

DCT係数の 新しいブロック間予測

井藤 良幸 藤井 俊彰 木本 伊彦 谷本 正幸

名古屋大学大学院工学研究科

〒464-8603 名古屋市千種区不老町

Tel: 052-789-3163 Fax: 052-789-3628

E-mail: ito@tanimoto.nuce.nagoya-u.ac.jp

あらまし 現在、画像の符号化として離散コサイン変換 (DCT) を用いた画像符号化が広く普及している。DCT を用いた画像符号化の代表である JPEG においては、左右の隣接ブロックの相関を利用して、DCT の DC 係数の予測を行っている。また MPEG4 においては、DC 係数以外に、AC 係数に関しても、隣接ブロック間の性質を利用して、予測を行っている。しかし、AC 係数の予測は、一般的に相関が低い為に、DC 係数に比べて難しく、予測により逆に、効率が低下することもある。従来の JPEG や MPEG4 においては、予測は、隣接ブロックの相関性しか用いていないが、隣接ブロック以外のブロックを用いて予測を行うことにより、従来よりもより良い予測を行える可能性がある。そこで本研究では、隣接ブロック以外のブロックも利用した、DCT 係数の新しい予測手法を提案し、その結果を検討する。

キーワード 画像符号化, 離散コサイン変換, MPEG4, ブロック間予測

New Interblock Prediction of DCT Coefficients

Yoshiyuki ITO Toshiaki FUJII Tadahiko KIMOTO Masayuki TANIMOTO

Graduate School of Engineering, Nagoya University

Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8603 JAPAN

Tel: +81-52-789-3163 Fax: +81-52-789-3628

E-mail: ito@tanimoto.nuce.nagoya-u.ac.jp

Abstract Discrete cosine transform (DCT) is widely used as a method of image coding. In the image coding scheme using DCT like JPEG, the DC coefficient is predicted by using the correlation of neighboring blocks. Further, the prediction is done on the AC coefficient in MPEG4. However, the prediction of the AC coefficient is difficult because the correlation of it is low, and the efficiency may reversely lower by the prediction. By using all blocks in the image, it may be able to do the prediction which is better than the conventional method. In this paper, we propose and examine new prediction system of the AC coefficient using all blocks.

key words image compression, DCT, MPEG4, interblock prediction

1 はじめに

現在、離散コサイン変換 (DCT) を用いた画像符号化が広く普及しており、JPEG、MPEG 等で使われている。JPEG においては、DCT の DC 係数が、隣接ブロック間で相関が高いという性質を利用して、隣接するブロックの差分値を信号として符号化することにより、DC 係数のみの電力を減少させている。又、MPEG4 においては、DC 係数のみならず、AC 係数に関しても、隣接ブロックの相関性を利用して予測を行う。しかし、隣接ブロック間の相関が低い場合などには、予測を行うことが困難となる。又、交流分は直流分と比べ相関性が一般的に低い。そのため、予測を行った事により、予測を行わない場合より、DCT 係数の電力が増加してしまう場合もある。画像内には、符号化対象ブロックから離れた場所に、隣接ブロックよりも相関の高いブロックが存在する可能性があり、そのブロックを用いることにより、より良い予測が行える可能性がある。

我々は [1] において画像内に存在する相関の高いブロックを用いた予測方式について提案した。本稿では、その方式を使い、量子化、エントロピー符号化の処理を行った上で、MPEG4 と比較して、実際にどの程度の圧縮が可能となるのかを検討する。

2 MPEG4 における予測方式

提案方式について説明する前に、まず MPEG4 で行われている予測方式について説明する。

隣接する二つのブロックの DCT 係数には、相関性が存在する。特に DC 係数に関しては、隣接ブロック間での相関が高く、隣接ブロックを用いて DC 係数を予測してやる事により、大きく電力を減少させることができる。JPEG においては、DC 係数の予測は、予測対象ブロックの左隣のブロックを予測ブロックとした。しかし、この方式では、隣接するブロックの間にエッジがあった場合、よい予測を行うことができない。そこで MPEG4 では、以下の適応 DC 係数予測が採用された。

2.1 適応 DC 係数予測

適応 DC 係数予測の方法を図 1 に示す。ここで A を符号化対象ブロックとする。以下に従って、予測を行う。

まず最初に、A に隣接するブロックである、ブロック B とブロック C に着目する。ブロック B とブロック D との DC 係数の差分値 $Diff_{BD}$ 、ブロック C とブロック D の DC 係数の差分値 $Diff_{CD}$ を求める。この求めた $Diff_{BD}$ と $Diff_{CD}$ の絶対値の大きさを比較し、 $Diff_{BD}$ の方が小さければ、ブロックは縦方向のブロックと相関が高いと判断し、C の DC 係数を A の DC 係数の予測値とする。同様に、 $Diff_{CD}$ の方が小さければ、ブロックは横方向のブロックと相関が高いと判断し、B の DC 係数を、A の DC 係数の予測値とする。

MPEG4 では DC 係数のみならず、AC 係数についても隣接ブロック間の相関性を利用して予測を行っている。以下にその方法について示す。

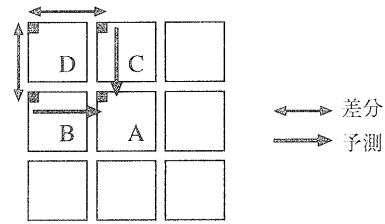


図 1: MPEG4 の適応 DC 係数予測

2.2 適応 AC 係数予測

適応 AC 係数予測の方法を図 2 に示す。ここでは A を対象ブロックとする。以下に従って予測を行う。

前記の適応 DC 係数予測と同じ方向で予測を行う。つまり、 $Diff_{BD}$ の絶対値の方が小さかった場合は、C を A の予測ブロックとし、 $Diff_{CD}$ の絶対値の方が小さかった場合は、B を A の予測ブロックとして予測を行う。B を用いて予測を行う場合には、予測は第 1 行成分の係数のみに関して行う。又、C を用いて予測を行う場合は、予測は第 1 列成分の係数のみに関して行う。この他の係数に関しては、特別な処理は行わない。

DCT の AC 係数は DC 係数に比べて、一般的に相関性が低いために、この処理を行うことにより逆に効率が低下してしまうこともある。そのため、マクロブロック単位に、予測により効率が向上したのか、低下したのかを実際に計算して求め、予測をするか、しないかについてマクロブロック単位で、1 ビットのフラグを与える。よって、このフラグをあたえる事によって、効率が低下するが、このフラグによる効率の低下を考えると、予測を行ったことによる、効率向上の効果の方が大きいことが、実験により確認されている。

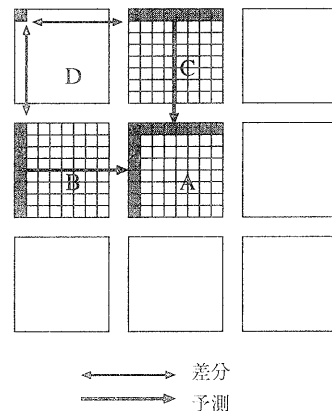


図 2: MPEG4 の適応 AC 係数予測

3 提案方式

MPEG4においては、対象ブロックに隣接するブロックの相関しか用いていないために、隣接ブロックの相関が低い場合は、予測を行うことができない。しかし、画像内には相関の高い部分が存在するはずであり、その部分を使って予測を行うことにより、隣接ブロックを用いて予測を行うよりも、より良い予測を行うことが可能であると考えられる。

提案方式の AC 係数の予測方式に関する概念図を図3に示す。DC 係数に関しては、MPEG4 と同様の適応 DC 係数予測を用いる。この図においては、符号化対象ブロックを A とし、A の上に位置する斜線部は、既に符号化済みであるとする。以下の手順に従い符号化を行っていく。

- (1) まず、それまでに、既に符号化されている部分を復号化して、再生画像を作る。(図の斜線部)
- (2) 次に、A に隣接するブロックであるブロック B, C に関して、上記で作った再生画像から、以下の式で表す相関係数が最も高くなるものを探し出し、これを B', C' とする。

確率変数 X_1, X_2 の相関係数：

$$r(X_1, X_2) = \frac{E\{(X_1 - \mu_1)(X_2 - \mu_2)\}}{\sqrt{Var(X_1)Var(X_2)}}$$

ここで $E(X)$, $Var(X)$ は、それぞれ確率変数 X の平均、分散を表す。

- (3) BB' , CC' それぞれの相関係数を比較し、 BB' の方が相関係数が高かった場合は、 B_A を B の予測ブロックとする。逆に、 CC' の方が相関係数が高かった場合は、 C_A を A の予測ブロックとする。
- (4) B_A を予測ブロックとした時は、予測は、DCT 係数の第 1 行成分に関してのみ行う。逆に C_A を予測ブロックとした時は、予測は、DCT 係数の第 1 列成分に関してのみ行う。他の成分に関しては、特別な処理を行わない。

この方法においても、DC 係数と比較し、AC 係数の相関は一般的に高くないため、予測により逆に効率が低下することもある。このために、実際にマクロブロック単位で符号量を計算し、もとの符号と比較して、実際に符号量が減少していた場合に関してのみ、予測を行う。よって、MPEG4 と同様に、マクロブロック単位で符号を行うか、行わないかの判断に、1 ビットのフラグを与えることとなる。

この方法では、対象ブロックから離れた位置にある、画像を参照して予測ブロックに用いている。しかし、対象ブロックに隣接するブロックを用いて、既に符号化を行った範囲の画像を復号化して、予測に用いるブロックを検索しているため、位置情報を含まない符号化が行えるという特徴がある。

この提案方式の符号化部の構成は図4のようになる。

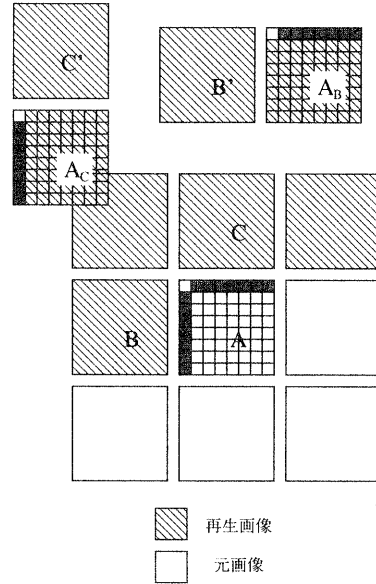


図3: 提案方の AC 成分予測

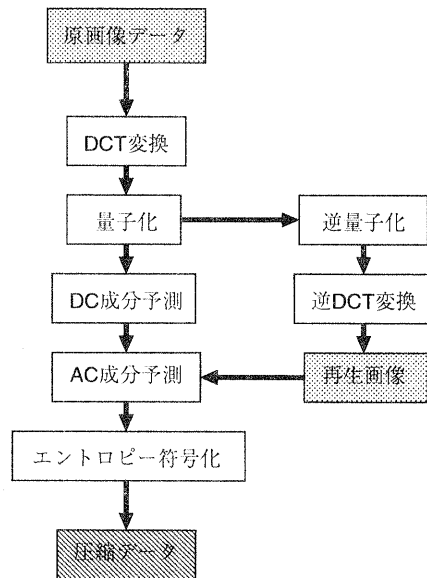


図4: 提案方式の符号化部の構成

4 シミュレーション実験

提案方式による符号化シミュレーション実験を行い、MPEG4の結果と比較した。

なお、提案方式では、予測に用いるブロックの検索範囲は、符号化効率が最もよくなる、一定のサイズがあることが分かっている [1]。しかし、そのサイズは画像によって異なる。そのため、今回の実験では、符号化対象となっているブロックの前に符号化された部分、すべてを検索範囲としている。

4.1 係数電力

DCTを利用した画像符号化のエントロピー符号化では、各DCT係数の値に対応するカテゴリを最初に求め、そのカテゴリに実際の付加ビットを加えて、具体的な値を指定する形になっている。その為、各DCT係数の電力を小さくすることができれば、より効率のよい画像符号化を行うことができる。

まず実験の1番目として、提案方式と、MPEG4で、各係数の電力が、予測を行うことにより、どのように変化したかを調べた。試験画像として、barbara(640×480)を使用した結果を、表1に示す。

この実験では、まず、離散コサイン変換と、量子化のみを行って、予測を行わない場合について、各DCT係数の平均電力を出した。次に、予測を行った場合に関して、各DCT係数の平均電力を出し、予測を行った後の電力が、予測を行う前の電力の、何%となっているかを算出した。よって、値が小さいものほど、予測がより良く行われているものということになり、逆に、値が100%を越えてしまったものは、予測により、電力が増加してしまったことを示している。

表1: 各DCT係数の電力の増減(画像全体)

次数	MPEG4		提案法	
	1行 (%)	1列 (%)	1行 (%)	1列 (%)
1	97.0	93.5	71.4	87.0
2	98.3	101.1	77.4	88.6
3	94.8	95.4	83.3	91.9
4	93.6	102.8	84.5	92.6
5	99.6	94.0	88.4	100.0
6	95.8	104.1	89.2	112.9
7	103.6	100.0	93.8	100.0

表1より、MPEG4より提案方式の方が、10%～20%程度、より良く電力を減少させることができたことがわかる。また、提案方式においては、1列成分よりも1行成分の方が電力減少が大きくなっている。これは、水平予測よりも、垂直予測の方をより多く選択したためであると思われる。高次の係数に行くほど、予測による電力の減少は低下して、6次や7次の係数では逆に、電力が増加してしまうという現象も見られた。

この提案方式は[1]により、画像が周期的な構造を持っている場合に、より大きな電力減少を示すことが分かっている。

barbaraの試験画像において、周期的な構造が見られる、テーブルクロス部を抜き出し、その部分について上と同様の実験を行った結果は、表2のようになった。

表2: 各DCT係数の電力の増減(テーブルクロス部)

次数	MPEG4		提案法	
	1行 (%)	1列 (%)	1行 (%)	1列 (%)
1	95.5	96.7	61.3	88.9
2	90.4	102.0	65.2	90.7
3	100.1	92.9	75.3	84.8
4	82.2	106.0	72.5	103.8
5	103.3	97.2	74.1	99.2
6	99.0	100.0	91.7	100.0
7	100.0	100.0	89.0	100.0

表2よりわかるように、テーブルクロス部においては、全体で行った場合よりも、約10%ほどよりよい予測が行えている。ただし高周波成分に行くほど、この差は少なくなっている。また、この部分に関して、水平予測よりも、垂直予測の方がより多く選択されていると思われる、第1行成分の方が電力の減少が大きい。

MPEG4の場合には、全体で処理を行った時と同じ程度の電力減少になっており、第1行の3次、5成分、第1列の2次、4次成分等では電力が逆に増加してしまっている。これは、テーブルクロス部の隣接ブロック間での周波数成分の変化が、他の部分と比べて大きいためであると思われる。

4.2 符号量

次に、実際に提案方式とMPEG4を用いて画像を符号化し、提案方式がMPEG4に比べて、符号量をどの程度圧縮できるのかを調べた。また同時に、この量子化の細かさを変化させてやることにより、SNRを変化させ、提案方式の効果がどのように変化するのかを調べた。

この実験では、提案方式、MPEG4どちらにも、エントロピー符号化としてハフマン符号化を用いた。

まず、barbaraの画像全体を、MPEG4と提案方式、それぞれを使って符号化した結果が、図5、図6となる。図5では、横軸にSNR、縦軸に符号量をとり、再生画像のSNRにより、どのように符号量が変化したかを示した。図6では横軸にSNR、縦軸にはMPEG4の符号量に対する提案手法の符号量の割合をとった。

次に、barbaraの画像におけるテーブルクロス部で同様の実験を行った結果を、図7、図8に示す。

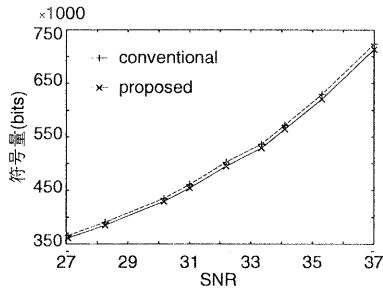


図 5: SNR と符号量の関係 (画像全体)

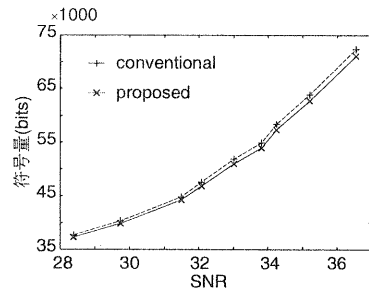


図 7: SNR と符号量の関係 (テーブルクロス部)

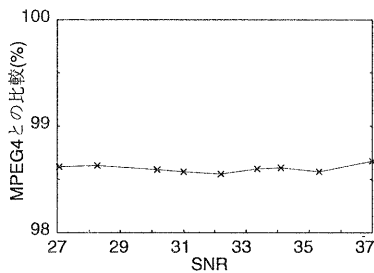


図 6: 提案方式と MPEG4 との比較 (画像全体)

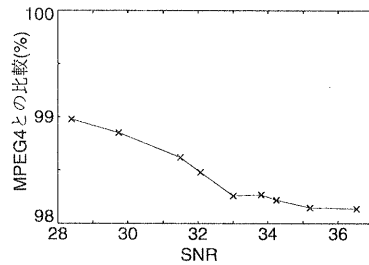


図 8: 提案方式と MPEG4 との比較 (テーブルクロス部)

4.3 考察

電力減少に関しては、MPEG4 と比較して、最大 30% 程度の電力減少を見ることができた。特にその結果はテーブルクロス部で顕著である。テーブルクロスの様な、細かく変化する模様画像では、ブロックが 1 画素ずれただけでも、DCT の AC 係数は大きく変化する。そのため隣接ブロックのみを用いた MPEG4 では、より良い予測を行うことができず、提案方式の効果がより大きく現われているものと思われる。

符号量に関しては、すべての SNR の値で、提案方式の方がよい圧縮を行うことができていることがわかる。しかし、MPEG4 との差はわずかである。この原因として、以下のことが考えられる。離散コサイン変換を利用した、画像符号化のエントロピー符号化として、ハフマン符号化を用いた場合、一定の範囲の DCT 係数値に対しては、ハフマン符号の大きさも、付加ビットの大きさも同じである。その為、ある係数の電力が小さくなったからといって、必ずそのブロックのハフマン符号や、付加ビットの大きさが小さくなるわけではない。また、離散コサイン変換では高次の係数に 0 値が集中する特性があり、その連続する 0 値を、一括して処理することによって、高い符号化効率を得ている。しかし、4.1 の結果からわかるように、DCT 係数の次数が高次に行くほど、予測は悪くなっており、もとの係数との変化が現われなくなる。そのため 0 値のランレングスを長くして符号化効率をあげることができていない。このことも原因

の一つとして考えられる。

量子化を細かくし、SNR を良くした場合には、0 値のランレングスによる効率向上の割合が少なくなり、MPEG4 と比較をしての提案方式の効果がより大きく現われてくる。そのため図 8 の結果では SNR が大きくなるほど、MPEG4 と比較して符号化効率が良くなっていると思われる。しかし、画像全体で行った場合は、SNR を高くしていても、符号化効率は変化せず、一定の値になっている。このことについては今後検討する必要がある。

5 むすび

提案方式によってブロック間の予測を行うことにより、各 DCT 係数の電力の減少を実現することができた。しかし、全体の符号量の減少はわずかであった。今回はエントロピー符号化にハフマン符号化を用いたが、今後は各係数の電力減少の効果がよりよくあらわれるエントロピー符号化についての検討を行う必要があると思われる。

参考文献

- [1] 井藤, 原田, 藤井, 木本, 谷本: “DCT 符号化における高次成分のブロック間予測”, 平成 11 年電子情報通信学会全国大会
- [2] 三木編著: “MPEG-4 のすべて”, 工業調査会 (1998)