

非因果的内挿予測による B ピクチャ符号化方式の検討

原部 智哉[†] 久保田 彰[‡] 羽鳥 好律[‡]

[†]東京工業大学 大学院総合理工学研究科

〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田 4259-G2-911

E-mail: [†]harabe.t.aa@m.titech.ac.jp, [‡]{kubota, hatori}@ip.titech.ac.jp

あらまし 次世代 DVD やデジタル放送, マルチメディアコンテンツの普及などにより, 動画像符号化の需要は尽きることはない. 本稿では, 非因果的内挿予測を双方向参照ピクチャ(B ピクチャ)に用いた符号化方式について論じる. 非因果的内挿予測とは, 未だ符号化されていない画素も予測に用いることである. また B ピクチャは, 符号化済みの I および P ピクチャから予測されており, 画素間の相関が高い前後のフレームは使用されていない. したがって, フレーム間に非因果的内挿予測を適用することで, 動画像の特徴であるフレーム間の相関を利用し, 時間方向に拡張した場合の優位性を示す.

キーワード 非因果的内挿予測 内挿 帰還差分量子化 予測符号化

Non-causal Interpolative Prediction for B picture encoding

Tomoya HARABE[†] Akira KUBOTA[‡] and Yoshinori HATORI[‡]

[†] Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology
4259-G2-31 Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, 226-8502 Japan

E-mail: [†]harabe.t.aa@m.titech.ac.jp, [‡]{kubota, hatori}@ip.titech.ac.jp

Abstract The demand for the video encoding seems to be no end by next generation DVD, digital broadcasting, and the spread of the multimedia contents, etc. In this paper, we discussed the encoding methods to use “non-causal interpolative prediction” for “Bi-Directional Predictive Picture (B picture)”. Non-causal interpolative prediction is to use pixels that will be encoded in future. Moreover B picture is encoded by using I picture or P picture as a reference frame. Therefore, we showed domination when extending in temporal by using the correlation among frames that are the features of the video coding by applying in non-causal interpolative prediction among frames.

Keyword “Non-causal interpolative prediction” “Interpolative DPCM” “Optimal Quantizing Scheme”

1. はじめに

動画像符号化の主となっている技術の中に, 予測符号化がある. これは隣接している画素やフレームには相関があることを用いて, 予測対象画素(フレーム)と参照画素(フレーム)の差分を符号化することによりデータ量を削減している. 一般的に知られているDPCM(Differential Pulse Code Modulation)は外挿予測符号化であり, 既に符号化された画素値を用いて対象画素の値を予測するという方法である. フレーム間の予測符号化に関しても, 時間的に離れた符号化済みの I ピクチャまたは P ピクチャの内挿予測(双方向予測)が用いられている. 符号化効率を上げるためには, 最近接フレームの画素を用いた内挿予測符号化をすることが望ましいが, 既存の標準方式においては参照するフレーム間隔を減少させることは総合的な符号化効率の向上にはつながらない.

本研究では, 予測符号化において未だ符号化されて

いない画素を予測に用いる, 「非因果的内挿予測」を双方向参照ピクチャ (B ピクチャ) に用いた符号化方式を検討し, 2 次元非因果的内挿予測と組み合わせることで, 3 次元非因果的内挿予測を目指す。「2 次元非因果的内挿予測」の有効性についてはすでに明らかになっている [1]. 本稿では非因果的内挿予測を時間方向に拡張した際の優位性をシミュレーションにより示す. また非因果的内挿予測の問題点である, 復号後の符号化誤差電力増大に対して, 「帰還差分量子化法」 [2] を適用し SNR の向上を図った.

2. 研究概要

2.1. 符号化におけるピクチャ構造

フレーム間予測は, 時間的に前後のフレームの相関を利用し符号化を行う. フレーム間の差分を符号化すればよいので, 非常に高い圧縮率を達成できる. 予測

に用いられるピクチャは、I・P・Bの3種類あり、Fig.2.1にその略図を示す。

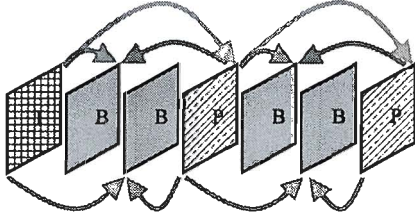


Fig. 2.1 Picture structure in encoding

- ・ I ピクチャ：前後の画面とは関係なくその画面内だけで独立して符号化することにより得られる。
- ・ P ピクチャ：I・P ピクチャを参照画像とし、フレーム間予測を用いて符号化する。しかし、予測に用いることができるのは時間的に以前のフレームである。
- ・ B ピクチャ：I・P ピクチャを参照画像とし、過去と未来の双方向予測によって得られるピクチャ。生成されるピクチャの中で最も符号化効率が高いため、多く利用することで符号量を抑えることができる。

しかし、B ピクチャの枚数を多くしてしまうと参照画像(I・P ピクチャ)からの距離が離れてしまい、予測誤差が増大してしまうという欠点がある。

この問題を解決するためにB ピクチャの符号化に非因果的内挿予測を適用する。

2.2. 非因果的内挿予測

非因果的内挿予測は注目画素と近傍(未符号を含む)画素の相関を利用し差分を符号化する。処理はブロック単位で行われる。Fig.2.2は5画素×4ラインのブロックを取上げ、例のため2次元での非因果的内挿予測を示す。

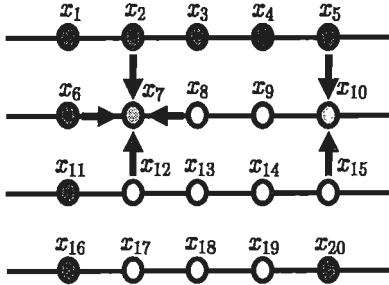


Fig.2.2 Example of non-causal interpolative prediction

例えば画素 x_7 , x_{10} を符号化対象画素とすると、予測誤差ベクトル y_7 , y_{10} は

$$y_7 = x_7 - \frac{1}{4}(x_2 + x_6 + x_8 + x_{12}) \quad (1)$$

$$y_{10} = x_{10} - \frac{1}{2}(x_5 + x_{15}) \quad (2)$$

と表せる。式(1)は2次元内挿予測で、式(2)は1次元内挿予測である。ただし、各係数は内挿予測関数に基づき、演算の容易さを考慮した値である。すべての対象画素について内挿予測を行い、それらを行列表現すると

$$y = Cx \quad (3)$$

と表せる。 y は予測誤差ベクトル、 x は対象画素ベクトル、 C は符号化行列である。また受信側における復号操作は、量子化を行わない場合、符号化行列の逆行列 C^{-1} を用いて

$$x = C^{-1}y \quad (4)$$

と表すことができる。

2.2.1. 非因果的内挿予測の課題

本研究での非因果的内挿予測の課題は2つ考えられる。1つ目は符号化誤差電力が増大してしまうこと、2つ目はフレーム枚数やブロックサイズの拡大により符号化対象画素数が増え、符号化行列が大きくなった場合や、動き補償を導入した場合における復号時の逆行列 C^{-1} を生成することができるか、という課題がある。本稿では、1つ目の課題について言及する。

通常、予測誤差 y は非線形量子化器を用いて量子化される。この場合、 y の小さい領域では量子化ステップを細かくし、大きい領域では粗くする。このため量子化誤差が発生する。

予測誤差 y を量子化することによって発生する、量子化誤差ベクトルを q と表すと、量子化誤差 q が乗った信号を復号して得られる画素値と、真の画素値との差、つまり符号化誤差 e は、 C^{-1} の部分行列 A を用いて、

$$e = Aq \quad (5)$$

で表すことができる。

ここで、符号化誤差電力を D とすると、

$$\begin{aligned} D &= E[e^T e] \\ &= \text{Tr}[A^T A] \sigma_q^2 \\ &= \text{Tr}[B] \sigma_q^2 \end{aligned} \quad (6)$$

となる。 $E[\cdot]$ は σ_q^2 は1画素あたりの平均量子化誤差電力、 $\text{Tr}[\cdot]$ は対角和演算である。

式(6)より、符号化誤差電力は量子化誤差電力の定数倍となり、量子化誤差電力よりも大きくなる。従来の外挿予測符号化においては、符号化後の画素再生値を用いて、以後の予測を行っているため、量子化誤差と符号化誤差は同値となる。

この課題に関しては、帰還差分量子化法[1][2]により、解決することができる。

2.3. 帰還差分量子化

非因果的内挿予測において、符号化誤差電力を抑える手段として、「帰還差分量子化法」[2]が提案されている。Fig.2.3は帰還差分量子化のブロック図である。

ば、符号化対象フレームのブロックの画素を $x_{1,0}$ 、その前後のフレームのブロック内参照画素を $x_{0,0} \cdot x_{2,0}$ とし、予測誤差 $y_{0,0}$ を求めるとすると、

$$y_{0,0} = x_{1,0} - \frac{1}{2}(x_{0,0} + x_{2,0}) \quad (17)$$

と表すことができる。

この処理をすべての符号化対象画素に対して行う。

8画素×8ラインを1ブロックとし、フレーム3枚目までの符号化行列表現例を以下に示す。

$x_{0,0}$	1 0 ... 0	0 0	0 0	0	$x_{0,0}$
\vdots	0	\ddots	\vdots	\vdots	\vdots
\vdots	\vdots	1	\vdots	\vdots	\vdots
\vdots	\vdots	\vdots	0	\vdots	\vdots
$x_{0,8}$	0 ... 0 1	0 0	0 0	0	$x_{0,8}$
$y_{0,0}$	$-\frac{1}{2}$	1 0 ... 0	$-\frac{1}{2}$	0	$x_{1,0}$
\vdots	\vdots	0	\ddots	\vdots	\vdots
\vdots	\vdots	\vdots	1	\vdots	\vdots
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	0	\vdots
$y_{0,8}$	$-\frac{1}{2}$	0 ... 0 1	$-\frac{1}{2}$	0	$x_{1,8}$
$y_{1,0}$	0 0	$-\frac{1}{2}$	1 0 ... 0	$-\frac{1}{2}$	$x_{2,0}$
\vdots	\vdots	\vdots	0	\ddots	\vdots
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	1	\vdots
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
$y_{1,8}$	0 0	$-\frac{1}{2}$	0 ... 0 1	$-\frac{1}{2}$	$x_{2,8}$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
\vdots	\vdots	\vdots	0 0	1	\vdots

3. シミュレーション

3.1. 実験条件

比較対象となる従来方式は、符号化対象となるフレームの両端から重みづけをし、予測を行う。例えば、取得したフレームが5枚の場合、最初(1枚目)と最後(5枚目)のフレームのみを予測値として用いる。

シミュレーションに使用した画像は、映像情報メディア学会の標準テレビジョン方式・システム評価用標準動画画像である、Whale Showを使用する。

ブロックサイズは8ライン×8画素、両端のフレームは真値を用いた。動き補償は使用せず、フレーム内のブロック位置を固定し非因果的内挿予測を行った。

また、量子化器の特性によって、量子化後・復号後のシミュレーション結果は大きく変化する。本稿では、ステップ数を一定とし、量子化パラメタQPにより量子化の粗さを決定するような、線形量子化器を使用した。

3.2. 予測誤差とEntropyによる比較

従来方式と非因果的内挿予測を用いた場合の予測誤差、Entropyの比較を行った[4]。Fig.3.1はフレームを5枚とした場合の予測誤差ヒストグラムである。

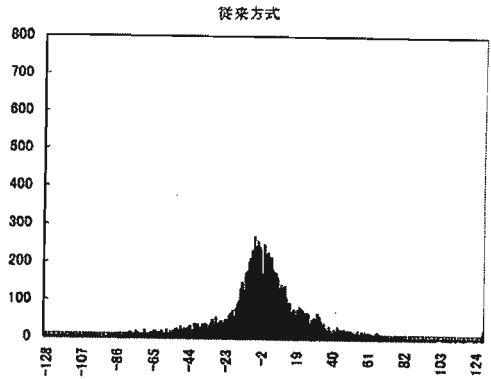


Fig.3.1(a) Histogram of interpolative method

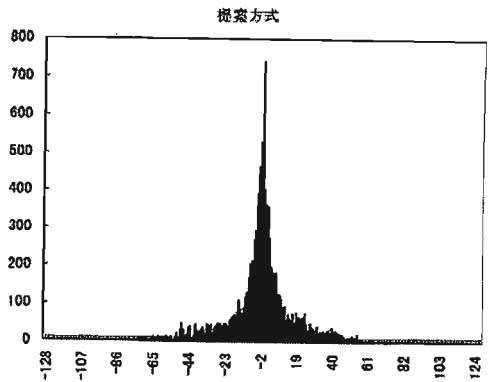


Fig.3.1(b) Histogram of non-causal interpolative method

Fig.3.1(a)の従来方式に比べ、Fig.3.1(b)の提案方式の方が、分布が中央に集まり、予測誤差を抑えることができていると言える。Entropyは、従来方式が6.77bitなのに対し、提案方式は6.03bitと0.74bit削減する事が出来ている。またこの実験を、フレーム枚数を10枚に増やし行った結果、従来方式のEntropyは7.15bit、提案方式は5.93bitと差が1.22bitとなった。従来方式同士で比較すると、0.38bit増加したことに対して、提案方式同士では0.09bit減少する傾向が見られた。

これらの結果より、非因果的内挿予測を時間方向に拡張する優位性はあると言える。

3.3. 復号後のPSNRとCoding rate比較

次に、従来方式と非因果的内挿予測、非因果的内挿予測に帰還差分量子化を適用した場合の、復号した際のPSNRとエントロピーの比較を行った結果をFig.3.2に示す。取得フレームは5数とし、ブロックサイズは8ライン×8画素、量子化パラメタは3~30まで3ずつ変化させた。取得したブロック内には動きがあるものを使用した。

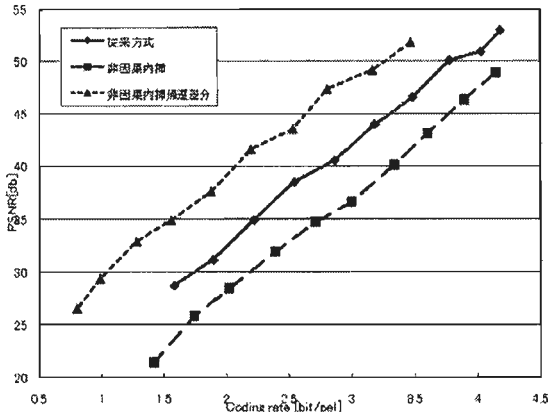


Fig.3.2 Comparison of the interpolative and the non-causal interpolative and the feedback quantizing method

表1 Fig3.2の平均値データ

	PSNR[db]	Coding rate[bit/pel]
従来方式	41.86	2.97
非因果内挿	35.75	2.82
非因果内挿帰還差分	39.48	2.07

表1はFig.3.2のPSNRとCoding rateのQP3~30の平均値である。まず、従来方式と非因果内挿のみで比較すると、非因果内挿のみの場合がCoding rateは0.15bit/pel減少しているが、PSNRは6.08db低くなっている。これは符号化誤差が増大したためであると考えられる。この非因果内挿に対して帰還差分量子化を適用すると、PSNRは3.70db増加させることができCoding rateは0.75bit/pel減少する事が出来た。

従来方式と非因果内挿帰還差分を比較した場合、PSNRが従来方式の方が2.38db高い。しかし、Coding rateも従来方式のほうが高いため、Fig.3.2で比較すると従来方式よりも同じCoding rateに対して、PSNRが改善していることが見られる。

4. 終わりに

本稿では、「非因果的内挿」を時間方向に拡張した場合の優位性を、画像評価により示した。また本稿では触れなかったが、本研究の課題の1つである復号時の逆行列 C^{-1} は、今回のシミュレーションではLU分解により求めることができた。しかしLU分解法はオーダー N^6 の乗除算を必要[3]するとされている。そのため、符号化対象画素数が増加した場合、逆行列を高速に解くアルゴリズムを検討する必要がある。

今後はブロックサイズの拡大、動きベクトルを考慮

したアルゴリズムの検討、逆行列を高速に解くアルゴリズムの検討、そして最終的にはフレーム内符号化も用い3次元内挿予測を行う事で、符号量の削減を目指す。

文 献

- [1] 藤田尚宏, 久保田彰, 羽鳥好律, “内挿予測符号化における予測誤差を用いた帰還差分量子化の適応制御,” 第21回画像符号化シンポジウム, No. P-5.20, pp. 125-126, Nov. 2006.
- [2] 羽鳥好律, 宮里勉, 山口博久, “帰還差分量子化を用いた画像信号の内挿予測符号化,” 電子通信学会論文誌, Vol.J66-B, no.5, pp.599-606, May. 1983
- [3] 町澤明彦, 田中衛, “領域分割による内挿 DPCMに基づく画像データ圧縮法,” 電子通信学会論文誌(D), vol.J69-D, no.3, pp. 375-382, March 1986.
- [4] 原部智哉, 久保田彰, 羽鳥好律, “非因果的内挿によるBピクチャ符号化方式の検討,” FIT2008 第7回情報科学技術フォーラム, I-020, Sept.2008