⁾。提供するアプリケーションに合わせて情報を階層的に構造化することで複数の画像品質を提供することが可能である。このように階層符号化方式の研究は、高機能化に対する検討を中心に進められてきた。

一方階層符号化方式は、非階層符号化方式と比較した場合、幾つかの点で問題指摘されてきた。その中の一つとして、非階層符号化と比較した際の画質低下である。原因の一つとして、非階層時に比べヘッダ等の付加情報が増加してしまう点である。さらに重要な原因として、階層化に伴う階層化劣化である。しかし階層符号化方式の画像品質に対する十分な検討はなされておらず、実用化が進んでいない原因の一つであるともいえる。特に入力画像信号の統計的性質が変化した場合、各階層の信号の分布も変化するため、各階層の画質を特性解析することは非常に困難である。しかしながら、階層符号化の階層化特性を検討することで、より適した、より効率的な活用方法・適用サービスが明らかになると考えられる。さらにより最適な階層化手法、符号量制御方法が明らかになるとも考えられる。

本稿では、階層符号化方式の特性解析を大きな目的として、各階層に配分する符号量の変化に伴う高位階層の画質の特性解析を行う。各階層への配分符号量の変化に伴って高位階層の画質が変化することは既に報告されている⁽²⁾。本稿では、シミュレーション実験から得られるデータを解析することで特性を明らかにする。特に非階層符号化と比較した場合に、最も階層化劣化を生じる符号量の配分の考察と、その際の劣化度に対して考察する。ただしIピクチャのみの考察であり、階層数は2とする。

2. 階層符号化方式のデータ解析

本節では、階層符号化方式の1手法としてSNR スケーラビリティを採用し、これを用いてシミュレーション実験から算出されたデータをもとに特性解析を行なう。SNR スケーラビリティは、基本階層を通常のMPEG符号化を行ない、高位階層は、

基本階層で生じた誤差をより小さな量子化ステップサイズにより量子化することで、より高品質な画像を得ることが可能となる。よって高位階層は基本階層で生じる量子化誤差信号を入力信号として扱い符号化する。つまり、高位階層の画像品質は基本階層の画像信号分布に大きく依存する。そのためSNR スケーラビリティの特性を解析する際、基本階層の信号特性を考慮にいれながら高位階層の信号特性解析を行なう必要がある。本稿では、信号分布特性のパラメータとして、画像品質に非常に密接な関係を持つ、信号分散値に着目し検討する。

ここで、表1に示すパラメータを定義する。

表 1: パラメータの定義

基本階層配分符号量	R_{base}
高位階層配分符号量	$R_{enhancement}$
総符号量	R_{total} $= R_{base} + R_{enhancement}$
基本階層配分符号量 総符号量	$\rho = \frac{R_{base}}{R_{total}} \quad (0 < \rho < 1)$
高位階層配分符号量 総符号量	$1 - \rho = \frac{R_{enhancement}}{R_{total}}$
入力画像信号分散	σ_x^2
基本階層量子化誤差分散	σ_{base}^2
高位階層量子化誤差分散	$\sigma_{enhancement}^2$
非階層符号化誤差分散	$\sigma_{non-scalable}^2$

ここで入力画像信号分散とは、入力画像信号のDCT係数領域での信号分散を示している。さらに非階層符号化誤差分散とは、通常非階層符号化を行なった際に生じる量子化誤差分散である。

2.1 各階層符号量の変化に伴う高位階層誤差分散の変動

まず、基本階層配分符号量と高位階層配分符号量を変化させた際の、高位階層量子化誤差分散の変動を解析する。シミュレーション実験条件を表2に示す。実験結果を図1、図2に示す。

両シーケンスともに、各階層符号量の増加にともない分散値が減少していることが分かり、両符号量が最大値をとる時、分散値が最小値を示していることが確認できる。また基本階層の符号量が比較的小さい場合には、高位階層の符号量増加に伴い分散値の減少率も大きい。しかし基本階層の符号量が比較的大きい場合には、高位階層の符号量増加に伴う分散値の減少率は小さい。これは基本階層に同

表 2: シミュレーション実験条件

シーケンス	Mobile&Calendar, Flower Garden
符号化	フレーム DCT
画像	ITU-R Rec.601
フォーマット	輝度信号: 704[pel] × 480[line]
符号量変動範囲 [kbit]	$100 \leq R_{base} \leq 900$ $100 \leq R_{enhancement} \leq 900$
評価項目	R_{base} , $R_{enhancement}$, $\sigma_{enhancement}^2$

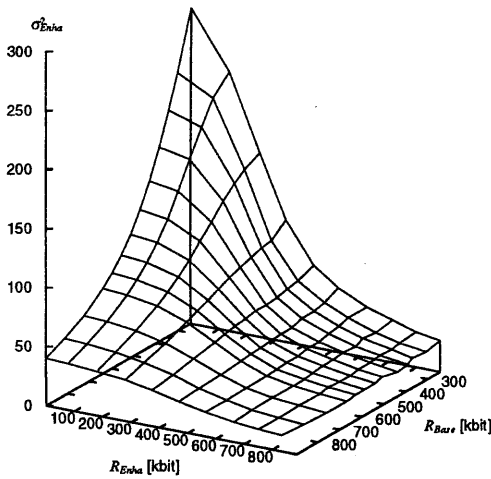


図 1: 階層符号量と高位階層誤差分散の関係 (Mobile&Calendar)

量の高位階層符号量を付加した場合、基本階層がより低品質であるほど、その効果は大きいことを示している。一方、両シーケンスを比較した場合、Mobile&Calendar に比べ Flower Garden の誤差分散が小さい。これは Flower Garden の方が、入力信号の分散が小さいからであり、この事実はレート歪み関数⁽³⁾の示すところである。

2.2 総符号量固定時の高位階層誤差分散の変動

総符号量 R_{total} が一定の下で、配分符号量が変わった際の高位階層誤差分散の変動を解析する。 $\sigma_{enhancement}^2$ の変動曲線は R_{total} 一定の平面と、図 1、図 2 の曲面との交わる曲線と与えられる

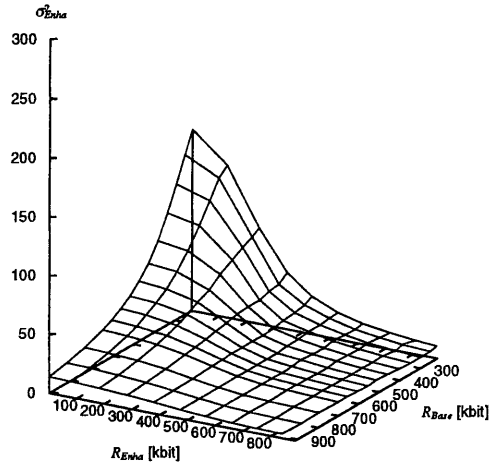


図 2: 階層符号量と高位階層誤差分散の関係 (Flower Garden)

実験結果は、高位階層符号量、総符号量と高位階層誤差分散値を軸にとって、図 3、図 4 に示す。

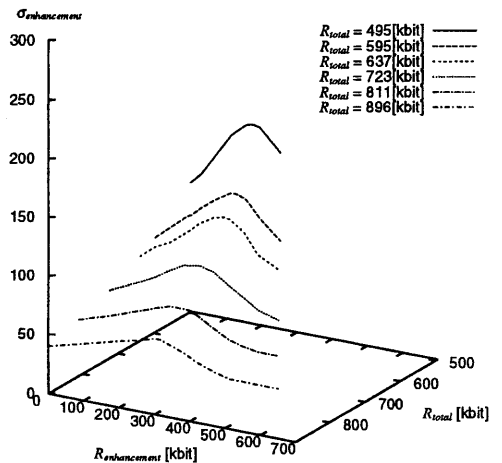


図 3: 階層配分符号量と高位階層誤差分散の関係 (Mobile&Calendar)

□ 符号量配分に伴う画像階層符号化効率の一検討

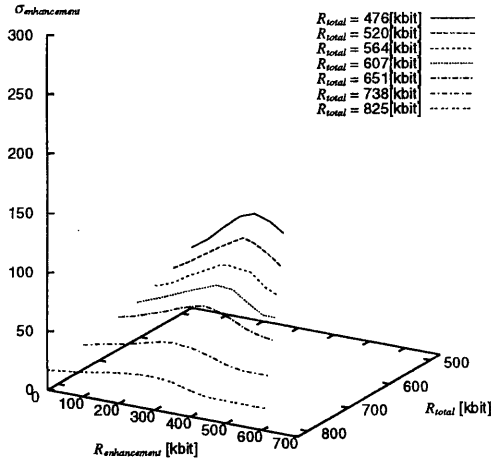


図 4: 階層配分符号量と高位階層誤差分散の関係 (Flower Garden)

図 3, 図 4 から, 総符号量が一定にも関わらず, 高位階層の分散値が変動していることが分かる。これは同じ符号量を費やして符号化した場合, 各階層に配分する符号量を変化させたとき, それに伴い高位階層の符号量も変動することを意味している。さらに図 3, 図 4 から高位階層分散値はそれぞれ極値を持つことが確認できる。同図において極値は, 最大の劣化ポイントを示す。この事実から, 最大の劣化度を与える極値とその劣化度の大きさを解析することが必須であると考えられる。

2.3 非階層符号化に対する階層化劣化の解析

本節では, 非階層符号化方式と比較した場合の, 階層化による階層化劣化の解析を行なう。まず階層化劣化を評価する階層化劣化関数を定義し, その関数から階層化劣化の特徴解析, 劣化の最大値 (以下, 最大劣化度と呼ぶ) を与える符号量配分率の導出, さらにその際の最大劣化度に対する解析を行なう。

2.3.1 非階層符号化に対する劣化度の考察

階層化による劣化度の導出にあたり, 評価関数を式 (1) に定義する。

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{\sigma_x^2}{\sigma_{enhancement}^2} \quad (1)$$

以上の定義から, 非階層符号化方式との階層化劣化は式 (2) で導出される。

$$\begin{aligned} SNR_{非階層符号化方式} - SNR_{階層符号化方式} &= 10 \log_{10} \frac{\sigma_x^2}{\sigma_{non-scalable}^2(R_{total})} \\ &\quad - 10 \log_{10} \frac{\sigma_x^2}{\sigma_{enhancement}^2(\rho, R_{total})} \quad (2) \\ &= 10 \log_{10} \frac{\sigma_{enhancement}^2(\rho, R_{total})}{\sigma_{non-scalable}^2(R_{total})} \end{aligned}$$

以上から, 階層化劣化関数 $D(R_{total}, \rho)$ を式 (3) に定義し評価する。

$$D(R_{total}, \rho) = \frac{\sigma_{enhancement}^2}{\sigma_{non-scalable}^2} \quad (3)$$

$D(R_{total}, \rho)$ と ρ との関係を図 5, 図 6 に示す。

ここで図中の R_{total} 値は, 表 2 の符号量変動範囲の中で, R_{base} と $R_{enhancement}$ の目標符号量をそれぞれ 100[kbit] ずつ変化させて符号化した時の実符号量である。

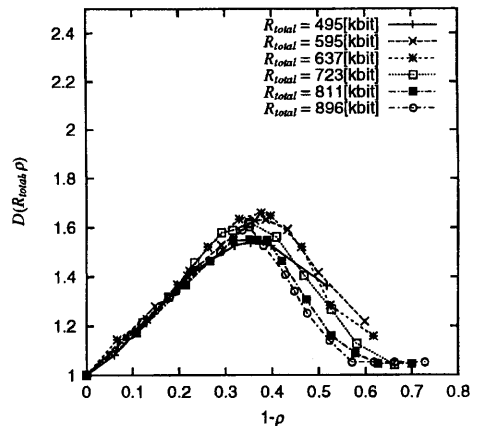


図 5: 配分率と階層化劣化度 (Mobilie&Calendar)

図 5, 図 6 から, 両シーケンスとも同様の傾向を示すことが分かる。まず最大の特徴として, $1-\rho$ が 0 ~ 1 の範囲を変動する際, 範囲の両端に近いほど $D(R_{total}, \rho)$ 値は小さい値をとることが分かり, 一方で中間の値では $D(R_{total}, \rho)$ 値は大きくなる。そして $D(R_{total}, \rho)$ の最大劣化度を与える $1-\rho$ を境にして, 両側において劣化度は単調減少している。つ

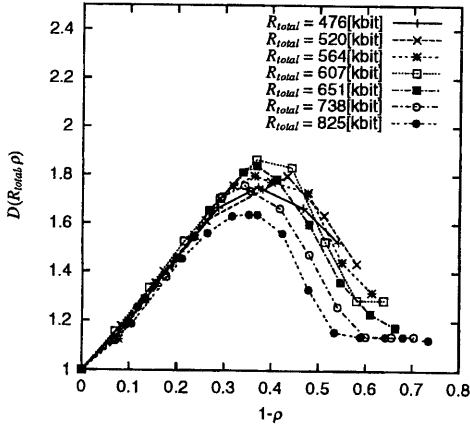


図 6: 配分率と階層化劣化度 (Flower Garden)

まり基本階層、あるいは高位階層に極端な符号量配分をした場合、階層化劣化を抑制することが可能であり、中間的な配分をした場合は、比較的大きな階層化劣化を引き起こしてしまうことが分かる。これは、極端な符号量配分をした場合は、階層符号化にも関わらず仮想的に非階層符号化に近くなり、階層化劣化が減少するためであると考えられる。

次の顕著な傾向は、 $D(R_{total}, \rho)$ の最大値を与える $1-\rho$ の値が総符号量にほとんど依存せず一定であり、且つシーケンスにもほとんど依存していないことである。この点に関しては以下の 2.3.2 で述べる。次に最大劣化度も、総符号量の変化に対して大きな変動は生じていない。その点に関しては以下の 2.3.3 で述べる。さらに、最大劣化度を与える $1-\rho$ の両側を比較した場合、 $1-\rho$ より小さい範囲においては $D(R_{total}, \rho)$ 値は総符号量に依存せず一定の値をとり、一方で $1-\rho$ より大きな範囲においては値の変動が大きくなる。つまりこの結果から、 $1-\rho$ が小さい場合、つまり基本階層に多くの符号量を割り当てた場合の方が、高位階層の分散値が安定し、画質が安定すると考えられる。また逆に高位階層に多くの符号量を割り当てた場合、高位階層の分散値が変動し、あまり安定しにくいことが考えられる。

2.3.2 最大劣化度を示す符号量配分率の導出

非階層符号化と比較した際の最大劣化度を与える R_{total} と $R_{enhancement}$ の値を表 3, 表 4 に示す。

表 3, 表 4 に示す関係は、図 3, 図 4 の極大値を $R_{total}-R_{enhancement}$ 平面に射影した関係を示して

表 3: 最大劣化度を与える総符号量, 高位階層符号量 (Mobile&Calendar)

R_{total} [kbit]	$R_{enhancement}$ [kbit]	$1-\rho$
495	175	0.353
595	230	0.386
637	240	0.377
723	255	0.353
811	285	0.351
896	315	0.352

表 4: 最大劣化度を与える総符号量, 高位階層符号量 (Flower Garden)

R_{total} [kbit]	$R_{enhancement}$ [kbit]	$1-\rho$
476	177	0.372
520	197	0.379
564	205	0.363
607	223	0.367
651	240	0.369
738	253	0.343

おり、これを図 7 に示す。

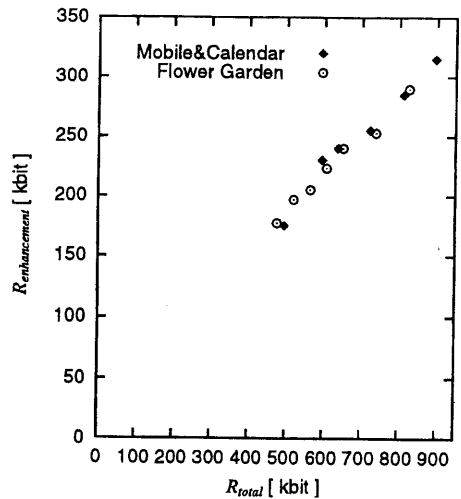


図 7: 極値の $R_{total}-R_{enhancement}$ 平面への射影図

図 7 から、 R_{total} と $R_{enhancement}$ は比例関係にあり、式 (4) に近似される。

$$\frac{R_{\text{enhancement}}}{R_{\text{total}}} \simeq 0.36 (= 1 - \rho) \quad (4)$$

以上より、極値をとる ρ は約 0.64 であることが分かる。よって SNR スケーラビリティでは、総符号量の約 64 % を基本階層に割り当てた時、非階層符号化と比較して最大の劣化を示すことが分かる。

2.3.3 最大劣化度の導出

図 5, 図 6 から最大劣化度を示す点のみを抽出し, $D(R_{\text{total}}, \rho)$ と R_{total} の関係を図 8 に示す。

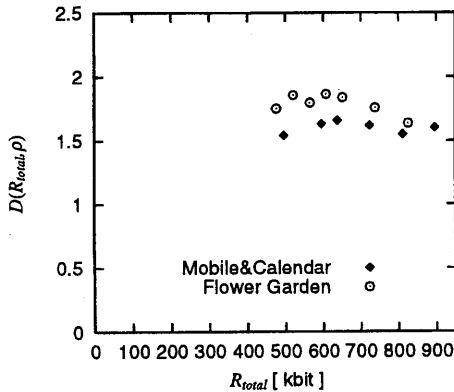


図 8: 最大劣化度

最大劣化度は 2.3.1 で述べたように、総符号量の変化に対して大きな変動は見られない。つまり 6[Mbps] あるいは 9[Mbps] で階層符号化しても、非階層符号化と比較した最大劣化度はほぼ同じであることが分かる。またシーケンスの変化に伴う劣化度の変化に関しては、Mobile&Calendar の方が Flower Garden と比較した場合、より小さな値をとることから、入力信号分散値の小さなシーケンスほど、最大劣化度は大きくなることが確認できる。また本稿では、ヘッダなどの付加情報を考慮にいれていないため、最大劣化度はさらに大きくなると考えられる。

3. 階層化劣化に対する考察

以上までで SNR スケーラビリティの階層化特性、特に階層化する際の階層配分符号量に伴う階層化劣化に対するデータ解析を述べた。特に 2.3.1 で述べ

たように、階層符号量を変化させることで、高位階層の画像品質が変動してしまうこと、さらに総符号量のうち基本階層に約 64 % を配分した時、最大の階層化劣化が生じることは非常に興味深い結果となった。本来 SNR スケーラビリティは、異なる品質の画像を提供できるという特徴を持っているが、これは伝送路において十分な帯域を保証できない場合に、低品質画像を優先情報として、高品質画像を非優先情報として伝送することでセル廃棄への耐性を高めることが大きな特徴である。従って極端な符号量配分による伝送を考えた場合、基本階層への極端な配分は本来の特徴を失ってしまうので、高位階層へ符号量を割り当てることがより効率的であるといえる。しかしながら基本階層符号量の大部分は DC 成分が占めるため、基本階層の符号量削減には十分には実現できない。このように SNR スケーラビリティを用いる場合、符号量と階層化劣化を考慮にいれなければならないと考えられる。

4. むすび

本稿では、階層符号化方式の特性解析を大きな目的として、シミュレーション実験から得られるデータを解析することで各階層に配分する符号量の変化に伴う高位階層の画質の特性解析を行った。総符号量のうち基本階層に約 64 % を配分した時最も大きな劣化度を示し、これは総符号量、シーケンスの種類に依存しないことを確認した。さらに最大劣化度も総符号量にほとんど依存しないことを確認した。現在、本稿で得られた結果に基づき、階層化劣化を補正するための高位階層への符号量予測について検討している。今後は階層化劣化を数学的に解析し、本稿の結果と比較検討する。また、空間スケーラビリティの特性解析と合わせながら、両スケーラビリティを比較検討する。

参考文献

- (1) ISO-IEC 13818-2, IS: "Generic Coding of Moving Picture and Associated Audio Recommendation H.262" (1995).
- (2) 笠井 裕之, 児玉 明, 富永 英義: "階層符号化方式における符号量配分による画質変動の一考察", 信学秋季ソサイエティ大会, p. 179 (1996).
- (3) N.S.Jayant and P.Noll: "Digital coding of waveforms", Englewood Cliffs NJ, Prentice Hall (1984).