

MPEG-4 AVC/H.264におけるCPBバッファを考慮した符号量制御方式

松村 篤志[†] 内藤 整[†]
小池 淳[†] 松本 修一[†]

動画像符号化において適切な符号量制御は、画質向上のための重要な課題である。しかしながら、各ピクチャに対する符号量をあらかじめ決定した場合には、シーンチェンジなどに代表される前フレームとの相関が低いフレームにおいて画質が著しく劣化してしまうという問題がある。この問題を解決するため、本発表では目標符号量を定義した上で、符号化対象フレームの性質、およびマクロブロックタイプを考慮に入れた符号量制御方式を新たに提案する。また、実験により提案方式の有効性の検証を行う。

Optimal Rate Control Scheme in MPEG-4 AVC/H.264 with Considering CPB Buffer

ATSUSHI MATSUMURA,[†] SEI NAITO,[†] ATSUSHI KOIKE[†]
and SHUICHI MATSUMOTO[†]

Appropriate bit-rate controlling is very important to improve video image qualities. However, deciding the bit-rate of each picture in advanced leads the degradation of image qualities in case the frame requires large amount of motion compensation values such as scene changes. To solve the problem, this paper proposes a novel bit-rate control method, which considers the available bits in encoded GOP and the natures of the encoded frames. Moreover, the effectiveness of the proposed method is evaluated by several experimental results.

1. はじめに

動画像符号化の新方式である H.264 は、地上デジタル放送の携帯受信サービスにおいて採用されるなど、主に低ビットレートの動画像アプリケーションにて活用されつつある。同方式を固定ビットレートにて利用する際には、符号量の制御が必要となる。符号量の制御を目的とした方式として、MPEG-2 や MPEG-4 など従来の符号化方式を対象としたものがいくつか提案されている。たとえば、文献 1) では、ピクチャタイプの性質を考慮した上で、各フレームに対する目標符号量を決定する方式を提案している。しかしながら、同方式では、シーンチェンジなどに代表される対象画像の性質の変化を考慮に入れていないため、同変化が起こった際の画質劣化が問題となる。また、文献 2) では、SOP と呼ばれる一連のピクチャセットに対する目標符号量を定め、これに基づいた符号量の配分を行っている。しかしながら同方式は各フレームの符号量のみを算出しているため、H.264 におけるマクロブロック毎に符号化方式を変更させる機能を用いる場合にはそのまま適用することが困難となる。

そこで、本稿では、画質の安定化を目的とし、伝送レートが制限される状況下においてピクチャタイプおよびマクロブロックタイプごとに量子化パラメータ (Q 値) を算出することによって、符号量の制御を最適

に行うための方式を提案する。さらに、提案方式ではシーンチェンジ判定を導入することによって画像性質の変化への対応を可能とする。シミュレーション実験によって、提案方式の妥当性の検証を行い、さらに、従来方式との比較によってより安定した符号量制御がなされていることを確認する。

2. 提案方式

H.264 の符号化参照ソフトである JM³⁾ では、以下の手順によって符号化がなされる。

手順 1: Q 値の決定

直前の符号化マクロブロック、およびビットレートをもとに、符号化対象マクロブロックに対する Q 値の設定を行う。

手順 2: 最適マクロブロックタイプの選択

手順 1 によって算出がなされた Q 値を用いて、各マクロブロックタイプによる符号化処理を行った上で、最適なマクロブロックタイプの選択を行う。

手順 3: 符号化データの出力

手順 2 にて選択がなされたマクロブロックタイプによる符号化処理結果を出力し、算術符号化におけるパラメータの更新を行う。

提案方式は、手順 1 における処理に着目し、各マクロブロックタイプに対する適切な Q 値を設定するものである。本方式における適切な Q 値とは、目標符号量内において、同一フレームにおける各マクロブロックの歪み量が一定となり、かつ、SOP 内の各フレー

[†] 株式会社 KDDI 研究所 映像通信グループ
KDDI R&D Labs Inc. Visual Communication Group.

ムにおけるピクチャタイプ毎の歪み量割合が一定となるために用いられる値であると定義する。具体的な処理手順は以下の通りである。

手順1: SOP に対する目標符号量を定める。

手順2: 符号化対象マクロブロックにおける適切な Q 値を各マクロブロックタイプにおいて選出する。

手順3: 処理2によって選出がなされた Q 値を用いて JM によるマクロブロックタイプの選択および符号化処理を行う。

手順4: マクロブロックの符号化が終了した後に、パラメータの更新およびシーンチェンジ判定を行い、同判定に適合する場合には、パラメータの初期化処理を行う。

手順5: 当該フレームにおける未符号化マクロブロックが存在する場合は手順2に戻り、それ以外の場合は手順6に進む。

手順6: フレーム全体の符号化終了後に、未符号化フレームに対するパラメータの更新を必要に応じて行った上で手順1に戻る。

以下の各節において、各手順の詳細を示す。ただし、手順3については、JM で用いられる処理をそのまま適用しているため、説明を省略する。

2.1 目標符号量の設定

提案方式では、バッファ量を考慮に入れた目標符号量を定め、それに基づいた符号量制御を行う。同方式に従うことによって、CPB 内の破綻防止に繋がる制御が可能となる。提案方式における目標符号量は、文献2)の手法をもとに、2.3.2節におけるシーンチェンジに対応させるため、以下の各節に従って算出する。

2.1.1 初期値の設定

提案方式では、一般的なビット配分の制御単位である GOP の他に、SOP²⁾ という単位を定義する。GOP および SOP の定義を以下に示す。

GOP とは、ビット配分を行う際に用いられる複数枚のフレームの集合を表し、I ピクチャから I ピクチャの直前(終端 GOP においては I ピクチャから終端まで)までの一連のフレームを表すのが一般的である。提案方式では、JM に従い、先頭と終端以外の GOP において、ピクチャの枚数は常に定数 N_G であると定義する。GOP の例を図1に示す。ただし、これらのフレームは符号化順に並んでいるものとする。GOP 内の先頭ピクチャは I ピクチャであり、その後には B ピクチャが N_B 枚(図1では2枚)続く。以下、P ピクチャ1枚と B ピクチャが N_B 枚という組が N_P 回(図1では4回)続く。従って、以下の式によって N_G が算出される。

$$N_G = (1 + N_P) \times (1 + N_B) \quad (1)$$

例えば、図1では $N_P = 4$ 、 $N_B = 2$ より、 $N_G = 15$

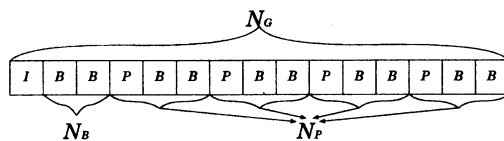


図1 GOP の構成

となる。

一方、SOP とは、当該フレームから N_G 枚分のフレームを表す。文献2)における手法は、1章にて述べた通りそのまま用いることは困難であるが、SOP の概念は CPB の安定を主眼としているため、H.264 など CPB を考慮に入れるべき他方式においても適用可能であると考えられる。提案方式では、GOP 先頭でピクチャデータの引き抜きが開始されるバッファ占有量 v_0 、および理想とするバッファ量 v_T を別途定め、初期段階における SOP 内の目標符号量 R_S を以下の式により定義する。

$$R_S = N_G \times \frac{\text{bit.rate}}{\text{frame.rate}} + v_0 - v_T \quad (2)$$

$$R_G = R_S \quad (3)$$

ただし、 R_G は、シーンチェンジ処理に用いる R_S の初期値を蓄積するための変数であり、2.1.3節にて参照および更新がなされる。

2.1.2 R_S の更新

各フレームにおける符号量はフレーム毎の性質や参照画像の信頼性、およびピクチャタイプなどに依存するため、目標となる符号量を定めた場合においても、実際の発生符号量と異なる場合がある。そこで、提案方式では同差分を吸収するため、フレーム毎の符号化処理が終了した後、以下の式によって R_S の更新を行う。

$$R_S \leftarrow R_S + R(C) - S(C) \quad (4)$$

ただし、 \leftarrow は右辺の値を左辺に代入することを表し、 $R(C)$ 、および $S(C)$ は当該フレーム C における目標符号量、および実際の発生符号量を表す。 $R(C)$ は2.2.2節にて算出されるマクロブロック毎の目標符号量の合計とする。

2.1.3 R_S の再定義

式(5)によって R_G の更新を I ピクチャを符号化する直前において行い、さらに同様のタイミングにて R_S と R_G の整合性をとるため、式(6)によって R_S を再定義する。

$$R_G \leftarrow R_G + N(I) \times \frac{\text{bit.rate}}{\text{frame.rate}} - S(I) \quad (5)$$

$$R_S = R_G \quad (6)$$

ただし、 $N(I)$ 、および $S(I)$ は R_G の更新後に符号化を行ったフレームの枚数(最初の更新においては全符号化済フレームの枚数)、および同フレームにおける符号量の合計を表す。

2.2 各マクロブロックにおける Q 値の選出

提案方式では、マクロブロック毎に、下記の流れにてマクロブロックタイプ別に Q 値に対する評価を行う。まず、2.2.3節にて述べる手法によって評価対象となる Q 値から歪み量を予測し、同歪み量を用いて SOP 内の符号量を予測する。その後、同予測符号量と R_S との差分の絶対値を Q 値に対する評価値とし、同評価値が最も低いものを選出する。ただし、P ピクチャもしくは B ピクチャにおいてそれぞれ符号化済のピクチャが存在しない場合は、Q 値として初期値 Q_d を用いる。

以下2.2.1節、および2.2.2節において歪み量が決

まった際の予測符号量の算出式を定義し、2.2.3節において実際の処理の流れを説明する。

2.2.1 未符号化フレームの符号量予測

本節では、フレーム番号 $m + N_G$ における各マクロブロックタイプ n ($n \in 1, 2, \dots, M$) の歪み量が $D'(m + N_G, n)$ として与えられた際におけるフレームの予測符号量 $R(m + N_G)$ の算出手順について説明する。提案方式では、初期 GOP 以降における GOP 内のピクチャの出現パターンが一定であるため、図2に示すように符号化対象フレームのピクチャタイプを $F(C)$ と表すと、 $F(i+1)$ から $F(i+N_G-1)$ は $F(i-N_G+1)$ から $F(i-1)$ におけるそれらと完全に一致する。同一ピクチャタイプにおけるマクロブロックタイプの割合が一定であると仮定すると、 $F(i+1)$ から $F(i+N_G-1)$ におけるマクロブロックタイプの発生数は $F(i-N_G+1)$ から $F(i-1)$ までのマクロブロックタイプの発生数によって表すことができる。

R-D 特性を GOP 内における符号化順序およびマクロブロックタイプのみ依存すると仮定し、以下の式によって定義する。

$$\begin{aligned} \log(T(m, n) \times D'(m + N_G, n)) &= \\ \log T(m, n) + \log D'(m + N_G, n) &= \quad (7) \\ A(m, n)R(m + N_G, n) + B(m, n) & \end{aligned}$$

ここで、 $T(m, n)$ 、 $R(m + N_G, n)$ はそれぞれ第 m フレームにおけるマクロブロックタイプ n の発生回数、および第 $m + N_G$ フレームにおける同発生符号量の合計を表し、 $A(m, n)$ 、 $B(m, n)$ はそれぞれ第 m フレームのマクロブロックタイプ n における R-D 特性を表す係数とする。ただし、R-D 特性は、直線にて表現するのが困難であるため、式 (8)、(9) の条件に従って、 $A(m, n)$ および $B(m, n)$ の適用範囲を定め、算出には式 (10)、および式 (11) を用いる。

$$\begin{aligned} A(m, n) &= A(m, n, q) \\ \text{if } D(m, n, q) \leq D'(m + N_G, n) \times T(m, n) & \quad (8) \\ &\leq D(m, n, q + 1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B(m, n) &= B(m, n, q) \\ \text{if } D(m, n, q) \leq D'(m + N_G, n) \times T(m, n) & \quad (9) \\ &\leq D(m, n, q + 1) \end{aligned}$$

$$A(m, n, q) = \frac{D(m, n, q) - D(m, n, q + 1)}{R(m, n, q) - R(m, n, q + 1)} \quad (10)$$

$B(m, n, q) = D(m, n, q) - A(m, n, q)R(m, n, q)$ (11) ただし、 $D(m, n, q)$ 、 $R(m, n, q)$ はそれぞれ Q 値が q の際の各マクロブロックにおける歪み量の合計、および符号量の合計とし、2.3 節にて定義される値を用いる。 Q 値の増加に伴って符号量は常に減少し、歪み量は常に増加することから、 $A(m, n)$ の値は常に負となる。従って、 $D(m, n, 0)$ から $D(m, n, 51)$ の範囲にお

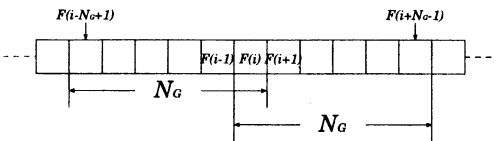


図2 ストリーム内の符号化対象フレーム

いて、 $D(m, n)$ が決定すれば、 $R(m, n)$ は一意に決定されることとなる。

式 (7) を $R(m + N_G, n)$ について解くと、式 (12) と表されることより、式 (13) によってフレーム番号 $m + N_G$ における予測符号量 $R(m + N_G)$ が算出される。

$$\begin{aligned} R(m + N_G, n) &= \\ \frac{\log T(m, n) + \log D'(m + N_G, n) - B(m, n)}{A(m, n)} & \quad (12) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R(m + N_G) &= \\ \sum_{n=1}^M \frac{\log T(m, n) + \log D'(m + N_G, n) - B(m, n)}{A(m, n)} & \quad (13) \end{aligned}$$

2.2.2 符号化当該フレームの符号量予測

一部のフレームでは、当該フレームにおける R-D 特性やマクロブロックタイプの出現割合が局所的に変動することがある。同フレームに対応するため、提案方式では、当該フレームにおけるマクロブロックタイプの出現割合、および R-D 特性を 2.2.1 節とは別に算出する。本節では、当該フレームにおけるマクロブロックタイプ n の歪み量が $D'(C, n)$ として与えられた際におけるフレームの予測符号量 $R''(C)$ の算出方を説明する。

まず、当該フレームにおける先頭マクロブロックから符号化対象マクロブロックまでのマクロブロックタイプ n の発生回数 $T(C, n)$ をマクロブロックタイプごとに観測した上で、以下の式によってフレーム全体の予測符号量 $R''(C)$ と 1 マクロブロックの平均符号量 $R'(C, n)$ の関係を表す。

$$R''(C) = R_f(C) + n_y(C) \sum_{n=1}^M \frac{T(C, n)}{n_f(C)} R'(C, n) \quad (14)$$

ただし、 $R_f(C)$ 、 $T(C, n)$ 、 $n_y(C)$ 、 $n_f(C)$ はそれぞれ当該フレームにおける当該マクロブロックまでの符号量、マクロブロックタイプ n の発生回数、未符号化マクロブロック数、および符号化済マクロブロック数を表す。 $R'(C, n)$ を符号化済マクロブロックにおけるマクロブロックタイプ別の符号量の合計とすると、式 (15) が成り立つため、式 (16) における R-D 関数は式 (17) となる。

$$R(C, n) = R'(C, n)T(C, n) \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \log(T(C, n) \times D'(C, n)) &= \\ = A(C, n)R(C, n) + B(C, n) & \quad (16) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \log(T(C, n) \times D'(C, n)) &= \\ = \log D'(C, n) + \log T(C, n) & \quad (17) \\ = A(C, n)T(C, n)R'(C, n) + B(C, n) & \end{aligned}$$

ただし、 $A(C, n)$ および $B(C, n)$ は当該フレームにおける符号化済マクロブロックより 2.2.1 節と同様の方式を用いて算出される R-D 特性を表す係数であり、 $A(m, n)$ 、 $B(m, n)$ と同様に式 (8)、(9) の条件に従うこととする。式 (14) と式 (17) によって式 (18) が導

かれる。

$$R''(C) = R_f(C) + \frac{n_y(C)}{n_f(C)} \sum_{n=1}^M \left(\frac{\log T(C, n) + \log D'(C, n) - B(C, n)}{A(C, n)} \right) \quad (18)$$

しかしながら、当該フレームにおけるサンプル数が少ない場合には、 $T(C, n)$ 、 $A(C, n)$ および $B(C, n)$ における信頼性が低いため、当該ピクチャにおける符号化済マクロブロック数の割合が閾値 T_b より低い時のみ、 $R(C, n)$ 、 $T(C, n)$ および $n_f(C)$ を以下に示す式によって置き換えることとする。

$$R(C, n) \leftarrow R(C, n) + R(i - N_G, n) \quad (19)$$

$$T(C, n) \leftarrow T(C, n) + T(i - N_G, n) \quad (20)$$

$$n_f(C) \leftarrow n_f(C) + n_{all} \quad (21)$$

ただし、 n_{all} は、1 フレームあたりの全マクロブロック数を表す。

2.2.3 適切な Q 値の選出

2.2.1 節および 2.2.2 節によって定義された符号量算出式を用いて当該マクロブロックにおける Q 値をマクロブロックタイプ別に選出する。提案方式では、フレーム間の歪み量の割合が以下の式に従うことを目標とする。

$$D(I) = D(P) = w_b \times D(B) \quad (22)$$

ただし、 $D(I)$ 、 $D(P)$ 、および $D(B)$ はそれぞれ I、P、B ピクチャにおける各フレームの歪み量を表す。

同目標に従って、当該マクロブロックにおけるマクロブロックタイプを n'' 、Q 値を $q(C, n'')$ と仮定した際の評価値 $E(C, n'', q(C, n''))$ を以下の手順で求める。まず、表 1 に従い、マクロブロック毎の目標歪み量 $D'(m, n)$ を定義する。ここで、 $D(C, n, q(C, n''))$ は 2.3 節にて定義される値を用いることとし、当該ピクチャにおける符号化済マクロブロック数の割合が閾値 T_b より低い場合には、 $T(C, n)$ および $D(C, n, q(C, n''))$ を式 (20) および式 (23) によって置き換えることとする。

$$D(C, n, q(C, n'')) \leftarrow D(C, n, q(C, n'')) + D(i - N_G, n, q(C, n'')) \quad (23)$$

同定義による $D'(m, n)$ を式 (13) および式 (18) に当てはめ、以下の式を用いて $q(C, n'')$ に対する評価値 $E(C, n'', q(C, n''))$ を算出する。

$$E(C, n'', q(C, n'')) = \left| R_S - \sum_{m=i}^{i+N_G-1} R(m) \right| \quad (24)$$

$E(C, n'', q(C, n''))$ が最小となるような $q(C, n'')$ を探索し、同値をマクロブロックタイプ n'' における適切

表 1 Q 値に従った各マクロブロックの目標歪み量

	$F(C)=I$ or P	$F(C)=B$
$F(m)=I$ or P	$D'(m, n) = D(C, n, q(C, n'')) / T(m, n)$	$D'(m, n) = D(C, n, q(C, n'')) / T(m, n) / w_b$
$F(m)=B$	$D'(m, n) = D(C, n, q(C, n'')) / T(m, n) \times w_b$	$D'(m, n) = D(C, n, q(C, n'')) / T(m, n)$

な Q 値 $Q(C, n'')$ と定義する。

2.3 マクロブロック符号化終了後の処理

提案方式では、各マクロブロックの符号化が終了した後に、パラメータの更新、およびシーンチェンジ判定を行う。これによって、当該フレームの性質を反映させた符号量制御を実現させることができる。詳細を以下に示す。

2.3.1 歪み量および符号量の更新

符号化が終了した後、 $R_f(C)$ の更新を以下の式により行う。ただし、これらの初期値は 0 とする。

$$R_f(C) \leftarrow R_f(C) + r(C, C'_n, Q(C, C'_n)) \quad (25)$$

ここで、 C'_n 、 $r(C, C'_n, Q(C, C'_n))$ はそれぞれ選択がなされたマクロブロックタイプ、および当該マクロブロックにおける符号量を示す。同更新終了後に、当該マクロブロックに対して、Q 値を $q = 0, \dots, 51$ に変化させることによって仮符号化を行い、符号量および歪み量の合計値、 $R(C, C'_n, q)$ 、 $D(C, C'_n, q)$ を以下の式を用いて更新する。

$$R(C, C'_n, q) \leftarrow R(C, C'_n, q) + r(C, C'_n, q) \quad (26)$$

$$D(C, C'_n, q) \leftarrow D(C, C'_n, q) + d(C, C'_n, q) \quad (27)$$

ただし、 $r(C, C'_n, q)$ 、 $d(C, C'_n, q)$ は当該マクロブロックにおいて Q 値を q としたときの符号量、同歪み量を表す。

最後に、マクロブロックタイプの発生回数 $T(C, C'_n)$ を以下の式により更新する。

$$T(C, C'_n) \leftarrow T(C, C'_n) + 1 \quad (28)$$

2.3.2 シーンチェンジ判定

動画像中にシーンチェンジが存在する場合、その前後フレームにおける画像の性質が大きく異なるため、前節までにおいて説明を行った方式では適切なレート制御が困難となる。この問題を解決するため、提案方式ではシーンチェンジの判定を行い、同判定に適合した場合には以下に述べる処理を行う。以下に判定方式、および処理内容を説明する。

シーンチェンジ直後の画像の性質として、前フレームとの間の相関が低くなるため、イントラ符号化の割合が増加することがあげられる。そこで、提案方式では、以下に示す 2 つの条件を共に満たした場合にシーンチェンジが発生したと見なす。

判定 1: 当該ピクチャにおける符号化済マクロブロックの割合が定数 $Th(MB)$ を超えている。

判定 2: 当該ピクチャ内の符号化済マクロブロックのうち、intra 符号化の割合が一定値 $Th(IT)$ を超えている。

シーンチェンジと見なされた際には、当該フレームの符号化が終了後に処理 1 および処理 2 を行い、 $i+1$ フレーム目以後 P ピクチャもしくは B ピクチャがシーンチェンジ後にシーンチェンジ先頭を除き符号化がなされない場合においては、Q 値を常に Q_d として符号化を行う。

処理 1: R_S の再定義

提案方式では、シーンチェンジ直後の目標符号量 $R(C)$ の予測が困難となるため、式 (5)、(6) を適用させる。

処理 2: R-D 関数の代入

シーンチェンジ直後のピクチャにおける全マクロブロックの符号化が終わった後、当該 GOP 内の I ピクチャにおけるマクロブロック発生割合、ビットレート、および歪み量を以下の式を用いて更新する。

$$T(k(C), n) = T(C, n) \times \frac{n_{all}}{n_i(C)} \quad (29)$$

$$R(k(C), n, q) = R(C, n, q) \times \frac{n_{all}}{n_i(C)} \quad (30)$$

$$D(k(C), n, q) = D(C, n, q) \times \frac{n_{all}}{n_i(C)} \quad (31)$$

ここで、 $k(C)$ は、当該 GOP 内の I ピクチャを、 $n_i(C)$ は、当該フレームにおける intra マクロブロックの発生回数を表す。

2.4 フレーム符号化終了後の処理

フレーム内のマクロブロックの符号化が全て終了した後、式(32)を m ($m \in i-N_G+1, i-N_G+2, \dots, i-1$) に対して適用させることによって、符号量、歪み量および発生回数の代入を行う。同処理によって、先頭 GOP やシーンチェンジを含む GOP などにおいても提案手法を適用することが可能となる。ただし、シーンチェンジ直後のフレームにおいては、同フレームの信頼性が低いと考えられるため、以下の処理は行わないこととする。

$$\begin{cases} R(m, n, q) \leftarrow R(C, n, q) \\ D(m, n, q) \leftarrow D(C, n, q) \\ T(m, n) \leftarrow T(C, n) \end{cases} \quad (32)$$

if $F(C) = F(m)$ and $m \leq s(C)$

ここで、 $s(C)$ は直前に発生したシーンチェンジ (初期値は 0) におけるフレーム番号とする。

3. シミュレーション実験

提案方式の有効性を検証するため、シミュレーション実験を行った。シミュレーション実験には、映像情報メディア学会の SIF 画像・システム評価用標準動画像から、参考画像シーンチェンジ A 内の第 53 フレームから 45 フレーム分を用いた。実験で用いた映像には、第 8 フレームにおいてタイトル画像からシャチの遊泳シーンへのシーンチェンジを含む。 T_B , Q_d , $Th(MB)$, および $Th(IT)$ をそれぞれ 1/8, 41, 1/8, 3/4 とし、目標ビットレートは 500kbps とした。また、本実験で用いた GOP は 15 フレーム、先頭以外は全て P ピクチャとし、 $v_0 = v_T$ とした。

3.1 R-D 関数における検証

提案方式における R-D 関数の妥当性を検証するため、 $R'(m, n)$ と $\log D'(m, n)$ の相関を図 3 に示す。同図より、第 16 フレームにおける符号量 750-1750 付近に代表されるように、局所的には R-D 関数を直線近似することが可能であるが、その前後の符号量においては直線での近似が困難となっていることがわかる。従って、提案方式をあらゆるビットレートに適用させるためには、係数を固定した直線近似を行うことが困難であるため、係数を適応的に変化させることが有効であると考えられる。

次に、第 37 フレームにおける intra マクロブロッ

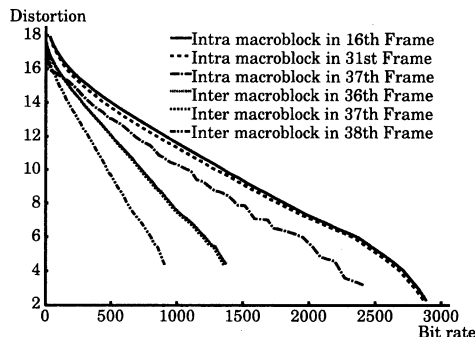


図 3 ピクチャ、およびマクロブロック毎の R-D 相関

クと inter マクロブロックにおける R-D 相関に着目すると、同一フレームにおいてもマクロブロックのタイプが異なる場合には、R-D 特性が異なるため、同一の歪み量を得るためには、マクロブロックタイプ別に符号量を適宜定める必要があることがわかる。

また、同一マクロブロックタイプの平均符号量と歪み量の相関を第 16 フレームおよび第 31 フレーム (ともに I ピクチャ) と、第 38 フレーム (P ピクチャ) における intra 符号化マクロブロックの R-D 相関図より考察する。同図より、同一マクロブロックタイプであった場合においても、第 16 フレームおよび第 31 フレームの R-D 相関が高い一方で、第 35 フレームとの間の相関が低いことがわかる。これは、I ピクチャでは全画素が intra 符号化されるのに対し、P ピクチャでは inter 符号化よりも符号化効率が高い場合のみ intra 符号化されることに起因し、同一マクロブロックタイプであったとしても選択条件が異なる場合においては、R-D 特性が異なるためであると考えられる。提案方式では、未符号化フレームにおける符号量予測に対して、1GOP 前の R-D 相関を用いることによって上記の問題を解決している。

最後に、R-D 特性がフレームにおいて変動する例として、第 36, 37, 38 フレームにおける inter マクロブロックの R-D 相関に着目すると、同一のピクチャ、マクロブロックタイプであるにも関わらず、第 36, 37 フレームに比べ、第 38 フレームの R-D 特性の相関が低いことがわかる。従って、R-D 特性の局所的な変動に適応するために、符号化当該フレームにおける符号量予測を別途行うことが妥当であると考えられる。

3.2 従来方式との比較実験

次に、提案方式による出力画像の画質評価を行うため、各フレームにおける PSNR の算出を行った。同結果を図 4 に示す。比較のため、従来方式として H.264 参照ソフトウェアである JM8.2 における出力画像の PSNR の算出を併せて示す。同結果より、提案方式では、シーンチェンジ以後においても、比較的 PSNR が安定しているのに対し、従来方式ではフレームが進むにつれ画質が徐々に低下しているのがわかる。

原因を図 5 より考察する。従来方式においては、シーンチェンジ直後において符号量の配分が適切に行われなため、目標ビットレートを達成するために、後続

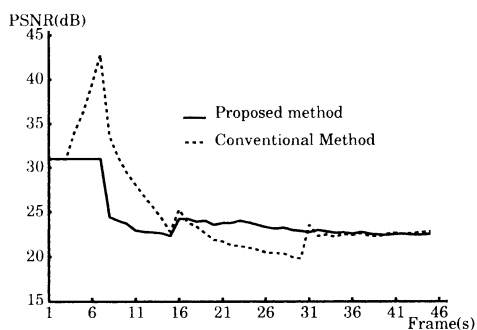


図 4 従来方式との画質比較

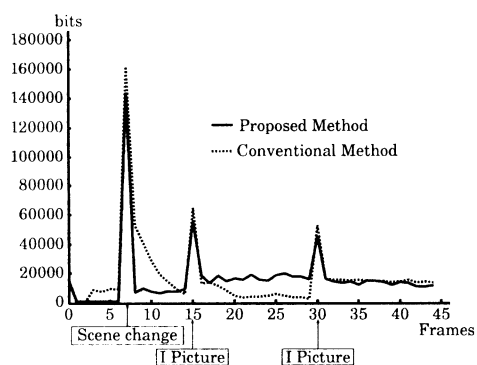


図 5 従来方式との符号量配分比較

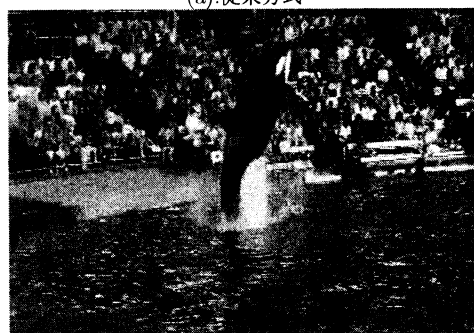
フレーム (図 5 における第 16 フレーム以後) において符号量を大幅に低下させている。また、第 21 フレーム以後においては I ピクチャを参照できず、低画質の画像のみが参照画像として用いられるため、各フレームに対する割り当て符号量がほぼ同一にも関わらず、画質が徐々に低下することとなる。それに対し、提案方式では、シーンチェンジ判定によって各値の初期化および再定義を行い、さらに歪み量を一定にさせることを目的とした符号量配分を行っているため、画質が安定することとなる。実際に第 11 フレーム以後の平均 PSNR を算出した結果、従来方式では、22.6dB、提案方式では、23.1dB となった。出力画像の一例として、従来方式と提案方式によって符号化がなされた第 30 フレームを図 6 に示す。結果より、水面などの動きのあるマクロブロックにおいて、画質が大幅に崩れてしまう従来方式と比べ、提案方式では良好な描画がなされていることがわかる。

4. ま と め

本稿では、H.264 による符号化において、固定ビットレート下での再生画質の安定化を目的とし、マクロブロック単位の量子化パラメータの算出を最適化するビット配分方式を提案した。また、シミュレーション実験によって従来方式との比較を行い、提案方式によって安定的な再生画質の確保が可能であることを示した。今後の課題として、マクロブロックタイプの選



(a):従来方式



(b):提案方式

図 6 第 30 フレームにおける出力画像

択時の R-D 最適化に関する検討や、他方式との比較検討などが挙げられる。

参 考 文 献

- 1) 水野 修, 鹿喰 善明, 野尻 裕司, 大塚 吉道, 田中 豊, “ピクチャ別レートひずみ特性に基づいた符号量配分手法の検討,” 信学論, Vol. J82-D-II, No.8, pp.1239-1251, Aug. 1999.
- 2) 内藤 整, 小池 淳, 和田 正裕, 松本 修一, 羽鳥 好律, “ひずみ最小型レート制御の高度利用に基づく MPEG-2 ビット配分の最適化,” 信学論, Vol. J86-D-II, No.11, pp.1565-1574, Nov. 2003.
- 3) Karsten Sühring, H.264/AVC Software Coordination
http://bs.hhi.de/suehring/tml/download/old_jm/