

マルチレート出力機能実現のための  
**MPEG-2 トランスコーダ量子化制御方式の検討**  
中平 航太<sup>†</sup> 永吉 功<sup>†</sup> 花村 剛<sup>††</sup> 富永 英義<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> 早稲田大学 理工学部  
〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 55号館-N0602

<sup>††</sup> 株式会社メディアグルー  
〒169-8555 東京都新宿区大久保 2-4-12 新宿ラムダックスビル 8階

<sup>†††</sup> 早稲田大学 国際情報通信研究センター  
〒169-0051 東京都新宿区西早稲田 1-3-10 29-7号館

naka@tom.comm.waseda.ac.jp

本稿では一つの入力ストリームからレートの異なる複数のストリームを生成することのできる、マルチレート出力機能を有したトランスコーダについて検討を行なう。中でも特に再量子化処理に着目し、算出される再量子化パラメータの値を各ピクチャタイプの特성에依りて適応的に制限する符号量制御方式を提案して、冗長となる再量子化演算を一つに統合化することで簡易なシステム構成によるマルチレート出力を実現する。また、提案制御における画質への影響、及び処理量の削減効果について評価・検討を行ない、その有効性を示す。

キーワード

マルチレート出力, 再量子化, 量子化パラメータ, 上限値, MPEG-2 ビデオトランスコーダ

**Quantization Control Scheme for the MPEG-2 Video Transcoder with Multirate Output**

Kota NAKAHIRA<sup>†</sup>  
Isao NAGAYOSHI<sup>†</sup> Tsuyoshi HANAMURA<sup>††</sup> Hideyoshi TOMINAGA<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> Dept. of Science and Engineering, Waseda University  
3-4-1 Ohkubo, Bldg.55-N0602, Shinjuku-ku, 169-8555, Tokyo JAPAN

<sup>††</sup> Media Glue Corporation  
2-4-12 Ohkubo, Ramdax Bldg.8th floor, Shinjuku-ku, 169-8555, Tokyo JAPAN

<sup>†††</sup> Global Information and Telecommunication Institute, Waseda University  
1-3-10 Nishi-Waseda, Bldg.29-7, Shinjuku-ku,169-0051, Tokyo JAPAN

naka@tom.comm.waseda.ac.jp

In this paper, we focus on the quantization control scheme for the Video Transcoder with Multirate output. Especially, we pay attention to requantization, and propose the quantization control scheme that restricts a requantization-parameter with a certain value. And then, we aim at a realization of a simple system configuration by excluding an useless process. Finally we evaluate about the quality of image and the processing time, and show the effectiveness of the proposed control scheme.

Keywords

Multirate Output, Requantization, Quantization Parameter, MPEG-2 Video Transcoder

## 1. はじめに

異種帯域混在型のネットワーク環境下でデジタル符号化映像の配信を実現する場合、情報の提供者は、各利用者の端末能力、及び帯域の環境などに適合したビットストリームを生成する必要がある。このようなビットレートの削減器として現在トランスコーダが検討されている [1][2][3].

ここで、これまでのトランスコーダは一入力一出力の形態であるため、異なるビットレートを持つ複数のストリームを出力するためには、そのビットレートの数だけトランスコーダが必要になる。そこで本稿では、上述したようなネットワーク環境下においてトランスコーダを柔軟に適用するために、一つの入力ストリームから複数のビットレートのストリームを生成する、マルチレート出力機能を有するトランスコーダの実現を目指し、本機能ををより簡易なシステムで実現するための量子化制御方式について検討を行なった。

## 2. マルチレート出力の実現方式

### 2.1 システム構成

マルチレート出力トランスコーダの最も簡単な実現方式としては、可変長復号化処理(VLD)、逆量子化・再量子化処理、可変長符号化処理(VLC)の各処理を出力レートの個数だけ並列に行なう方式が考えられる。しかしながら、VLD処理は入力ストリームに対する処理であり、また、再量子化演算も算出される再量子化パラメータによっては重複する場合もあるため、同一の演算を複数回行なうことによる、処理の冗長性を有する。そこで、上記したような重複する各処理を共通化し、処理の無駄を省いたマルチレート出力システムを提案する。図1に提案するマルチレート出力システムの構成を示す。

### 2.2 処理フロー

本稿で対象とするトランスコーダは、入力ビットストリームに対して可変長復号処理、逆量子化処理を行ないDCT係数領域までデータを復元した後、符号化時よりも粗いステップサイズで再量子化処理を行なうことでビットレート削減を実現する。続いて、この再量子化出力に対して可変長符号化処理を行ない、バッファに出力し、この出力バッファの状態値をレート制御器へ入力して、以降のMBに対して目標出力ビットレートに適合した量子化制御を実現する。

マルチレート出力に着目した場合、出力レートは複数となるため、上記した再量子化パラメータも複数個算出される。また、バッファ状態値も出力レートの個数だけ保持することになる。ここで提案システムにおけるレート制御方式は、出力ストリームの

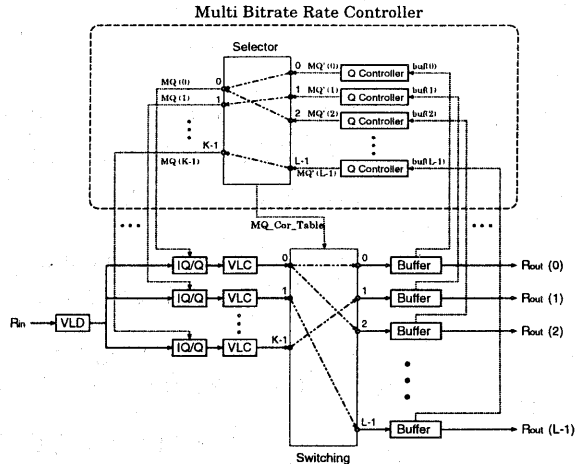


図 1: 提案するマルチレート出力システム

バッファの状態を入力とし、以下の3段階の処理を行なう。

1. 再量子化パラメータ算出処理 (Q controller)
2. 再量子化パラメータ選択処理 (selector)
3. 出力係数情報選択処理 (switching)

1.の処理により、L通りの目標出力ビットレートに対して、バッファ状態値に基づきL通りの再量子化パラメータを算出する。次に2.において、L個の再量子化パラメータの中から、値の異なるK個 ( $K \leq L$ )のパラメータのみを抜きだして再量子化器に適用される再量子化パラメータとして選択する。これにより1個の入力MBにつき必要な再量子化演算回数が削減される。

これらの処理を経て、選び出されたK個の再量子化パラメータを用いて再量子化して出力されたK個の係数情報を、3.の処理により対応するL個の出力ビットストリームに反映させる。以上のような制御により、要求されるレートのストリームの生成を行なう。

### 2.3 課題

提案システムでは異なるビットストリーム間で同一の再量子化パラメータが算出された場合に、再量子化演算を統合化し、出力係数符号を共有することで冗長な処理の削減を実現する。したがって、各出力で等しい再量子化パラメータの数を増やすことができれば、より多くの再量子化演算の統合化が可能となる。

さらに、レート制御により算出される再量子化パラメータの値を抑制することができれば、結果的に各出力レートで同一となるパラメータの数も増えることが予想され、そのための新たなレート制御方式が課題となる。

### 3. トランスコーダビットレート削減特性

#### 3.1 前提となる量子化制御方式

トランスコーダにおける量子化処理は、画像を符号化する際に量子化処理を行って、一度情報量を削減したデータに対する量子化処理であるため、再量子化処理特有の特性を持つ。本トランスコーダでは、この再量子化処理におけるレート歪み特性を考慮し、通常のレート制御により算出された量子化パラメータに対して、その特性が直接量子化処理の場合と近くなるような再量子化パラメータに更新する、再量子化パラメータ禁止領域制御方式 [4][5] の適用を前提とする。

本制御はイントラ MB、インター MB それぞれの特性に合わせ、以下の式のように同一の削減符号量において歪みが最小となる値に更新することで、直接量子化処理に近いレート歪み特性を実現し、画質の向上を図る。式 (1) において上式がイントラ MB の場合、下式がインター MB の場合を示す。

$$\begin{cases} mq = 2m \times MQ_1 + 1 & m = \left\lfloor \frac{MQ_2 - 1}{2 \times MQ_1} \right\rfloor \\ mq = (m + 1) \times MQ_1 & m = \left\lfloor \frac{MQ_2}{MQ_1} - 1 \right\rfloor \end{cases} \quad (1)$$

ただし、 $MQ_1$  は量子化パラメータ、 $MQ_2$  は再量子化パラメータ、 $mq$  は再量子化特性を考慮して更新された再量子化パラメータを示す。

ここで、 $MQ_1$  は各出力レートに依らず一定であるため、 $mq$  は再量子化特性定数である  $m$  の値により一意に定まる。したがって、 $m$  の値を制限することができれば結果的に  $mq$  の値も制限され、それによって統合化できる再量子化パラメータの数が増えることになる。

#### 3.2 基礎実験

レート制御において算出される再量子化パラメータ数を削減するために、以下のような基礎実験を行った。ここで、実験に使用したテストシーケンスの符号化条件を表 1 に示す。

表 1: テストシーケンス符号化条件

符号化方式	MPEG-2 Video MP@ML
使用シーケンス	Bus, Flower Garden, Table Tennis
画像フォーマット	ITU-R Rec.601, 4:2:0 輝度: 704[pe]×480[line] 色差: 352[pe]×240[line]
符号化ビットレート	15Mbps
フレーム数	30 フレーム
GOP 構造	N=15, M=3

#### 3.2.1 一様な $m$ による入出力ビットレート比率

全ての MB において  $m=1,2$  に固定した時のビットレート削減特性について評価する。入力、出力それぞれのビットレートを  $R_{in}$ 、 $R_{out}$  として、式 (2) に示される入出力間のビットレート比率  $ioRatio$  を算出した。 $R_{in}$  に対する  $ioRatio$  の関係を図 2 に示す。

$$ioRatio = \frac{R_{out}}{R_{in}} \times 100 \quad (2)$$

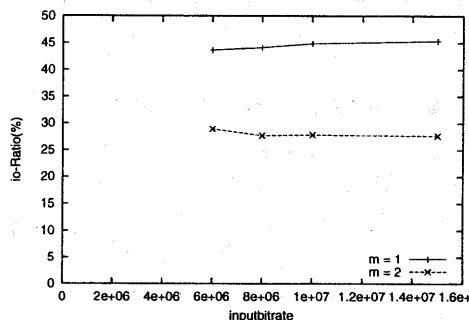


図 2: 一様な  $m$  による入出力ビットレート比率 (Bus)

図 2 より、 $m=1$  で 45%、 $m=2$  で 30% までビットレート削減が可能であり、 $R_{in}=15Mbps$  の場合では、 $m=1$  で 6.75Mbps、 $m=2$  で 4.5Mbps のストリームを生成可能である。以上のことから、再量子化特性定数が 1,2 といった小さな数であっても充分な情報削減能力があり、各 MB でうまく組み合わせることによって、量子化パラメータとして大きな値を使うことなくレート削減が実現可能であると考えられる。

#### 3.2.2 各 MB における再量子化特性定数の分布

実際にビットレート削減を行なった時の各 MB の再量子化特性定数の分布を図 3 に示す。シーケンスは Bus を使い、入力 15Mbps のストリームを 4Mbps ~ 14Mbps まで、2Mbps 刻みでトランスコードを行なった。

図 3 より、 $m$  の最大値は 7、また平均して 3 ~ 4 付近に集中し、 $R_{out}=8Mbps$  とした場合でも  $m=2,3$  となる MB が多数存在しているのが確認できる。

図 2 から、 $m=1$  で固定した再量子化処理においても 7 ~ 8Mbps のストリームは充分生成可能であったのと比較して、余分に大きな再量子化特性定数が含まれていると考えられ、そこに  $m$  の抑制の余地があると思われる。

### 4. 再量子化演算削減のための量子化制御方式

再量子化演算の統合化による冗長処理量の削減効果を積極的に適用するための量子化制御方式とし

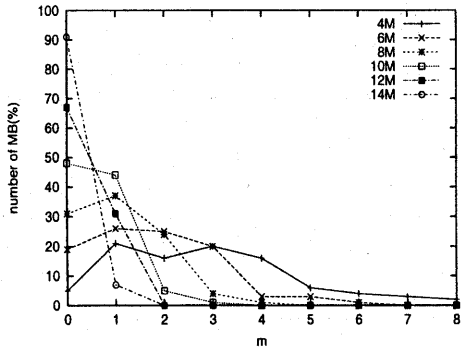


図 3: 再量子化特性定数と MB の割合

て、式(1)より得られる  $m$  に対して、次式(3)のように  $m$  の上限を  $M_{max}$  に制御する。

$$m_{Update} = \begin{cases} M_{max} & m \geq M_{max} \\ m & m < M_{max} \end{cases} \quad (3)$$

本制御におけるビットレート、及び画質特性について評価する。

#### 4.1 MB で $M_{max}$ を一定とした制御

まず、全ての MB で  $M_{max}$  を一定とした場合の処理について検討する。以下、式(1)を適用した方式を方式1、式(3)を適用して  $m$  に上限値を設け、全 MB で  $M_{max}$  を一定とした方式を方式2とし、比較検討を行なった。目標出力ビットレートの範囲としては4Mbps～14Mbpsとする。

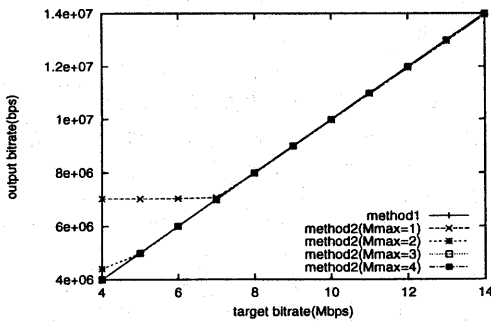


図 4: 一樣な  $M_{max}$  によるレート比較 (Bus)

図4より、 $M_{max}=1$ で8Mbps、 $M_{max}=2$ で5Mbps、 $M_{max}=3,4$ で4Mbpsまでの出力ビットレートを達成可能である。次に出力画像の平均SN比との関係を図5に示す。図5より、方式2は適用可能な再量子化パラメータに制限が加わっていることに起因して、方式1に対するSN比の低下が見られる。文献[5]より、トランスコーダの再量子化特性として初回量子化が粗いほど再量子化時に発生する歪みは大き

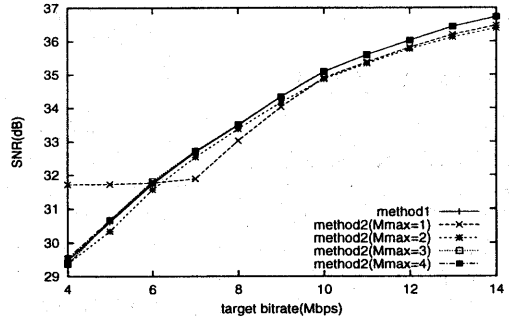


図 5: 一樣な  $M_{max}$  による平均 SNR 比較 (Bus)

く、符号化効率が低下することが報告されている。したがって、再量子化パラメータを制限して削減率の自由度を減らしてしまうと、そのような符号化効率の悪いMBや、また、Iピクチャなどの削減による画質劣化が大きなピクチャにおいても他のMBと変わらず一定の割合で情報を削減するため、方式1に対して平均SN比が低下したと考えられる。

#### 4.2 $M_{max}$ を各ピクチャタイプの特性から定めた制御

次に  $M_{max}$  をピクチャタイプ毎に変えた方式について検討した。以下の表2に比較対象とする  $M_{max}$  を示す。  $R_{in}=15$ Mbpsとした場合、及び10Mbps

表 2: 各ピクチャタイプの  $M_{max}$

	$M_{max}$		
	I picture	P picture	B picture
(a)	1	2	2
(b)	1	1	2
(c)	2	2	3

とした場合について平均SN比の比較を行なった。ただし、 $M_{max}$  をピクチャタイプ毎に変えた方式を方式3とする。

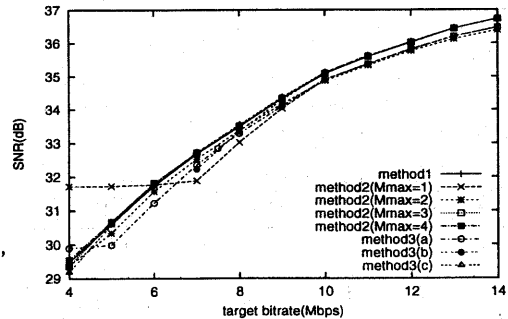


図 6: ピクチャタイプ毎の制御における平均 SNR 比較 (15Mbps)

図6より、全体を通して最も平均SNRがよいのは

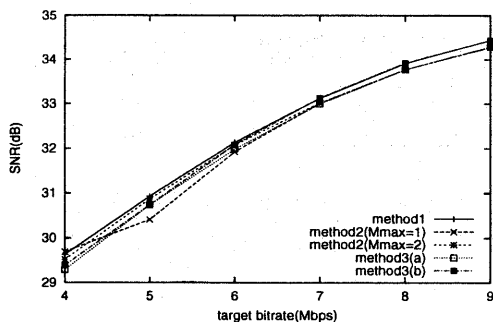


図 7: ピクチャタイプ毎の制御における平均 SNR 比較 (10Mbps)

方式 1 の制御であるが,  $R_{out}=9\text{Mbps}$  以上では方式 3(b) の制御が最も画質劣化が少ない。また,  $R_{out}=9 \sim 6\text{Mbps}$  の範囲では, 方式 2( $M_{max}=2$ ) の制御がほぼ方式 1 と同等の平均 SNR であるといえる。同様に,  $R_{out}=6 \sim 5\text{Mbps}$  の範囲では方式 3(c) の制御が,  $R_{out}=5 \sim 4\text{Mbps}$  では方式 2( $M_{max}=3$ ) の制御がそれぞれ, 方式 1 とほぼ同等の SNR を保っている。

また図 7 を見ると,  $R_{in}=10\text{M}$  とした場合には,  $R_{out}=6\text{Mbps}$  以上では方式 3(b) の制御が,  $R_{out}=6 \sim 4\text{Mbps}$  の範囲では方式 2( $M_{max}=2$ ) の制御がそれぞれ高い平均 SNR を示している。

$ioRatio$  に着目してみると,  $R_{in}=15\text{Mbps}$  の場合,  $10\text{Mbps}$  の場合共に, 各領域で最大の平均 SN 比を示している制御方式がほぼ一致していることがわかる。例えば入力  $10\text{Mbps}$  の場合,  $15\text{Mbps}$  の場合, 両者ともに  $ioRatio=9/15 = 6/10 = 0.6$  までの範囲では方式 3(b) の制御が平均 SNR の低下を抑制可能である。その他の場合においても同様に,  $ioRatio$  から適切な  $M_{max}$  の値を定めることができる。これは画像シーケンスとして Bus, Flower Garden, Table Tennis のいずれを用いた時もほぼ変わらなかった。

#### 4.3 再量子化パラメータの値を抑制するための手法

以上より,  $ioRatio$  から  $M_{max}$  の値を適応的に定めることで, 画質劣化の影響を受けることなく再量子化パラメータ値を抑制するレート制御が実現できると考えられる。図 6,7 より得られた,  $ioRatio$  と適切な  $M_{max}$  の値を以下の表 3 に示す。

本制御における平均 SN 比, 及びバッファ状態に関して評価を行なった。それぞれ図 8, 及び図 9 に示す。図 8,9 より, 画質, バッファ状態ともに提案制御と方式 1 の制御がほぼ同等の値を示しており, 上限値を設けたことによる影響はほとんど見られない。よって, 予測参照画像となる I,P ピクチャに対して多くの符号量を割り当てることで, 本来, 十分な情報削減能力を持つ小さなステップサイズの再量子化処理のみでのビットレート削減を平均 SN 比の低

表 3:  $ioRatio$  に対する  $M_{max}$

$ioRatio$	$M_{max}$	
	I,P picture	B picture
$0.6 \leq ioRatio \leq 1$	1	2
$0.4 \leq ioRatio < 0.6$	2	2
$0.3 \leq ioRatio < 0.4$	2	3
$ioRatio < 0.3$	3	3

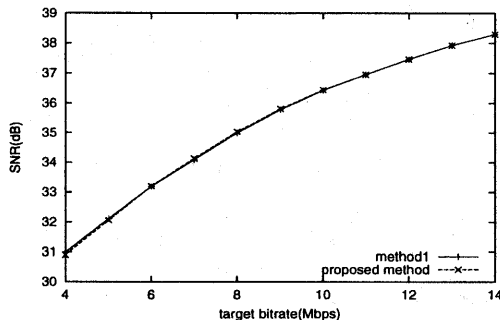


図 8: 提案制御と方式 1 の平均 SNR 比較

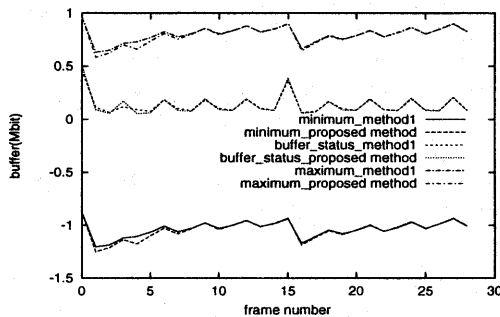


図 9: バッファの状態遷移

下なく実現可能であることが確認された。

## 5. 再量子化演算統合化による演算量削減効果

提案するマルチレート出力トランスコードにおける再量子化演算統合化による処理量の低減について検討する。

### 5.1 統合化される再量子化演算数

本制御適用時の再量子化演算数削減の効果を示すために,  $15\text{Mbps}$  の入力ストリームを  $14\text{Mbps} \sim 4\text{Mbps}$  までの  $1\text{Mbps}$  刻みで 11 通りの目標出力ビットレートを設定しトランスコード処理を行なった場合に, 各 MB で必要となる再量子化演算数を図 10 に示した。図 10 より, 再量子化演算数が 0, もしくは 1 の MB の個数は方式 1 のほうが若干多い。しか

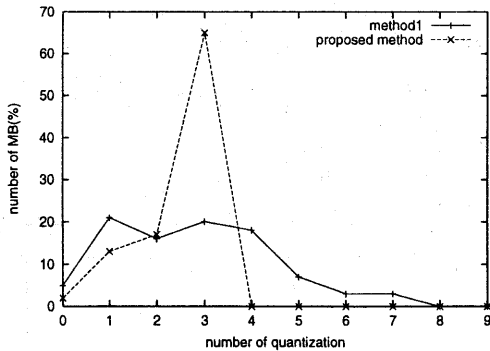


図 10: 必要な再量子化演算数 (Bus)

し、方式1の制御では3~4回あたりにピークがあり、7回程程度の再量子化演算を必要とするMBが存在するのに対し、本制御では最大でも3回の再量子化演算で済んでいるのがわかる。これは提案制御により  $m$  の値として3以上の数値は全て3として処理しているためであり、それゆえ一つのMBにおける再量子化パラメータ値は  $m=0 \sim 3$  までの4種類となり、出力レートがいくつであっても、必ず3回以内の再量子化演算で全ての再量子化処理を行なうことが可能となる。従って、提案制御による再量子化演算の削減効果は出力ストリームの個数に比例して多くなるといえる。

以上から、本制御を適用することにより、画質劣化やバッファ破綻などを起こさずに再量子化演算数を削減できることが確認された。

## 5.2 処理時間

1秒間の入力ストリームに要する各方式の処理時間について評価する。

$i$  番目の入力MBに必要となる再量子化演算回数を  $K_i$  とし、本MBに含まれる有意係数を  $C_i$  とする。また、一度の再量子化に要する平均演算時間を  $a_{time}$  とし、再量子化演算の総処理時間  $S_{time}$  を式(4)に導く。

$$S_{time} = a_{time} \times \sum_{i=1}^{allMB} K_i \times C_i \quad (4)$$

表4に図10と同じ条件下で算出した処理時間を示す。また、表5にトランスコード処理全体に対する再量子化演算の処理時間の割合を示す。実験においてはCPU Pentium III プロセッサ 450MHzのマシンを使用し、 $a_{time}=2 \times 10^{-8}$  という値を用いた。

表4の結果より、方式1の制御では1秒間のストリームをトランスコーディングする際に、再量子化処理だけで約0.4秒もの時間がかかることになる。表5より、再量子化処理はトランスコード処理全体に対して平均して10%近くの処理時間を要するため、これではマルチレート出力トランスコードを用いてリ

表 4: 再量子化演算回数と処理時間

制御方式	演算回数 [回]	処理時間 [ms]
方式 1	21816212	436.32
提案制御	5039345	100.79

表 5: 再量子化処理時間の占める割合

出力ビットレート	再量子化演算処理時間 [%]
4Mbps	13.33
9Mbps	7.89
14Mbps	3.70

アルタイム配送を実現することは非常に困難であるといえる。これに対し、本提案制御では約0.1秒と、再量子化処理時間の低減が実現され、表5の結果からも十分にリアルタイム動作が可能となる。

## 6. まとめと今後の課題

本稿では、マルチレート出力機能を有するトランスコード実現のための量子化制御方式における、再量子化演算統合化について検討を行なった。まず、再量子化パラメータに上限値を設けて必要な再量子化演算回数を制限する方式を示した。また、本制御により異なる出力ストリーム間で各MBの係数符号を共有することで、算出される再量子化パラメータの値を抑制し、より多くの再量子化演算が統合化できることを明らかにした。最後に統合化の効果について、処理時間の観点からその有効性を示した。

今後の課題としては、実際にマルチレート出力トランスコードを実装し、統合化による効果を実時間で示す必要がある。また、動的レート変換への拡張についても検討していく予定である。

## 参考文献

- (1) D.Morrison: "Video Transcoders with Low Delay", IEICE Trans.Comms., Vol.E80-B No.6 pp.963-969(1997)
- (2) 西村, 笠井, 高屋, 亀山, 榎, 花村, 富永, "リアルタイム MPEG-2 ビデオトランスコードソフトウェアの開発", 情報研報, AVM25-5(1999)
- (3) 笠井, 富永, 花村, 亀山, "低遅延 MPEG-2 ビデオトランスコード符号量制御方式", 信学論 B Vol.J83-B No.2 pp.151-164(2000)
- (4) 笠井, 永吉, 花村, 亀山, 富永, "再量子化特性を利用した MPEG-2 トランスコード量子化制御方式の検討 (1)", 信学春季総大 D-11-59
- (5) 笠井, 永吉, 中平, 花村, 亀山, 富永, "MPEG-2 ビデオトランスコードのための再量子化パラメータ禁止領域制御方式の検討", 信学技報 Vol.100 No.704 pp.37-41(2001)