九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

ゼロ値予測に基づくDCT演算数削減手法の提案とその評価

西田, 敬宏
福岡大学大学院工学研究科電子工学専攻

井上, 弘士
福岡大学工学部電子情報工学科

Moshnayaga, Vasily G.
Department of Electronics Engineering, Fukuoka University

https://hdl.handle.net/2324/7657

出版情報：第16回回路とシステム(軽井沢)ワークショップ, pp.147-152, 2003-04-27
バージョン：
権利関係：

ゼロ値予測に基づく DCT 演算数削減手法の提案とその評価

西田　敬宏†　　井上　弘士††　Vasily G. Moshnayaga††
†福岡大学大学院　工学研究科　電子工学専攻
††福岡大学　工学部　電子情報工学科
〒814-0180　福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1
E-mail:{yoshihiro,inoue,vasily}@v.tl.fukuoka-u.ac.jp

あらまし　本稿では、ゼロ値予測を用いた DCT(Discrete Cosine Transform)の演算数削減手法を提案する。通常、ブロックを構成する 8×8 画素の全ては DCT 処理により周波数成分に変換され、その後、量子化される。そのため、1 ブロック当りの DCT 演算は乗算ならびに加算が共に 1024 回、量子化演算は除算が 64 回必要となる。これに対し、提案手法ではゼロ値予測を行うことで演算量を削減する。一般に、DCT 処理を行った結果、高周波成分は 0 値近傍に集中する。そして、これらは量子化によって 0 に近似される。そこで、DCT 処理において、複数の連続した演算結果がゼロ値であった場合、それ以降、当該ブロック内の全ての DCT 演算結果をゼロ値と予測する。ゼロ値予測された DCT 結果に関しては量子化処理も不必要となる。動画像データを用いて評価を行った結果、DCT の演算数を最大で約 29%、スカラー量子化の演算数を最大で約 59%削減できた。また、その時の PSNR は 54.39dB であった。
キーワード　低消費エネルギー、DCT、量子化、値予測

Reducing the DCT operations based on zero value prediction.

Yoshihiro Nishida　Koji Inoue　Vasily G. Moshnayaga
Department of Electronics Engineering Fukuoka University
8-19-1, Nanakuma, Johnan, Fukuoka Japan
E-mail:{yoshihiro,inoue,vasily}@v.tl.fukuoka-u.ac.jp

Abstract. In this paper, we propose the operation reduction technique of DCT (Discrete Cosine Transform) based on zero value prediction. Usually, all 8x8 pixels in a block are translated into a frequency component by DCT processing, and are quantized. In this process, 1024 DCT operations and 64 quantization operations per block are required. On the other hand, the proposal technique cuts down the amount of operations by performing zero value prediction. After DCT, a high frequency element approaches the value of 0, and then these are approximated to 0 by quantization. In our approach, when the consecutive DCT results zero are detected, we predict the following DCT results in the block as also zero. As a result of evaluating using video data, the operand of DCT was reduced by 29%. And the quantization operation was reduced by 59%. The PSNR at that time was 54.39dB.
Keyword: low consumption energy, DCT, quantization, value prediction

1. はじめに

バッテリ駆動型携帯電子機器やデジタル・ビデオカメラの動作時間延長を実現するため、低消費エネルギー化は重要な技術である。特に、画像圧縮符号化器（以下、符号化器と呼ぶ）に関しては、その低消費エネルギー化を達成するために様々な研究が行われてきた。符号化器での低消費エネルギー化を実現する手段として演算数を削減する手法が多数提案されている。可能な限り画質の劣化を抑制し、画像圧縮処理中に生じる無駄な演算を検出して削除することで、実行される総演算数を削減し、消費エネルギーの削減を行う。

ここで、符号化器における DCT ならびに量子化処理に着目する。一般に、DCT 演算は 8×8 画素の

ブロックごとに行われ、高周波成分の値が 0 値近傍に集中する。その後、スカラー量子化（以下、量子化と呼ぶ）により、ほとんどの高周波成分の値は 0 に近似される。1 ブロック当たりの DCT 演算は乗算と加算が共に 1024 回、量子化演算は除算が 64 回必要である。例えば、MPEG2 において、CIF 形式の場合は 1 フレーム中に 2376 ブロック存在するため、DCT 演算が 2,433,024 回、量子化が 152,064 回行われる。

そこで本稿では、ゼロ値予測に基づく DCT/量子化演算数の削減手法を提案する。また、4 つの画像データ（QCIF を 3 つ、CIF を 1 つ）を用いて評価を行い、その有効性を明らかにする。あるブロックの符号化処理において複数の連続した DCT 演算結果がゼロ値であった場合、それ以降の全ての DCT 演算結果もゼロ値であると予測する。ゼロ値予測された DCT 係数に関しては、DCT 演算だけでなく、量子化処理も省略できる。したがって、正しくゼロ値予測を行うことにより多くの演算処理を削減でき、引いては、符号化器の低消費エネルギー化を達成できる。一方、ゼロ値予測が誤りであった場合には画像情報を失うため、従来方式と比較して画質の劣化が生じる。よって、本手法の有効性は、ゼロ値予測の精度に依存する。

以下、ゼロ値予測に基づく DCT/量子化演算数削減手法の詳細を述べる。第 2 節では、DCT と量子化処理について説明する。次に、第 3 節では関連研究を述べる。第 4 節ではゼロ値予測に基づく演算数削減手法を提案し、第 5 節では画像データを用いた実験結果を示す。最後に、第 6 節で簡単にまとめる。

2. DCT と量子化

2.1 2 次元 DCT／量子化

8 点の 1 次元 DCT 演算は以下の式で行う。ここで、x_i を入力、X_k をその DCT 変換係数とする。

$$X_k = \sum_{i=0}^{7} C_{k(2i+1)} x_i \tag{1}$$

$$C_n = \begin{cases} 1/2\sqrt{2} & (n=0) \\ \cos[\pi n/2N]/2 & (n \neq 0) \end{cases} \tag{2}$$

この式より、1 つの DCT 係数を求めるのに 8 回の積和が必要であることが分かる。また、8 つの DCT 係数を求めるために 64 回の積和処理が必要となる[1][4]。

通常、MPEG では 2 次元 DCT を使用する。8×8 の 2 次元 DCT は以下の式で行う。

$$X_{k,l} = \frac{1}{4} C(k) C(l) \sum_{i=0}^{7} \sum_{j=0}^{7} x_{i,j} * \cos[\frac{\pi k(2i+1)}{16}] \cos[\frac{\pi l(2j+1)}{16}] \tag{3}$$

$$C(n) = \begin{cases} 1/\sqrt{2} & (n=0) \\ 1 & (n \neq 0) \end{cases} \tag{4}$$

2 次元 DCT は、1 次元 DCT の i と k が j と l に変わったものが、さらに乗算されている。2 次元 DCT が 1 次元 DCT の処理に分解でき、計算量も少なくなる。これはブロック内の各行で x 方向に 1 次元 DCT し、結果を同じ行に戻し、つぎに y 方向に 1 次元 DCT を各列で行い、結果を同じ列に戻す。これらを式で表すと 2 次元 DCT(3)は次の式のように分解できる。

$$g_{k,j} = \frac{1}{2} C(k) \sum_{i=0}^{7} x_{i,j} \cos[\frac{\pi k(2i+1)}{16}] \tag{5}$$

$$X_{k,l} = \frac{1}{2} C(l) \sum_{j=0}^{7} g_{k,l} \cos[\frac{\pi l(2j+1)}{16}] \tag{6}$$

式(3)の 2 次元 DCT では、4096(64×64)回の積和であるが、次元分解すると、16 回の 1 次元 DCT となり、1024(64×16)回と、1/4 となる[2][4]。また、行と列の順番を逆に行う方法もある。この実験では式(5)(6)を使用した。

量子化ではイントラ量子化とインター量子化がある。この違いは参照する量子化テーブルの違いである。量子化の演算数は除算の回数を 1 回とする。

2.2 DCT ならびに量子化の例

本節では、図 1 に示す DCT 出力と量子化出力の例を用いて、ブロック中の画素値が量子化されるまでの動作を説明する。なお、量子化ステップ幅は 16 で固定とする。その他の符号化処理は従来手法と同じである。また、スキャン方法はラスタスキャンを前提とする。DCT では、入力データである画素値を第 2.1 節で述べた式により、左から右方向に、また、上から下方向に 1 行ごと順に演算を行い、周波数成分に変換する。図 1 の DCT 出力データより、周波数成分は、左から右へ、および上から下へそれぞれ高くなっている。そして、低周波成分に大きな値が集中し、高周波成分に小さな値が集中していることがわかる。これは、DCT の一般的な特徴であ

る。本例において、1 ブロックは 64 画素から構成されるため、従来の手法では、1 ブロックの DCT 演算数は 1024 回、量子化演算数も 64 回となる。

619	-29	8	2	1	-3	0	1
22	-6	-4	0	7	0	-2	-3
11	0	5	-4	-3	4	0	-3
2	-10	5	0	0	7	3	2
6	2	-1	-1	-3	0	0	8
1	2	1	2	0	2	-2	-2
-8	-2	-4	1	2	1	-1	1
-3	1	5	-2	1	-1	1	-3

DCT 出力データ

39	-2	1	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
0	-1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0
-1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

量子化出力データ

図１　DCT 出力、量子化出力データ

3. 関連研究

DCT/IDCT の低消費エネルギー化を実現する手段として、動き補償後の入力データには 0 の出現頻度が高いことに着目し、入力データが 0 であるとき、一部の回路動作を中止させる方式が提案されている[5]。この手法では、実行される DCT 演算数は従来方式と同じである。(つまり、各 DCT 演算における消費電力の削減を目的としている)。これに対し、本稿で提案する手法は、DCT 演算の特徴を利用してゼロ値予測を行うことで、実行すべき DCT 演算そのものを省略する。したがって、文献[5]で提案される手法と組み合わせることも可能である。

また、Pao と San は複数の閾値（T1,T2,T3）を用いた DCT 演算削減手法を提案している[6][7]。動き補償で計算される絶対値差分値（SAD）と量子化ステップサイズ（Q）の乗算の合計と閾値を比較して DCT の演算量を削減する。もし、SAD<T1×Q の場合、DCT 演算を全く行わず、DCT 係数を全て 0 とする。T1×Q ≤SAD<T2×Q の場合、DC 係数のみ DCT 演算を行い、その他の DCT 係数は 0 とする。T2×Q ≤SAD<T3×Q の場合、4×4 の低周波成分のみ DCT 演算を行い、その他の DCT 係数は 0 とする。T3×Q≤SAD の場合は従来と同じように 8×8 の DCT 処理を行う。この手法では、SAD<T1×Q の場合、DCT 演算そのものをスキップ(全く演算しない)することができる。しかし、動き補償で計算される絶対値差分値を用いているので、I ピクチャに関しては使用できない。これに対して、本稿で提案する手法は、DCT 演算を最小でも 0 連続数分演算しないといけない。しかし、ピクチャに関係無しに使用することができる。

4 ゼロ値予測を用いた演算数削減手法

4.1 提案手法

ここで、図１に示す DCT 演算結果（DCT 出力データ）には、以下の特徴があると考える。

- DCT 出力データの高周波成分は 0 値近傍に集中している。
- DCT 処理が進む（低周波成分から高周波成分へと処理が進む）につれ、0 近傍データの出現頻度が高くなる。

また、量子化演算結果（量子化出力データ）より、以下のことが分かる。

- 0 近傍に集中した DCT 演算結果は量子化により 0 に近似される。

以上より、「**低周波成分から高周波成分へと符号化処理を進めるにつれ、量子化後の結果において 0 の出現確率が極めて高くなる**」ということが分かる。そこで、あるブロックの符号化処理において、DCT 出力値が連続 N 個 0 となった場合、残り全ての DCT ならびに量子化演算結果を 0 と予測する。つまり、実際の DCT/量子化処理を行うこと無しに、演算結果を 0 とする。これにより、DCT ならびに量子化処理の演算数を削減できる。もし、予測が外れた場合(つまり、実際には量子化後の値が 0 でない場合)には誤差が生じるため、画質が劣化する。

4.2 動作例

本節では、N=2 の場合を例にとり、提案手法の動作を説明する。ゼロ値予測開始点を示したDCT出力データ(データ値は図1と同じ)を図2に、ゼロ値予測適用後の量子化出力データを図3に示す。

各ブロックの処理開始時には、従来方式と同様にDCTならびに量子化処理が行われる。そして、0が2個連続して出現したとき(図２の斜線部分の処理が終了した時)、残り全てのDCT演算結果が0であると予測する。本例では、連続した2個のDCT演算結果を検出後に実行される35個のDCT係数に関するDCT/量子化処理が省略される。第2.2節で説明したように、従来の符号化方式では各画素毎にDCT演算

ならびに量子化演算を行う必要がある。よって、従来方式ではDCT演算が1024回、量子化演算が64回必要であるのに対し、提案方式ではDCT演算が744回(最初の１次元DCTは従来手法と同じ512回、次の1次元DCTは232回)、量子化演算が29回となる。なお、実際には1ブロック分のデータ全てに対してDCT処理を行った後、量子化される。よって、0値予測に基づき量子化処理を省略するためにはDCT処理時の「連続0出現場所」を記憶しておく必要がある。

一方、ゼロ値予測が誤りであった場合、従来方式と比較して、量子化出力データに誤差が生じる。本例では、図１(従来方式)と図3(ゼロ値予測方式)を比較した場合、図3における①と②の値が0に近似されている。これらの誤差は圧縮画像データの伸張時に画質の劣化として現れる。しかしながら、一般に高周波成分に対しては量子化ステップ幅が大きく、量子化出力結果が0になる確率が高くなる。したがって、ゼロ値予測の誤りが画質に与える影響は小さいと考える。

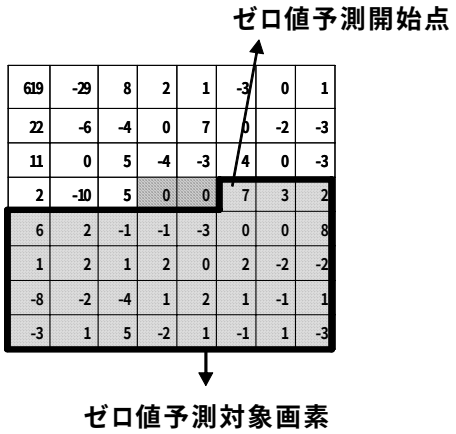

図２　ゼロ値予測位置

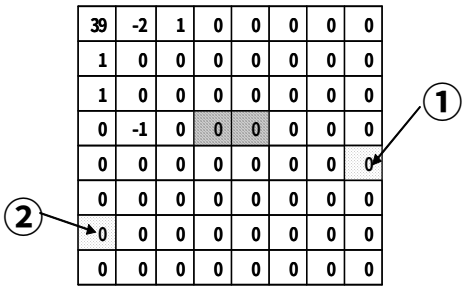

図３　ゼロ値予測後の出力データ

5　評価

5.1　実験環境

MPEG Software Simulation Group が提供する MPEG ソフトウェアを用いてシミュレーションを行い、DCT ならびに量子化の演算回数を測定した。入力画像としては表１に示す４つのデータを用いた。また、様々な適用方式を検討するため、以下に示す４つのモデルに関して評価を行った。

- ALL：全成分に対してゼロ値予測を行う。
- C：色差成分に対してのみゼロ値予測を行う。輝度成分は画質に大きく影響する。よって、輝度成分にはゼロ値予測を適用しない事で、ゼロ値予測ミスに伴う画質の劣化を最小限に抑えることができる。
- Y_3＋C：輝度成分に関しては、3 行目以降の画素に対してのみ 0 値予測を行う。つまり、高周波成分のみゼロ値予測を行うことで、輝度成分の画質の劣化を抑える。なお、色差成分に関しては、モデル C と同様に、全てのデータに対して 0 値予測を適用する。
- Y_4＋C：輝度成分に対して 4 行目以降 0 値予測を行う。モデル Y_3＋C と比較して、低周波成分の値をより多く残すことができるため、画質の劣化を小さく抑えることができる。

表１　実験画像

	画像サイズ	フレーム数
carphone	176× 144	382
foreman	176× 144	298
missa	176× 144	150
salesman	352× 288	300

5.2　実験結果

5.2.1 演算数

各画像における DCT 演算数を図 4 に、量子化演算数を図 5 に示す。これらの図においては、従来方式における演算数を 100%としている。また、画質の評価として PSNR を図 6 に示す。ここで、ゼロ値予測での 0 連続数は 9 個(N=9)とした。なお、N=9 とした理由は第 4.2.2 節で述べる。

まず、従来方式と ALL 方式を比較する。ゼロ値予測を用いることで、DCT の演算数を約 17.67%～28.99%、量子化の演算数を約 36.17%～59.26%削減できた。しかしながら、PSNR は約 2.85dB～5.97dB 減少し、画質が劣化した。

次に、ゼロ値予測適用方式の違いが演算数削減効果、ならびに画質に与える影響を評価する。

- ALL 方式と C 方式を比較した場合、DCT の演算数が約 7.83%～20.01%、量子化演算数を約 16.04%～40.85%増加した。PSNR は約 0.37db～1.63dB 増加した。
- ALL 方式と Y_3＋C 方式を比較した場合、DCT の演算数を約 3.93%～8.73%、量子化演算数を約 5.51%～11.00%増加した。また、PSNR は約 0.18dB～0.61dB 増加した。
- ALL 方式と Y_4＋C 方式を比較した場合、DCT の演算数を約 5.14%～11.72%、量子化演算数を約 7.90%～17.50%増加した。また、PSNR は約 0.22dB～0.84dB 増加した。

以上の結果より、従来手法と比較した場合、約 2.85dB～5.97dＢ画質が劣化している。しかし、全ての方式に関して劣化を目で確認するのは困難であった。したがって、演算数ならびに画質、回路制御に関してこれらの方式を比較した場合、ALL 方式が適していると考える。そのとき、従来方式と比較して、DCT 演算数を最大 29%、量子化演算数を最大 59%削減できた。また、そのときの PSNR は 54.39dB であった。

5.2.2　ゼロ値予測の正確さ

第 4.2.1 節では、DCT 処理において、連続した 9 つの演算結果が 0(N=9)のとき、それ以降、当該ブロックにおける全ての演算結果は 0 値と予測した。しかしながら、提案手法の有効性は、「いかに正しく 0 値予測を行えるか」に依存するため、画質の劣化を伴うことなく演算数を削減するためには最適な N 値を選択する必要がある。例えば、N 値と小さくした場合には演算数を削減できる利点がある。しかし、PSNR が小さいことが分かり、画質が劣化する。一方、N 値を大きくした場合には、PSNR が高くなっているが、演算数は増加している。そこで、N 値が演算削減数ならびに画質に与える影響(ゼロ値予測の正確さ)を評価した。

N を 1 から 20 に変化させた際の DCT 演算数を図 7(ALL 方式)、量子化演算数を図 8、そのときの PSNR を図 9 に示す。N 値が小さいほど演算数を削減することができた。しかし、N 値の増加に伴い PSNR が高くなっていることが分かる。これらの結果より、演算数ならびに画質を考慮した場合、N=9 が適していると考える。しかし、0 連続数 N＝9 のときでも画質の劣化は生じる。従来手法と同じ画質(PSNR)が要求される場合には、0 連続数 N を増やせばよい。例えば、N=20 のとき、DCT 演算を約 7.86%～17.80%削減できた。そのときの PSNR は約 0.20～1.07dB 劣化する。この結果より、従来手法と比較して N の数を増加させれば、ほぼ画質の劣化をなしに DCT 演算を削減できる。しかし、DCT 演算削減率は小さくなる。

6. 終わりに

本稿では、ゼロ値予測を用いた DCT の低消費エネルギー化手法を提案した。また、画像データを用いた評価を行い、その有効性を調査した。その結果、DCT では最大で約 29%、量子化では最大で約 59%の演算数削減を達成できた。また、その時の PSNR は 54.39dB であった。本評価では、0 値予測を行う判定コストを無視していた。今後、ゼロ値予測判定回路の消費エネルギーを考慮する必要がある。また、今回は演算数のみで評価を行ったので、より詳細な消費電力モデルを用いた評価を行う予定である。

謝辞

日頃から御討論頂く、福岡大学工学部モシニャガ・ワシリー研究室の諸氏に感謝します。なお，本研究は一部，科学研究費補助金(課題番号：12358002, 14580399, 14GS0218)による.

参考文献

[1]K.R.Rao, J.J.Hwang 著，安田浩，藤原洋監訳，“デジタル放送・インターネットのための情報圧縮技術”,共立出版

[2]安田浩，渡辺裕著，“ディジタル画像圧縮の基礎”,日経 BP 出版センター

[3]越智宏，黒田英夫著，“図解でわかる画像圧縮技術”,日本実業出版

[4]藤原洋/安田浩　“標準ブロードバンド+モバイル MPEG”,アスキー

[5]L.Fanucci, S.Saponara“Date Driven VLSI Computation for Low Power DCT-based Video Coding”,ICECS’2002 Dubrovnik Croatia 2002

[6] I-M. Pao and M.Sun, “Approximation of calculations for forward discrete cosine transform”, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology,” Vol.8, no.4, pp. 264-268, June 1998.

[7] I. Pao and M. Sun, “Modeling DCT coefficients for fast video encoding”, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology,”, Vol.9, no.4, pp. 608-616, June 1999.

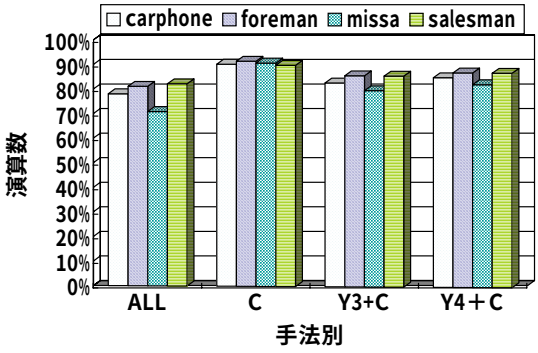

図4　　DCT演算数

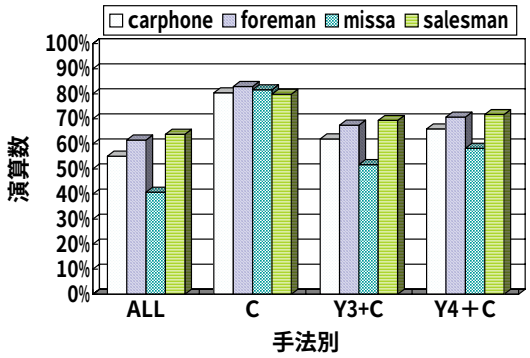

図5　量子化演算数

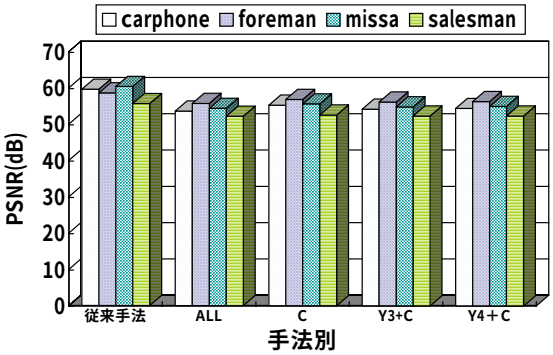

図 6　PSNR

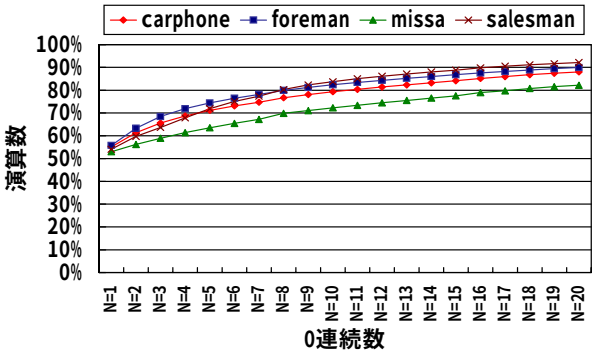

図7　0連続数N(１～20)でのDCT演算数

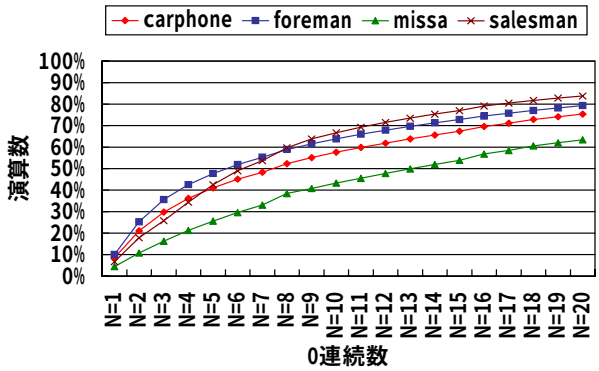

図8　0連続数N(１～20)での量子化演算数

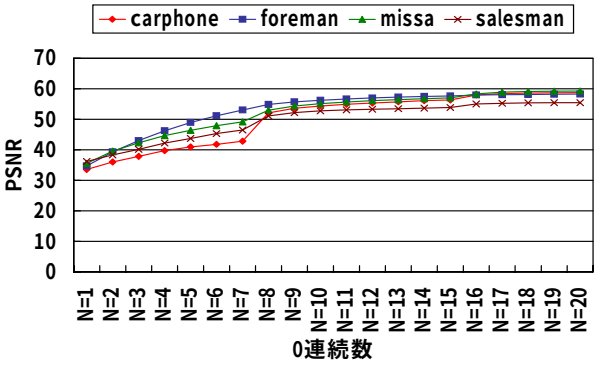

図 9　0 連続数 N(１～20)での PSNR