

時間解像度変換に基づく低ビットレートトランスコーディング における符号量制御方式の一検討

西尾 智恵[†] 高屋 和幸[‡] 西村 敏[‡] 富永 英義^{†‡}

[†] 早稲田大学 理工学部 電子・情報通信学科 [‡] 早稲田大学大学院 理工学研究科

〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1

nishio@tom.comm.waseda.ac.jp

本稿では、低ビットレートへの符号量制御を目的とし、時間解像度変換に着目した符号量制御手法を検討した。視覚的フレームスキップを定義し、視覚的フレームスキップに基づくトランスコーディング符号量制御方式を提案した。さらにシミュレーション実験を行い、目標ビットレートを1.5[Mbps]としてトランスコードを行い、符号量制御できていることを確認した。画質について再量子化手法を用いた場合と比較し、検討を行った。また提案手法の効果が得られる目標ビットレートの範囲について検討を行った。

キーワード 低ビットレート符号量制御方式, トランスコーディング, 時間解像度変換, 視覚的フレームスキップ

A Study on the Rate Control Algorithm for Low Bitrate Transcoding based on Time Resolution Conversion

Tomoe NISHIO[†] Kazuyuki TAKAYA[‡] Satoshi NISHIMURA[‡] Hideyoshi TOMINAGA^{†‡}

[†] Dept. of Electronics, Information and Communication Engineering, WASEDA University

[‡] Graduate School of Science and Engineering, WASEDA University

3-4-1 Ohkubo, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-8555 JAPAN

nishio@tom.comm.waseda.ac.jp

In this paper, we propose a rate control algorithm for MPEG-2 low bitrate transcoding based on the time resolution conversion. At first, we state "visual frame skip", and state a rate control algorithm based on visual frame skip that all MB in each B picture is coded as 'MC NotCoded' MB with differential MV = (0, 0). We transcode some MPEG-2 test sequence from 6Mbps to 1.5Mbps to confirm the result of proposed method. At last, we examine the range of target bitrate that the proposed rate control method is effective.

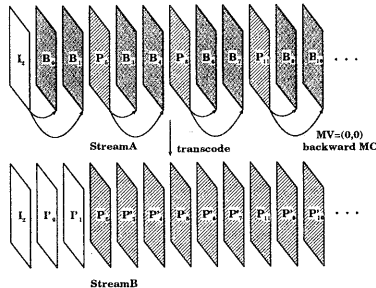
keyword Low Bitrate Rate Control, Transcoding, Time Resolution Conversion, Visual Frame Skip

1. はじめに

本稿では、MPEG-2 Video ESをMP@ML準拠で4[Mbps]未満の低ビットレートへトランスコードする際の符号量制御方式を検討する。広帯域ネットワークにおける利用を目的に符号化されたMPEG-2ビットストリームを、インターネットや携帯端末による移動体通信といった狭帯域ネットワークで利用可能とするための技術としてトランスコーディングが検討されている。低ビットレートへのトランスコード時における符号量制御方式として、再量子化、空間解像度削減、時間解像度削減の3手法があるが、これまでは主に再量子化手法に関する研究が報告がされている[1][2][3]。再量子化手法による低ビットレートへのレート変換では、目標ビットレートにスケールリングできない場合[4]や、極端に画質が劣化する場合がある。そこで本稿では、時間解像度変換に着目した符号量制御手法を検討する。特に視覚的フレームスキップを定義し、視覚的フレームスキップに基づくトランスコーディング符号量制御方式を提案する。さらに提案手法による符号量制御の効果をシミュレーション実験で検証する。

2. 視覚的フレームスキップ

図1に視覚的フレームスキップの概念図を示す。矢印



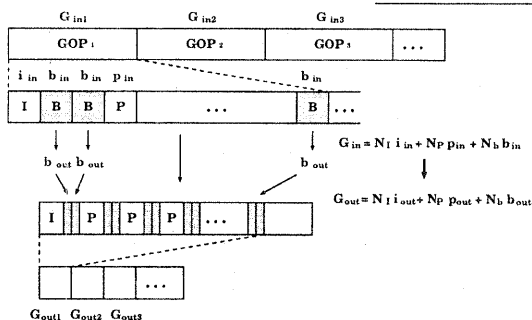


図 3: 提案符号量制御方式

G'_{out} を 1GOP の総符号量とし、GOP 構造が $M = 1$ とした場合の TM5 符号量制御方式による符号量制御を行うことが可能となる。本提案符号量制御方式において、出力ビットストリームの 1GOP の割り当て符号量 G_{out} は以下の式 (2) より求められる。また出力ビットストリームの 1GOP の I, P ピクチャの割り当て符号量 G'_{out} は以下の式 (3) により求められる。

$$G_{out} = \text{Bit_rate}_{out} \times N / \text{Frame_rate} \quad (2)$$

$$G'_{out} = G_{out} - N_B \times b_{out} \quad (3)$$

ただし、 N_B は 1GOP の B ピクチャの数である。

3.3 提案符号量制御アルゴリズム

前記の B ピクチャ符号量削減処理、および I, P ピクチャへの符号量割り当て符号量制御を踏まえ、提案符号量制御アルゴリズムを説明する。

図 4 に本提案符号量制御方式によるトランスコーダを示す。各 MB の符号化モードを修正するモード修正器では、I, P ピクチャの再量子化処理による符号化モード修正に加え、B ピクチャ符号量削減処理による符号化モード修正処理も行われる。

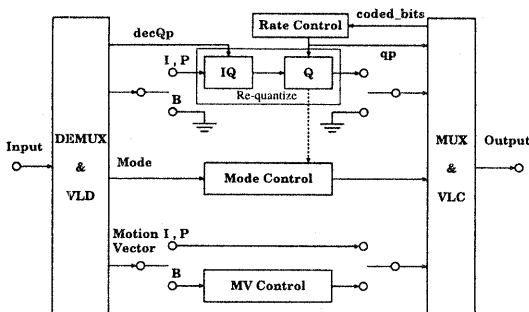


図 4: MPEG-2 トランスコーダブロック図

提案符号量制御アルゴリズムは、トランスコーダに入力されるピクチャのタイプによって処理が分かれる。以下では I, P ピクチャと B ピクチャにわけて提案符号量制御アルゴリズムを示す。

1. 可変長復号器は、入力されたピクチャタイプに応じて各スイッチを切り替える。
2. I ピクチャまたは P ピクチャが入力された場合は以下の処理を行う。

- (a) 符号量制御器は可変長符号化器よりこれまでの総発生符号量を受け取り、TM5 符号量制御方式の Step1 の処理に基づいてピクチャ毎に符号量割り当てを行う。B ピクチャの枚数 $N_b = 0$ より、以下の式 (4), (5) が導かれ、この 2 式にしたがい I, P ピクチャの割り当て符号量を決定する。

$$T_i = R / (1 + N_p X_p / (X_i K_p)) \quad (4)$$

$$T_p = R / N_p \quad (5)$$

- (b) 各ピクチャにおいて、符号化済 MB の発生符号量に基づいて符号量制御器は次の MB の再量子化処理に用いられる量子化パラメータ qp (第 2 段量子化パラメータ) を求め、再量子化器に出力する。
- (c) 再量子化器は、入力 MB の量子化パラメータ $decQp$ と qp を用いて再量子化処理を行い、再量子化係数と qp を可変長符号化器に出力する。また、再量子化器は、 qp の変化や量子化係数符号の有無を符号化モード制御器に出力する。
- (d) 符号化モード制御器は、 qp の変化や量子化係数符号の有無に応じて符号化モードを再度決定し、可変長符号化器に出力する。
- (e) 動きベクトル符号はそのまま可変長符号化器に入力され、出力ビットストリームに符号化される。

3. B ピクチャが入力された場合は以下の処理を行う。

- (a) 動きベクトル符号が動きベクトル情報変換器に入力され、逆方向予測で差分動きベクトル値が水平・垂直方向成分共に 0 である動きベクトル符号に変換される。動きベクトル情報変換器は、変換した差分動きベクトル情報を可変長符号化器に出力する。
- (b) 量子化係数符号は符号化モードによらず全て棄却される。
- (c) 符号化モード制御器は、式 (1) に基づいて出力 B ピクチャ内の各 MB に対して MB AI 値を求める。また、全ての MB に対して MB タイプ情報を「逆方向予測・量子化係数なし」とし、可変長符号化器に出力する。

4. 可変長符号化器は、各処理器から入力されたデータおよび符号を MPEG-2 ビデオビットストリームのシンタックスに準拠させて符号化する。
5. 入力ビットストリーム中の全てのピクチャに対して 1 から 4 までの処理を繰り返し行う。

4. シミュレーション実験

提案手法の効果を検証するため、シミュレーション実験を行う。

4.1 実験条件

本シミュレーションにおける実験条件を表 1 に示す。

表 1: シミュレーション実験条件

符号化方式	MPEG-2 MP@ML
入力ビットレート	6[Mbps]
出力ビットレート	1.5[Mbps]
テストシーケンス	Bicycle, Bus, Cheer Leader Flower Garden, Football Mobile&Calendar, Table Tennis
画像フォーマット	ITU-R Rec.601 4:2:0 Format 輝度信号 704[pe]×480[line] 色差信号 352[pe]×240[line]
GOP 構造	N=15, M=3
フレーム数	150 フレーム

本シミュレーション実験表1の条件のもとで、1GOPのBピクチャのフレーム数 N_B は、 $N_B = N - N/M = 10$ である。また、Bピクチャの1フレームの発生符号量 b_{out} は、3.1により $b_{out} = 2304[\text{bit}]$ と算出できる。

4.2 符号量制御の観点からの評価および考察

表1に示した実験条件により符号化された6[Mbps]のMPEG-2ビットストリームを1.5[Mbps]にトランスコードした場合の発生符号量をビットレートへ換算し、表2に示す。また目標ビットレートとの誤差を示す。フレーム毎の割り当て符号量と発生符号量の関係を図5に、VBVバッファ占有量の変化を図6に示す。VBVバッファの占有量の変化は縦軸の最大値をVBVバッファサイズとして示す。

表 2: 出力ビットレート

シーケンス名	出力ビットレート [bps]	誤差 [%]
Bicycle	1499908	0.0061
Bus	1500124	0.0083
Cheer	1500010	0.0007
Flower	1501415	0.0943
Football	1500007	0.0005
Mobile	1499761	0.0159
Table	1500172	0.0115

表2に示すように1.5[Mbps]との誤差は最大で0.0943[%]であり、どのシーケンスも0.1[%]以内である。結果からほぼ1.5[Mbps]にトランスコードできている。各フレーム単位の符号量およびVBVバッファ占有量の変化から符号量制御できていることを確認する。図5において(a)Bus (b) Flower Gardenのフレーム単位での割り当て符号量と発生符号量がほぼ一致している。図6に示すVBVバッファ占有量の変化を見ると、VBVバッファ占有量が安定して推移していることから、本提案符号量制御方式により符号量制御できていることが確認できる。

4.3 画質の観点からの評価および考察

フレームスキップする場合のSN比は、MPEG-4で用いられている方法に基づき評価する^[6]。この方法は一般的なSN比測定方法と同様にフレーム番号の同じ原画像とトランスコードにより得られた出力ビットストリームの復号再生画像を比較する。

表1の実験条件により符号化された6[Mbps]のMPEG-2ビットストリームを提案符号量制御方式および再量子化を用いた符号量制御方式に基づき1.5[Mbps]にトランスコードした場合の全体および各ピクチャタイプのSN比の平均をそれぞれ、表3、4に示す。また本提案符

表 3: 150frameの平均SN比[dB](輝度, 1.5Mbps)

sequence	Ipicture	Ppicture	Bpicture	Average
Bicycle	29.46	25.36	16.47	17.27
Bus	29.75	28.36	16.47	18.10
Cheer	28.76	26.00	16.56	18.10
Flower	26.81	24.96	15.03	16.59
Football	34.96	30.76	18.72	20.37
Mobile	25.30	24.94	16.40	17.87
Table	28.46	27.57	19.40	20.86

表 4: 再量子化手法の平均SN比[dB](輝度, 1.5Mbps)

sequence	Ipicture	Ppicture	Bpicture	Average
Bus	27.57	25.63	26.18	26.10
Flower	25.53	23.21	24.04	23.88
Mobile	24.91	23.89	24.09	24.08

号量制御方式と再量子化を用いた符号量制御方式を比較し、図7に示し、どれだけ画質劣化が抑えられたか表5に示す。

表 5: 再量子化と比較したときのSN比の差分[dB]

sequence	Ipicture	Ppicture
Bus	2.18	2.73
Flower	1.28	1.75
Mobile	0.39	1.05

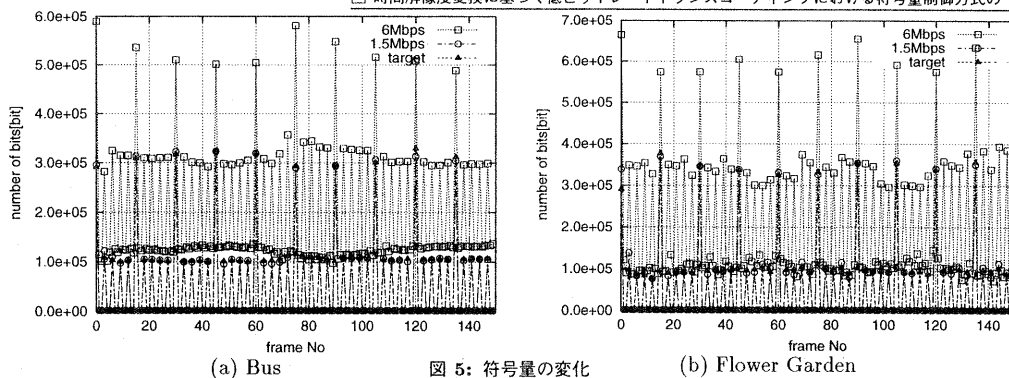
BピクチャのSN比の値が極端に低いのは、実際は復号後のBピクチャは直後のI、またはPピクチャと同じ画面になっているので、I、Pピクチャと原画像のBピクチャを比較しているからである。時間的な違いを考えず画質の点だけで、Bピクチャの評価を行うと、Bピクチャは直後のI、またはPピクチャと同程度のSN比をとる画像と考えられる。

本提案符号量制御方式によるI、PピクチャのSN比は、表5に示したように再量子化手法を用いた場合と比較して向上が見られる。Bピクチャの符号量を削減し、その符号量をI、Pピクチャに割り当てるため、再量子化手法だけを用いた符号量制御の場合に比べて、I、Pピクチャの割り当て符号量が多いためSN比が良くなっていると考えられる。視覚的フレームスキップによるI、Pピクチャへの割り当て符号量の増分とSN比の関係についての検討は今後の検討課題である。

4.4 提案方式の有効範囲に関する考察

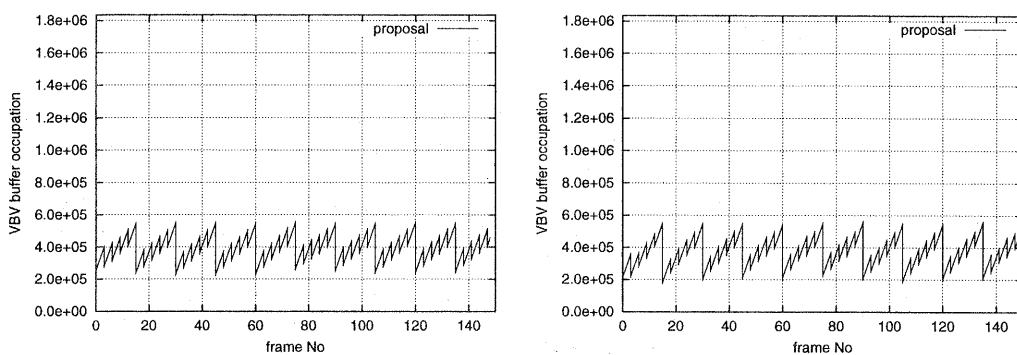
本提案符号量制御方式の効果が得られる目標ビットレートの有効範囲について考察する。0.5~4.0[Mbps]の範囲で0.25[Mbps]毎に出力ビットストリーム全体の符号量を調べ、目標に対する実際の出力ビットレートの関係を図8に示す。図8において、目標設定ビットレート

□ 時間解像度変換に基づく低ビットレートトランスコーディングにおける符号量制御方式の一検討



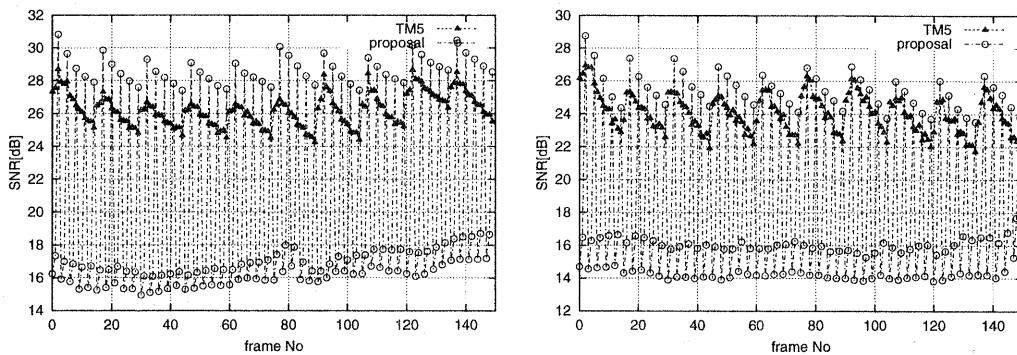
(a) Bus (b) Flower Garden

図 5: 符号量の変化



(a) Bus (b) Flower Garden

図 6: VBV バッファ占有量の変化



(a) Bus (b) Flower Garden

図 7: SN 比の変化

が 0.75~3.5 までは、目標ビットレートと同程度の出力ビットレートに符号量制御できていることが分かる。しかし、0.75 以下または 3.5 以上では、出力ビットレートはあまり変化がなくなり、目標ビットレートに対して符号量制御できていない。そこで、符号量制御できない原因について検討する。

符号量制御可能な上限として、I、P ビクチャの入力ビットストリームの符号量に対する割り当て符号量の条件が考えられる。出力ビットストリームの I、P ビクチャの符号量 i_{out} 、 p_{out} を入力ビットストリームの I、P ビクチャの符号量 i_{in} 、 p_{in} より多く割り当てても画像改善などの効果は得られない。したがって出力ビットストリームの I、P ビクチャに割り当て可能な符号量には

上限がある。そこで、その条件に基づき出力ビットレートの範囲について検討する。

出力ビットストリームの I、P の合計符号量が入力ビットストリームの I、P の合計符号量を上回ることがないので、以下の式 (6) が成り立つ。入出力ビットストリームにおいて、I、P ビクチャの合計符号量は 1GOP の総符号量から B ビクチャの符号量を引いた値なので、式 (6) から式 (7) を導く。式 (7) を変換し、式 (8) が成り立つ。

$$N_I \times i_{in} + N_P \times p_{in} \geq N_I \times i_{out} + N_P \times p_{out} \quad (6)$$

$$G_{in} - N_B \times b_{in} \geq G_{out} - N_B \times b_{out} \quad (7)$$

$$G_{in} - G_{out} \geq N_B \times (b_{in} - b_{out}) \quad (8)$$

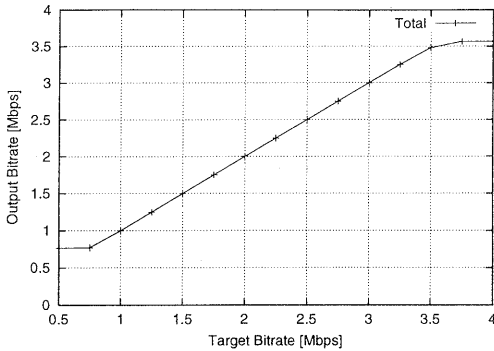


図 8: 目標に対する実際出力ビットレート (Bus)

本方式で B ピクチャの符号量を大きく削減するため、入出力ビットレートの差が小さいトランスコードをした場合、式 (8) の条件を満たさない場合が考えられる。このとき発生符号量は制限され、割り当て符号量より少ない値をとり、設定の出力ビットレートより小さくなる。そのため VBV バッファの占有量が増えて、VBV バッファが破綻し、符号量制御できない。テストシーケンス Bus に対し、入力ビットストリームの 1GOP の符号量、B ピクチャの符号量、出力ビットストリームの B ピクチャの符号量を調べ、式 (8) より $G_{out} \leq 3.58$ [Mbps] 程度までは、この条件をみとすことが分かった。図 8 を見ると目標ビットレートが 3.5 [Mbps] までは、符号量制御できている。したがって理論値に近い値が得られ、式 (8) の条件により提案方式の有効範囲が決定されることを確認した。

次に符号量制御できない理由として、量子化パラメータの値に対する条件が考えられる。図 9 に qp の変化を示す。目標ビットレートを 0.75 [Mbps] 以下に設定した場

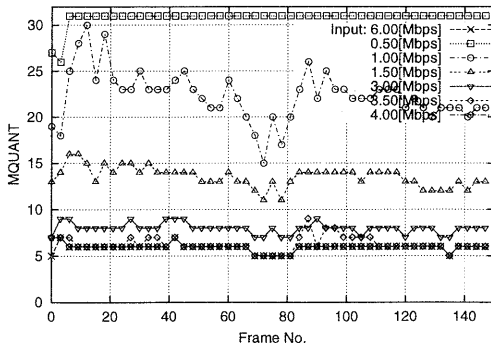


図 9: 量子化パラメータの変化

合、 qp がほとんど全てのフレームで 31 を取っている。また、目標ビットレートを 3.5 [Mbps] 以上に設定した場合、 qp が $decQp$ と同じ値をとっている。

量子化ステップを決定する量子化パラメータ qp は、1~31 に正規化される。したがって以下の式 (9) が成り立つ。

$$1 \leq qp \leq 31 \quad (9)$$

例えば、フレーム単位での符号量制御を考えたとき、割

り当て符号量が小さい値を取る場合、量子化ステップを大きくすることで、符号量を減らそうとする。 qp を大きい値に設定しようとするが、式 (9) より最大値 $qp = 31$ となり、それ以上の値をとることはできない。したがって、0.75 [Mbps] 以下では目標の符号量に減らすことができず、要求に応じた符号量削減を行うことができないと考えられる。同様のことが割り当て符号量大きい場合にも言え、符号量制御できない場合がある。割り当て符号量が大きい値をとる場合、量子化ステップを小さくすることで、符号量を増やそうとする。そこで、 qp を小さい値に設定しようとするが、入力量子化パラメータ $decQp$ より小さい値を取っても画質改善などの効果は得られない。したがって式 (9) より qp の範囲として以下の式 (10) が成り立つ。

$$decQp \leq qp \leq 31 \quad (10)$$

5. まとめ

本稿では、低ビットレートへの符号量制御を目的とし、時間解像度変換に着目した符号量制御手法を検討した。視覚的フレームスキップを定義し、視覚的フレームスキップに基づくトランスコーディング符号量制御方式を提案した。さらにシミュレーション実験を行い、目標ビットレートを 1.5 [Mbps] としてトランスコードを行い、符号量制御できていることを確認した。画質について再量子化手法を用いた場合と比較し、検討を行った。また提案手法の効果が得られる目標ビットレートの範囲について検討を行った。今後は、GOP 構造に依存しないアルゴリズムの検討、視覚的フレームスキップによる I、P ピクチャへの割り当て符号量の増分と SN 比の関係についての検討、および [4] で報告されている手法を考慮した符号量制御方式について検討を行う。

参考文献

- (1) 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ダソフトウェアの開発”, 情処研報, AVM25-5 (1999).
- (2) 笠井, 花村, 永吉, 亀山, 富永: “低遅延 MPEG-2 ビデオトランスコーダ符号量制御方式の検討”, 情処研報, OFS99-35, IE99-44 (1999).
- (3) 永吉, 笠井, 花村, 亀山, 富永: “再量子化特性を利用した MPEG-2 トランスコーダ量子化制御方式の検討”, 信学技報, IE99-75 (1999).
- (4) 高屋, 笠井, 花村, 富永: “動画像符号化およびトランスコーディングにおける量子化マトリクス動的更新制御の検討”, 信学技報, IE99-80 (1999).
- (5) ISO-IEC JTC1, MPEG 93/N225b: “Test Model 5 /draft” (1993).
- (6) J. Ribas-Corbera and S. Lei: “Rate Control in DCT Video Coding for Low-Delay Communications”, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.9 No.1 (1999).