

動画像に対するフレーム間/フラクタル ハイブリッド符号化

Interframe/Fractal Hybrid Coding for Video Sequences

坂下 義典†

沢田 克敏‡

Yoshinori SAKASHITA

Katsutoshi SAWADA

Abstract This paper describes an interframe / fractal hybrid coding scheme for interlaced video sequences. In this scheme, previous interframe coding, motion compensated (MC) interframe coding and fractal coding are adaptively employed block by block based on the image block characteristics. The coding block size is adaptively varied based on the reconstructed picture distortion. Adaptive infield / inframe block configuration approach is also employed, where field-based configuration and frame-based configuration are used for moving portions and stationary portions, respectively. Computer simulation results present the superiority of the proposed hybrid coding scheme compared to the conventional MC interframe coding.

1. はじめに

フラクタル画像符号化¹⁾²⁾は、画像を構造的見地から扱う符号化方式であり、画像を信号波形として処理する従来の画像符号化に比べてより自然な形で画像を再生することが可能である。このように優位な特徴を持つフラクタル画像符号化は、これまでは主に静止画像用の符号化として研究がなされていた。しかし、近年になって様々なところでデジタル動画像の情報量圧縮技術が必要不可欠とされるようになって来ている。そこで本研究では、動画像の

情報量圧縮に対して、このフラクタル画像符号化を適用する新しい方式について検討を行った。

筆者らはすでにインターレース動画像に適用するためのフラクタル画像符号化⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾について検討してきた。この符号化方式は、従来から広く用いられている動き補償予測符号化等ではうまく符号化できない複雑な動きに対応することが可能である。しかし、多量の情報量が必要な事から、静止領域の多い画像や単純な動きの画像を符号化する場合にはかえって効率が低下するという問題もある。また、フラクタル画像符号化が苦手とする画像(人工的に作成された画像等、自己相似性を満たさない画像など)を符号化する際の画質劣化も問題になる。そこで、画像の部分領域毎の性質に適合した符号化を適応的

† 愛知工業大学 大学院電気電子工学専攻 (豊田市)

‡ 愛知工業大学 情報通信工学科 (豊田市)

に切り替えて使用することにより、以上の問題を解決することを考える。本稿では、画像の部分領域毎の性質によって、動き補償予測符号化等のフレーム間符号化とフラクタル画像符号化を適応的に切り替えて使用するフレーム間/フラクタルハイブリッド符号化を提案し、そのシミュレーション実験の結果を報告する。

2. フラクタル画像符号化

2.1 概要¹⁾

フラクタル画像符号化は、自然界の画像が持つ自己相似性(画像の部分領域を縮小すると元の画像のある部分とよく似通っているという性質)を利用した符号化法である。ここでは従来から広く使われている静止画用フラクタル符号化について述べる。フラクタル画像符号化における符号化処理は、符号化対象画像の部分領域(ドメインセル又はドメインブロックと呼ばれる四角い領域)を切り出し、様々な縮小アフィン変換(縮小・回転・鏡像)を施し、その結果得られた部分画像(コラージュ)が画像の符号化対象部分領域(レンジセル又はレンジブロック)と似通っているかを調べる作業を行っている。そのとき行った縮小アフィン変換の変換パラメータが符号化データとなる。復号化処理は、符号化で求められた変換パラメータを任意の初期画像から出発して、繰り返し適用することによって、2.2の式(1)で示される値まで近似された画像が再生される。符号化パラメータを繰り返し適用するシステムのことを反復関数システム(IFS)と呼ぶ。以上の復号化処理によって1つの再生画像に収束することはコラージュ定理によって保証されている。

2.2 コラージュ定理¹⁾

N 個の縮小アフィン写像 $\{f_1, f_2, \dots, f_N\}$ の縮小比をそれぞれ $\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N\}$ とし、その最小値を

m (本研究では $1/2$) とする。ターゲット T とコラージュ C の近似度 $h(T, C)$ が小さな値 ε で押さえられるとき、コラージュ C を構成する縮小アフィン写像を用いた反復関数により得られる再生画像の部分領域 K とターゲット T の近さは

$$h(T, K) < \varepsilon / (1 - m) \quad (1)$$

と表される。ここで、ターゲット T は符号化対象画像の内に存在する図形、コラージュ C はターゲットを縮小アフィン変換して得られる適当な数 N のサブタイトル $S_i (= f_i(T))$ ($i = 1, 2, \dots, N$) を貼り合わせ、ターゲットを近似したものであり、以下の式(2)で示される。

$$C = S_1 \cup S_2 \cup \dots \cup S_N \quad (2)$$

コラージュ定理とは、ターゲット T とコラージュ C のハウスドルフ距離 $h(T, C)$ が小さな値 ε で押さえられているのなら、コラージュ C を構成する縮小アフィン写像を用いた反復関数の適用により、最終的に式(1)で示される値まで再生画像を近似できることを示している。

3. 基本符号化処理技術と提案方式

3.1 概要

本稿では始めに、次の3つの基本的な符号化処理技術を提案している。(1)部分領域ごとの符号量を変化させ、効率的な情報圧縮を行う可変ブロックサイズ符号化処理³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾。(2)インターレース画像における符号化性能を向上させるフィールド/フレーム適応符号化処理⁶⁾⁷⁾。(3)画質の向上と復号化処理時間を短縮させるフレーム間フラクタル画像符号化⁵⁾⁷⁾。以上の基本符号化処理技術を元にして、本稿ではフレーム間/フラクタルハイブリッド符号化を提案する。本ハイブリッド符号化方式では、画像をその動きによって3つの領域に分け、A. 静止領域では単純フレーム間符号化、B. 単純な動きの領域では動

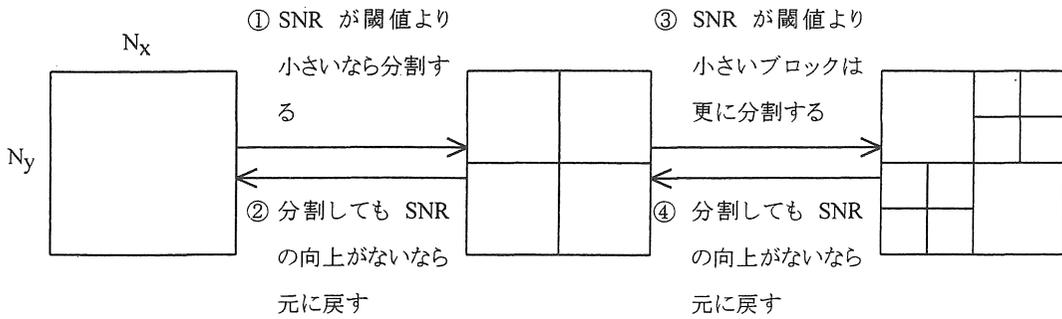


図1 可変ブロックサイズ符号化処理

き補償予測符号化、C. 複雑な動きの領域ではフレーム間フラクタル画像符号化を用いている。画像の部分領域毎の動きに応じた符号化を適応的に切り替えて用いることにより、各符号化法がもつ利点を生かしつつ欠点を補うのが本ハイブリッド符号化方式である。

3.2 基本符号化処理技術

3.2.1 可変ブロックサイズ符号化処理

可変ブロックサイズ符号化処理は、画像の部分領域(ブロック)ごとの複雑さに応じて使用する符号量を変化させ、効率的な情報圧縮を行うものである。単純な画像領域に対しては大きいブロックを割り当てることにより、必要十分な画質を少ない情報量で実現し、複雑な画像領域に対しては小さいブロックを割り当てることにより、画質の劣化を防ぐことができる。

可変ブロックサイズ符号化の処理アルゴリズムを図1に示す。始めに、 $N_x \times N_y$ の大きさのブロックで任意の符号化を行う。この符号化によって得られた $N_x \times N_y$ ブロックの再生画像の信号対符号化雑音比(SNR)を求め、それがある決められた閾値以上ならばそのブロックに対する符号化を終了する。閾値より小さいならば図1①に示すようにブロックを再分割する(図の例は4分割)。分割した各ブロック毎に再び符号化を行い、得られた各ブロックをまとめた

$N_x \times N_y$ ブロックの SNR を求める。その SNR が分割前の SNR 以下ならば、図1②に示すようにブロックサイズを $N_x \times N_y$ の大きさに戻し、そのブロックの符号化を終了する。分割しても SNR が閾値より小さいブロックは、分割したブロックの大きさが指定したサイズに達するか各ブロックの SNR が閾値以上となるまで分割し、同様の処理を行っていく。

3.2.2 フィールド/フレーム適応符号化処理

フィールド/フレーム適応符号化処理は、インターレース画像を静止領域と動領域に分け、画像を扱う単位をフレーム/フィールドのいずれかにすることによって、符号化性能を向上させるものである。画像に動きのない静止領域では、奇数フィールドと偶数フィールドを合わせたフレーム単位の画像で符号化する。これにより、フィールド単位での符号化では利用できない他フィールドのラインの情報が符号化に利用できるため、性能が向上する。一方、画像に動きのある動領域では、フレーム単位の画像で符号化すると、奇数ラインと偶数ラインの画像に時間的な差があるため、かえって性能が低下する。よって、動領域ではフィールド単位の画像で符号化する。

フィールド/フレーム適応符号化の処理アルゴリズムを図2に示す。始めに、 $N_x \times N_y$ の大きさのフレーム単位の部分領域(ブロック)に対して式(3)、式(4)の評価関数を使用して、 $d_1 > d_2$ なら静止領域、

$d_1 \leq d_2$ なら動領域と判定する。静止領域と判定されたなら、 $N_x \times N_y/2$ の大きさのフレーム単位の2つのブロックに、動領域と判定されたならフィールド単位の2つのブロックに分割する。そして、各分割ブロック毎に任意の符号化処理を行う。

復号化側では、 $N_x \times N_y/2$ の大きさのブロック毎に復号化を行った後、符号化側とは逆の手順で2分割されたブロックを合成する。

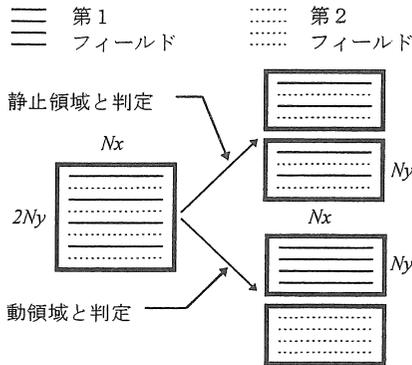


図2 フィールド/フレーム適応符号化処理

$$d_1 = \sum_{x=0}^{N_x-1} \sum_{y=0}^{N_y-1} (|p(x,y) - p(x,y+2)| + |p(x,y+1) - p(x,y+3)|) \quad (3)$$

$$d_2 = \sum_{x=0}^{N_x-1} \sum_{y=0}^{N_y-1} (|p(x,y) - p(x,y+1)| + |p(x,y+1) - p(x,y+2)|) \quad (4)$$

$p(x,y)$: ブロック内の画素値

x : ブロックの左上を基準にした水平方向座標

y : ブロックの左上を基準にした垂直方向座標

3・2・3 フレーム間フラクタル画像符号化

2. で述べた静止画用フラクタル画像符号化を動画像にそのまま適用すると、ドメインブロックは符号化対象の現フレーム画像から切り出すことになる。ところで動画像においては、符号化対象となる現フレーム画像と時間的に1つ前になる前フレーム画像はかなり似通っていることが多い。従って、フラクタル画像符号化処理でドメインブロックを切り出す対象を

現フレーム画像から前フレーム画像に変更しても符号化が行えることになる。フレーム間フラクタル画像符号化は、以上のように静止画用のフラクタル画像符号化のアルゴリズムを変更したものである。

フラクタル画像符号化は、符号化で得られたコラージュと原画像との誤差が ε_1 であるとき、式(1)より再生画像と原画像の誤差は ε_1 より大きい値を含むことになる。一方、フレーム間フラクタル画像符号化では、符号化側、復号化側ともに同じ前フレーム画像からドメインブロックを切り出すため、符号化処理で得られるコラージュと復号化処理で得られる再生画像は同一になる。従って、コラージュと原画像との誤差が ε_2 であるとき、再生画像と原画像の誤差も ε_2 となる。現フレーム画像と前フレーム画像が完全に一致している場合には ε_1 と ε_2 は一致するため、フレーム間フラクタル画像符号化の方が画質が良くなる。実際には現フレーム画像と前フレーム画像が完全に一致することはあまりないが、 ε_1 と ε_2 は似たような値となることが多いため、フレーム間フラクタル画像符号化の方が画質が良くなる事が多い。また、符号化側でコラージュを作成するために行う変換処理と復号化側で画像を再生するために行う変換処理が同一であることから、静止画像用フラクタル画像符号化のように復号化処理で反復変換を行う必要がないため、復号化処理時間が短縮されるという利点もある。

3・3 フレーム間/フラクタルハイブリッド符号化

本ハイブリッド符号化は、以下に示す3つの符号化を画像の部分領域(ブロック)毎に適応的に切り替えて使用することにより性能向上を図ったものである。

- A 単純フレーム間符号化
- B 動き補償予測符号化
- C フレーム間フラクタル画像符号化

Aは静止領域、Bは単純な動きの領域、Cは複雑

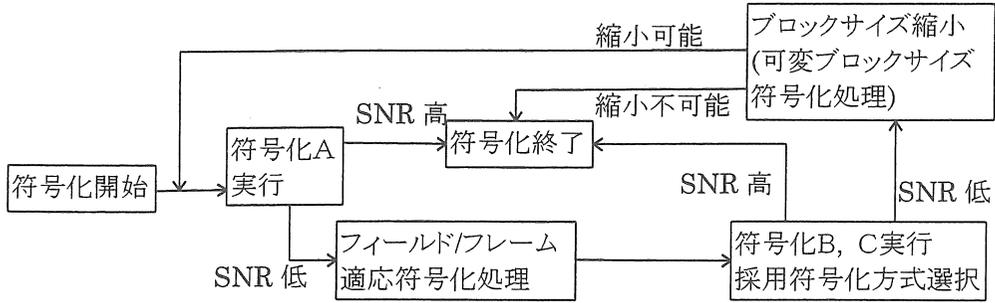


図3 フレーム間フラクタルハイブリッド符号化

な動きの領域にそれぞれ対応する符号化である。Aでは、静止している領域に対して、前フレーム画像の同位置領域をそのまま現フレームに当てはめる単純フレーム間符号化を行う。この符号化は必要な情報量が極端に少ないため、静止領域の多い画像において情報量を押さえることができる。Bでは、平行移動など単純な動きをしている領域に対して、動き補償予測符号化を行う。動き補償予測符号化は必要な情報量がそれほど多くない上に、比較的高い画質が得られるため、情報圧縮と画質向上の効果がある。Cでは、複雑な動きをしている領域に対して、3・2・3 のフレーム間フラクタル画像符号化を行う。フラクタル画像符号化は、単純フレーム間符号化や動き補償予測符号化のように符号化対象となる画像と全く同じ画像が存在しなくても、同じ構造を持つ画像があれば符号化が行えるため、複雑な動きに対応できる。

本ハイブリッド符号化では以上の3つの符号化を適応的に切り替えて使用すると同時に、各符号化においては3・2 で述べた可変ブロックサイズ符号化処理とフィールド/フレーム適応符号化処理を適用することで、符号化性能のより一層の向上を図っている。

図3に画像の各ブロック毎に行う符号化手順を示す。始めに符号化Aを行う。その結果得られた再生画像の SNR がある閾値以上ならば、符号化Aを採用してそのブロックの符号化を終了する。閾値未満ならば、フィールド/フレームいずれの画像単位で符

号化した方が性能が向上するかを判定し、符号化B及びCを行う。そして、B,Cのうち符号化性能のよい方を選択する。その結果として得られた再生画像の SNR がある閾値以上ならば、選択した符号化を採用してそのブロックの符号化を終了する。閾値未満ならば、ブロックサイズを縮小して、再度符号化Aから処理を行う。但しブロックサイズが指定されたサイズに達したら符号化を終了する。

4. シミュレーション実験

4・1 実験内容

フレーム間フラクタル画像符号化のみを行う方式1、従来から広く用いられている動き補償予測符号化のみを行う方式2、提案したフレーム間/フラクタルハイブリッド符号化を行う方式3の3方式についてシミュレーション実験を行い、性能の比較を行った。可変ブロックサイズ処理とフィールド/フレーム適応処理はすべての方式で行い、ブロックサイズは 16×16, 8×8, 4×8 の3段階可変とした。予測誤差画像に対してステップサイズ64の線形量子化を行った上で符号化した。画像は、Cheerleaders の第1フレームから第20フレームを使用した。前フレーム画像には、第2フレームの符号化時のみ第1フレームの原画像、それ以外のフレームに対しては、各符号化方式で符号化・復号化した前フレーム再生画像を使用した。

4.2 実験結果および考察

シミュレーション実験の結果を図4, 図5, 図6に示す。Entropy は各符号化で画像を再生するのに必要な情報量を示し、SNR は画質の程度を示す。Entropy が小さい、又は SNR が大きい方式の方が性能が良い。

図4は、第2フレームの結果を横軸 Entropy、縦軸 SNR として示したものである。可変ブロックサイズ符号化で用いる閾値を変化させることによって、Entropy と SNR が様々な値になるようにしている。方式1は他の方式と比較してかなり性能が劣っている。これは、静止領域や単純な領域を符号化するために必要以上の情報量を用いているのが理由である。方式2と方式3を比較すると、SNR の高い部分になればなるほど差が開いていることが分かる。これは、高い SNR を得ようとすればするほど複雑な画像領域をきちんと符号化しなくてはならないため、複雑な画像領域に適応できない方式2と比較して方式3の性能が良くなることを示している。方式3は単純な動きの画像領域に対して動き補償予測符号化、静止領域に対して必要な情報量が極端に少ない単純フレーム間符号化を行っているため、低い SNR の部分でも方式2より性能が良い結果となっている。

図5, 図6は、各フレームごとに Entropy と SNR を示したものである。方式1では、SNR は方式3に迫る値を示し、どのフレームでも安定した値となっているが、Entropy がかなり大きくなっている。これは、単純な動きの画像領域にも必要以上の情報量を使用していることが原因であり、情報の利用効率の悪さが分かる。方式2では、Entropy は方式3とほぼ同じ値であるが、SNR がかなり低い上に第11フレームあたりから値が低下していつている。値が低下していくのは、過去のフレームからの予測誤差が蓄積されていった結果、誤差が大きくなりすぎることとなり、誤差の補償が完全に行えなくなったためである。予測誤差画像に対する量子化のステップサイズを小さくす

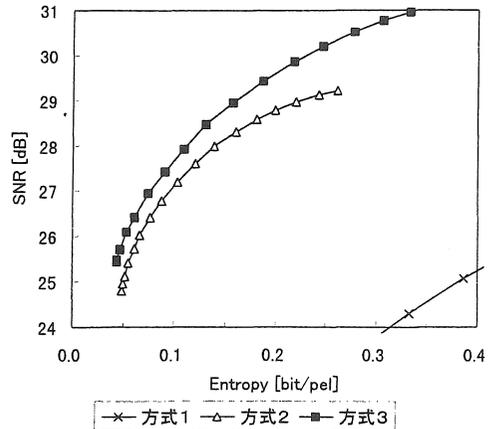


図4 方式別特性比較: Entropy vs. SNR(Frame No.2)

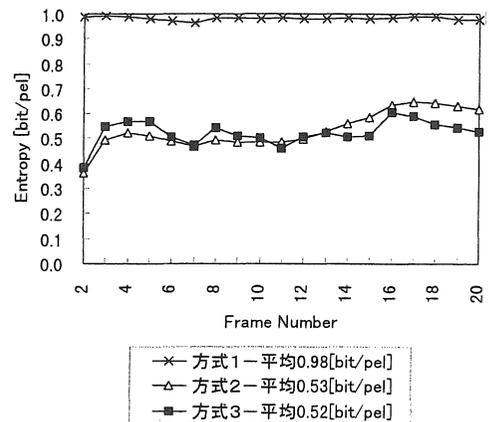


図5 方式別特性比較: Frame No. vs. Entropy

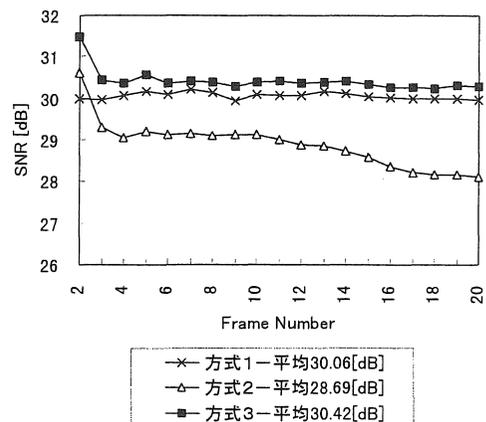


図6 方式別特性比較: Frame No. vs. SNR

ればこの誤差を小さくすることも可能だが、必要な情報量も当然大きくなってしまふ。方式3は、Entropy は方式2とほぼ同じという低い値でありながら、どのフレームでも方式1より高い SNR を示しており、方式1、方式2と比較して高い性能であることが分かる。

5. むすび

本稿では、インターレース動画像の高能率符号化方式としてフレーム間/フラクタルハイブリッド符号化を提案し、シミュレーション実験の結果について述べた。

始めに、本ハイブリッド符号化方式で用いているフラクタル画像符号化やその他のフレーム間符号化自体の性能を向上させるために、(1)可変ブロックサイズ符号化処理、(2)フィールド/フレーム適応符号化処理、(3)フレーム間フラクタル画像符号化の3つの基本符号化処理技術を提案した。そして、本ハイブリッド符号化方式では、画像をその動きによって3つの領域に分け、A. 静止領域では単純フレーム間符号化、B. 単純な動きの領域では動き補償予測符号化、C. 複雑な動きの領域ではフレーム間フラクタル画像符号化を適応的に用いている。計算機シミュレーション実験の結果、本ハイブリッド符号化は、従来から広く用いられている動き補償符号化よりも有効であることが確認された。

謝辞

本研究は財団法人電気通信普及財団からの研究助成を受けて行われたことを記し、感謝の意を表す。

文献

- 1) A. E. Jacquin: "Image Coding Based on a Fractal Theory of Iterated Contractive Image Transformations", IEEE Transactions on Image Processing, Vol.1, No.1, Jan. 1992.
- 2) K.U.Barthel, T.Voye and P.Noll : "Improved Fractal Image Coding" PCS '93,1.5
- 3) 本田, 高木, 沢田 : 「可変サイズのレンジセルを用いたフラクタル画像符号化」, 電子情報通信学会総合大会, D-289, 1995
- 4) 坂下, 加藤, 沢田 : 「インターレース画像に対する可変サイズレンジセルのフラクタル符号化」, 電子情報通信学会総合大会, D-285, 1996
- 5) 坂下, 沢田 : 「前フレームの画像から切り出したドメインセルを用いたフラクタル符号化」, テレビジョン学会, 21-3, 1996
- 6) 坂下, 沢田 : 「フィールド/フレーム適応可変サイズレンジセルを用いたフラクタル画像符号化」, 電子情報通信学会情報・システムソサエティ大会, D-172, 1996
- 7) 坂下, 沢田 : 「前フレーム画像を用いたフィールド/フレーム適応可変サイズレンジセルのフラクタル画像符号化」, 電気関係学会東海支部連合大会, 790, 1997
- 8) 坂下, 沢田 : 「動画像に対するフレーム間/フラクタルハイブリッド符号化」, 電子情報通信学会総合大会, D-11-38, 1998

(受理 平成10年 3月20日)