

動画像符号化におけるサブバンド分割を用いた高速 Matching Pursuits アルゴリズム

Fast Matching Pursuits Algorithm Using Sub-band Decomposition for Video Coding

今村 幸祐[†], 小場 由雅[†], 正会員 橋本 秀雄[†]

Kousuke Imamura[†], Yoshimasa Koba[†] and Hideo Hashimoto[†]

Abstract A high-efficiency video coding method using matching pursuits, which is a waveform coding technique, was proposed. This method encodes a motion compensated prediction error image by applying matching pursuits. The matching pursuits algorithm approximates a signal using a dictionary. Therefore, the performance of this algorithm depends heavily on the dictionary. We propose a matching pursuits coding method that encodes the sub-band images derived from motion compensated prediction error images. The dictionaries used in our method are constructed to be suitable for the frequency characteristics of each sub-band image. The complexity of our method is reduced compared with the full-band matching pursuits because of lighter inner product computation due to a reduction in both the resolution of the sub-band image and the basis function length of the dictionary. We evaluated the coding performance and computational complexity of our method via computer simulations.

キーワード : Video coding, Waveform coding, Matching pursuits, Sub-band decomposition

1. まえがき

国際標準方式である MPEG2 や H.26x をはじめとした動画像符号化では、動き補償フレーム間予測と DCT を用いたハイブリッド符号化が主流である。それに対し、近年、動き補償フレーム間予測誤差に対して Matching Pursuits(MP) を適用し、符号化を行う動画像符号化法が提案されている^{1)~4)}。

Matching Pursuits は、符号化対象信号に対して、基底関数による over-complete な辞書を繰り返し適用することで、信号を近似構成する手法である⁵⁾。Matching Pursuits の符号化特性は、符号化に用いる辞書に大きく依存する。しかし、すべての符号化対象信号に適した辞書パラメータの設定は非常に困難である。そのため、Matching Pursuits における辞書設計の検討が広く行なわれており、特定の対象信号についてより最適な辞書設計を行なうために、学習的な手法を用いた辞書設計法なども提案されている⁶⁾⁷⁾。

2005年11月28日受付、2006年3月10日再受付、2006年4月19日採録

†金沢大学大学院自然科学研究科

(〒920-1192 石川県金沢市角間町, TEL 076-234-4894)

†Graduate School of Natural Science & Technology, Kanazawa University

(Kakuma-machi, Ishikawa 920-1192 Japan)

また、Matching Pursuits の符号化では、近似後の残差信号電力を最小にする対象信号と辞書パターンの組合せを決める処理が行われる。この最も近似効率の高い組合せを探索する処理では、対象信号と辞書パターンに対して、多数の内積演算による近似効率の評価を行うために、多くの計算量が必要となる。

この計算時間の削減についても、数々の手法が提案されている。R.Neff らは、単純なパターンの組合せで構成された辞書を用い、探索を 2段階に分けて行なうことで、探索処理の高速化を図っている³⁾。しかし、対象信号を帯域分割し、それぞれの帯域に対して辞書を設計しているわけではないため、さらなる効率化の余地がある。また、C.De Vleeschouwer らは、対象信号をサブバンド分割し、Haar 関数を用いた 1 次元のツリー構造フィルタバンクによる辞書を用いて高速化を行なっている⁸⁾。しかし、辞書の構造上、斜めエッジのような任意の 2 次元辞書を構成することができないという問題がある。

本論文では、動き補償予測誤差画像をサブバンド分割し、得られた 4種類のサブバンド画像に Matching Pursuits を適用する動画像符号化法を提案する。Matching Pursuits の辞書は、各バンドの周波数特性に適するように設計を行う。著者らが先に提案したサブバンド Matching Pursuits 符号化法⁷⁾では、高周波帯域の辞書パラメータと辞書バ

ターン数を経験的に設定していた。そこで本論文では、それらの設定を符号化時の辞書選択頻度を用いて、より効率的に行う手法を提案する。

本提案法では、サブバンド分割がサブサンプリングを伴うため、予測誤差画像の解像度がフルバンドの半分となり、それに応じて辞書の基底関数長も縮小する。辞書パターン数に関しても、周波数特性と重要度に応じて削減することで、Matching Pursuitsにおける計算量の削減が可能となる。また提案法における辞書は、基本的に選択と削除によって辞書パラメータと辞書パターン数の最適化を行っているため、可分型の辞書に限らず、任意の2次元辞書を扱うことができる。

提案手法の性能評価として、符号化効率については、本提案法が想定している効率と同程度のH.263との比較を行い、計算量はMatching Pursuits方式としての削減を計算機シミュレーションにより評価する。

本論文では、二章でMatching Pursuitsの概略について述べ、三章で提案するサブバンド Matching Pursuits を用いた動画像符号化システムについて述べ、提案法における辞書の設計とアトム探索法について述べる。四章で計算機シミュレーションにより得られた提案法の特性および従来法、他方式との比較を示し、最後に五章でまとめを記す。

2. Matching Pursuits

2.1 Matching Pursuits の基本原理

Matching Pursuitsは、非直交でovercompleteな基底ベクトル $g_\gamma(t)$ によって構成された辞書 \mathcal{D} を用意し、符号化対象信号 $f(t)$ を、辞書に登録された波形の線形結合で近似構成する。

MPによる近似信号 $\hat{f}(t)$ は式(1)で表される。

$$\hat{f}(t) = \sum_{k=1}^m p_k \cdot g_{\gamma_k}(t - \tau_k) \quad (1)$$

ここで τ_k , γ_k , p_k はそれぞれ基底ベクトルの位置、種類、スケールを表し、これらの3種類のパラメータの組 (τ_k, γ_k, p_k) によって決定する波形をアトム(atom)と呼ぶ。式(1)を構成するアトムの集合は、信号 $f(t)$ を逐次基底ベクトル $g_\gamma(t)$ へ直交射影することで決定される。

まず、信号 $f(t)$ をある基底ベクトル $g_{\gamma_1}(t - \tau_1)$ へ射影した場合、そのときの残差信号 $Rf(t)$ を用いて

$$f(t) = p_1 \cdot g_{\gamma_1}(t - \tau_1) + Rf(t) \quad (2)$$

$$p_1 = \langle f(t), g_{\gamma_1}(t - \tau_1) \rangle \quad (3)$$

と表せる。ここで、 p_1 は信号と基底ベクトルの内積値を示す。また基底ベクトル $g_\gamma(t)$ が正規化されているものとすると、 $Rf(t)$ と $g_{\gamma_1}(t - \tau_1)$ は互いに直交し、以下の関係式が成立する。

$$\|f(t)\|^2 = p_1^2 + \|Rf(t)\|^2 \quad (4)$$

表1 基本辞書のパラメータ
Parameters of the basic dictionary.

$\vec{\alpha}\vec{\beta}$	s	ξ	ϕ	N	$\vec{\alpha}\vec{\beta}$	s	ξ	ϕ	N
0	1.0	0.0	0	1	10	5.0	1.0	$\pi/2$	9
1	3.0	0.0	0	5	11	12.0	1.0	$\pi/2$	21
2	5.0	0.0	0	9	12	16.0	1.0	$\pi/2$	27
3	7.0	0.0	0	11	13	20.0	1.0	$\pi/2$	35
4	9.0	0.0	0	15	14	4.0	2.0	0	7
5	12.0	0.0	0	21	15	4.0	3.0	0	7
6	14.0	0.0	0	23	16	8.0	3.0	0	13
7	17.0	0.0	0	29	17	4.0	4.0	0	7
8	20.0	0.0	0	35	18	4.0	2.0	$\pi/4$	7
9	1.4	1.0	$\pi/2$	3	19	4.0	4.0	$\pi/4$	7

したがって、内積 p_1 の絶対値を最大とするパラメータを求ることにより、残差信号のエネルギー $\|Rf(t)\|^2 = \|f(t)\|^2 - p_1^2$ を最小とするアトムを決めることができる。

また、残差信号 $Rf(t)$ は

$$Rf(t) = p_2 \cdot g_{\gamma_2}(t - \tau_2) + R^2 f(t) \quad (5)$$

のように展開することができることから、 m 個のアトムにより展開された信号 $f(t)$ は

$$f(t) = \sum_{k=1}^m p_k \cdot g_{\gamma_k}(t - \tau_k) + R^m f(t) \quad (6)$$

と表すことができる。

したがって、信号 $f(t)$ は、 m 個のアトムによって、近似的に再生される。

2.2 Matching Pursuits における基本辞書

Matching Pursuitsで用いられる辞書は、式(7)に示すGabor関数の直積により作成される2次元の可分型辞書である。

$$g_{\vec{\alpha}}(n) = K_{\vec{\alpha}} g\left(\frac{n - \frac{N}{2} + 1}{s}\right) \cos\left(\frac{2\pi\xi(n - \frac{N}{2} + 1)}{N_b} + \phi\right) \quad n \in \{0, 1, \dots, N - 1\} \quad (7)$$

ここで、 K は正規化係数であり、 N は基底関数長を示す。 $g(\cdot)$ は、式(8)に示すガウシアンウインドウである。

$$g(t) = \sqrt[4]{2} e^{\pi t^2} \quad (8)$$

このGabor関数から得られるベクトルは、パラメータセット $\vec{\alpha} = (s, \xi, \phi)$ により決まる。 s , ξ , ϕ は、それぞれガウシアンウインドウのスケール、周波数変調、位相シフト量を決定するパラメータである。

水平および垂直方向のための二つのパラメータセット $\vec{\alpha}$, $\vec{\beta}$ を用いて得られたベクトルと式(9)により、2次元の可分型辞書を得ることができる。このような2次元の可分型辞書は、内積演算の計算量を少なくすることができるため、Matching Pursuitsでは一般的に用いられる。

$$G(i, j) = g_{\vec{\alpha}(i)} \otimes g_{\vec{\beta}(j)} \quad (9)$$

$$i, j \in \{0, 1, \dots, N - 1\}$$

\otimes : 直積

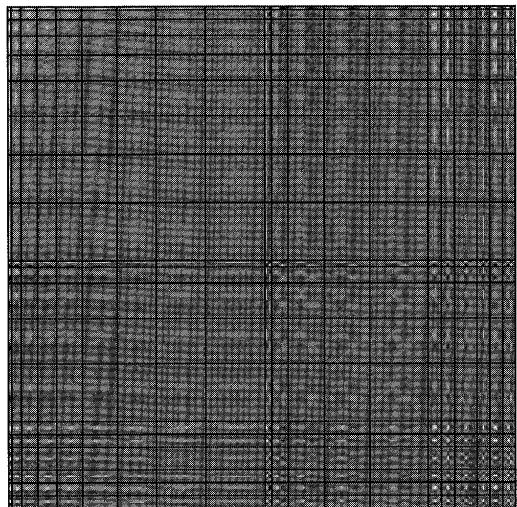


図 1 Matching Pursuits の基本辞書
Basic dictionary for matching pursuits.

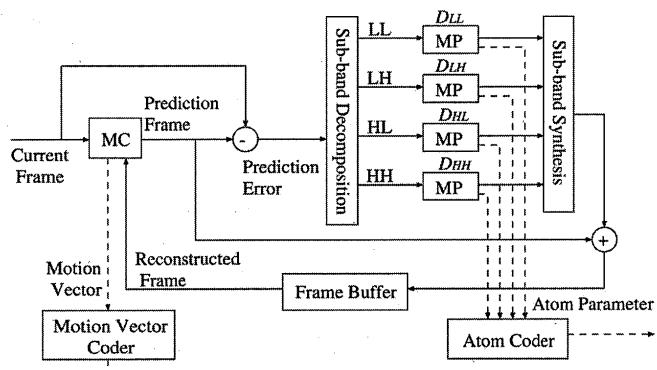


図 2 サブバンド Matching Pursuits を用いた動画像符号化
Video coding system using sub-band matching pursuits.

最適な Gabor 関数のパラメータは、対象画像の特性に依存するため、Matching Pursuits では、経験的に定めたパラメータが用いられている¹⁾³⁾。本論文では、この経験的なパラメータにより作成された辞書を、フルバンド Matching Pursuits の基本辞書とする。表 1 に基本辞書のパラメータを示し、図 1 にこれらのパラメータにより作成された辞書を示す。式(7)における N_b の値は、マクロブロックサイズと同じ 16 である。

3. サブバンド Matching Pursuits

提案するサブバンド Matching Pursuits を用いた動画像符号化システムの概要を図 2 に示す。この符号化システムでは、入力画像に動き補償フレーム間予測を適用し、予測誤差フレームをサブバンド分割した後、各バンドに対して Matching Pursuits を適用するものである。図 3 に動き補償フレーム間予測誤差画像とそれをサブバンド分割したバンド画像を示す。Matching Pursuits 部では、サブバンド画像について適した辞書をそれぞれ設定する。

3.1 サブバンド Matching Pursuits の辞書設計

サブバンド Matching Pursuitsにおいて、各バンド画像に適用する辞書を図 1 のフルバンド Matching Pursuits の

基本辞書を基に、以下の手順で作成する。

サブバンド Matching Pursuits における対象画像は、図 3(b)~(f) に示すように、1/2 のサブサンプリングを伴うサブバンド分割を行った予測誤差画像であるため、解像度はフルバンドの半分となる。そのため、サブバンド画像に対する Matching Pursuits 辞書の基底関数長は、水平方向、垂直方向共に対象画像の解像度に合わせフルバンドの半分に設定する。ただし、基底関数長は奇数を保持するものとし、そのため基底関数長が重複するものは削除する。その結果、フルバンド時に 20 セットであったパラメータは、14 セットに削減される。

式(7)におけるパラメータ s は、式(8)に示すガウシアンウインドウによるスケーリングを設定するものであり、設定すべき値は基底関数長に依存するため、同様にフルバンド辞書の値の半分とする。

また、Gabor 関数において周波数要素と位相シフト要素を決定するパラメータ ξ と ϕ については、サブバンド Matching Pursuits 辞書においても、フルバンド Matching Pursuits の基本辞書における周波数要素と位相要素を保持するために同じ値を用いる。ただし、基底関数長がフルバンドの半分となっていることから、空間周波数解像度を維持するために、 N_b の値はフルバンドの半分の 8 とする。

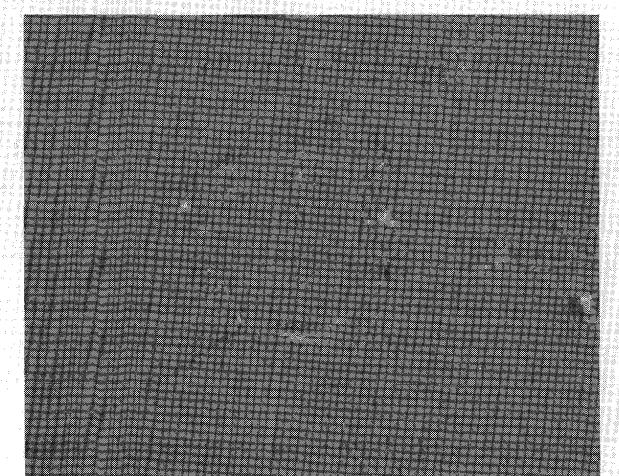
上記の操作により作成したパラメータを、表 2(a) に示す。

予測画像はサブバンド分割によって、水平方向、垂直方向それぞれについて低周波成分と高周波成分に分割されるが、その信号エネルギーは、図 3 からもわかるように、高周波成分より低周波成分に多くあらわれる。そのため、サブバンド画像において比較的信号エネルギーが高く、人間の視覚特性においても重要な低周波成分については、高品質な符号化を行うために、フルバンドの基本辞書に準ずる表 2(a) のパラメータを、これ以上の辞書パターンの削減を行わずに用いる。

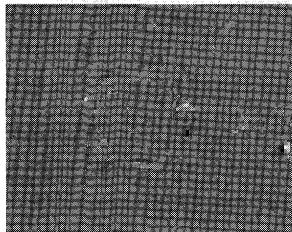
高周波成分に対するパラメータについては、計算量の削減を目的として、パラメータセット数の削減を行う。削減方法は、実際にサブバンド Matching Pursuits による符号化処理を行ない、実験的に高周波バンドにおいて、使用頻度が低いパラメータを削除する方法である。このようにして、作成した高周波成分の辞書パラメータを表 2(b) に示す。

結果として、高周波成分の辞書パラメータにおいては、高周波数成分であるにもかかわらず、Gabor 関数の周波数成分を示すパラメータ ξ の値が小さいものも残った。これは、高周波成分を含む画像においては、必ずしも周波数成分のパラメータの値が大きい辞書のみが適用されるわけではなく、高周波成分を含む信号が、複数の基底関数長が短く、周波数パラメータの値が小さい辞書パターンに分解されて、近似が行われるためである。

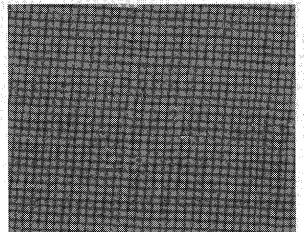
表 2 に示す辞書パラメータを用いて、LL バンド画像（水平、垂直共に低周波成分）、LH バンド画像（水平は低周波



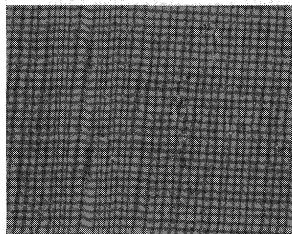
(a) Motion compensated prediction error image



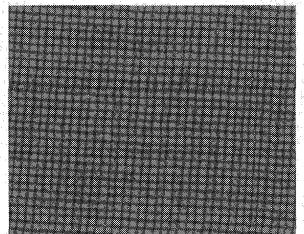
(b) LL band



(c) LH band



(d) HL band



(f) HH band

図 3 動き補償予測誤差画像とサブバンド画像
Motion compensated prediction error image and sub-band images.

成分, 垂直は高周波成分), HL バンド画像 (水平は高周波成分, 垂直は低周波成分), HH バンド画像 (水平, 垂直共に高周波成分) に対する辞書を式(10)により作成する.

$$\begin{aligned} D_{LL}(i, j) &= g_{\vec{\alpha}_L(i)} \otimes g_{\vec{\beta}_L(j)}, \\ D_{LH}(i, j) &= g_{\vec{\alpha}_L(i)} \otimes g_{\vec{\beta}_H(j)}, \\ D_{HL}(i, j) &= g_{\vec{\alpha}_H(i)} \otimes g_{\vec{\beta}_L(j)}, \\ D_{HH}(i, j) &= g_{\vec{\alpha}_H(i)} \otimes g_{\vec{\beta}_H(j)} \end{aligned} \quad (10)$$

実際に作成された辞書を図 4 に示す. 図 4 より, LH バンド辞書は水平エッジ, HL バンド辞書は垂直エッジといった特徴的な成分に特化した辞書となることが分かる. 可分型の辞書では, 斜めパターンが表現できないため, HH バンド辞書はテクスチャパターンの辞書となる. また, 辞書サイズが水平方向と垂直方向で半分となり, さらに高周波成分の辞書ほど辞書パターン数が少なく設定されている.

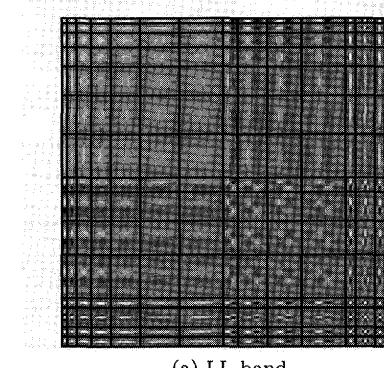
3.2 サブバンド Matching Pursuits におけるアトム探索法

次に, サブバンド Matching Pursuits におけるアトム探

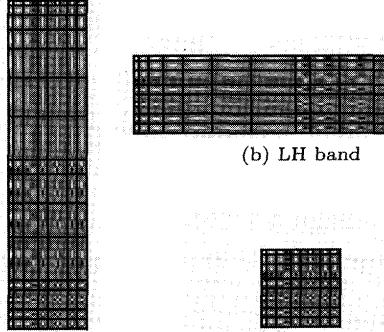
表 2 サブバンド辞書のパラメータ
Parameters of the sub-band dictionary.

(a) Low frequency				
$\vec{\alpha}_L \vec{\beta}_L$	s	ξ	ϕ	N
0	1.0	0.0	0	1
1	1.4	0.0	0	3
2	3.0	0.0	0	5
3	4.0	0.0	0	7
4	7.0	0.0	0	11
5	9.0	0.0	0	15
6	10.0	0.0	0	17
7	3.0	1.0	$\pi/2$	5

(b) High frequency			
$\vec{\alpha}_H \vec{\beta}_H$	s	ξ	ϕ
0	1.0	0.0	0
1	1.4	0.0	0
2	3.0	1.0	$\pi/2$
3	1.4	3.0	0
4	4.0	3.0	0
5	1.4	4.0	0
6	1.4	2.0	$\pi/4$



(a) LL band



(b) LH band



(c) HL band



(d) HH band

図 4 サブバンド Matching Pursuits の辞書
Dictionary for sub-band matching pursuits.

索法について述べる.

Matching Pursuits は符号化処理において, 近似効率が最大となる信号ブロックと辞書パターンの組合せを探査する処理であるアトム探索が行われる. この処理は, 画像内の多数の信号ブロックと辞書パターンとの近似率を内積演算で評価する処理であるため, 多くの計算量が必要となる. 仮に画像内のすべての信号ブロックから探索を行った場合, 最も近似効率の高い組合せが得られるが, 計算量が膨大となるため, 探索範囲の制限などにより, 計算量を抑えた探索を行うのが一般的である.

近似効率が最も高い信号ブロックは, 辞書により近似さ

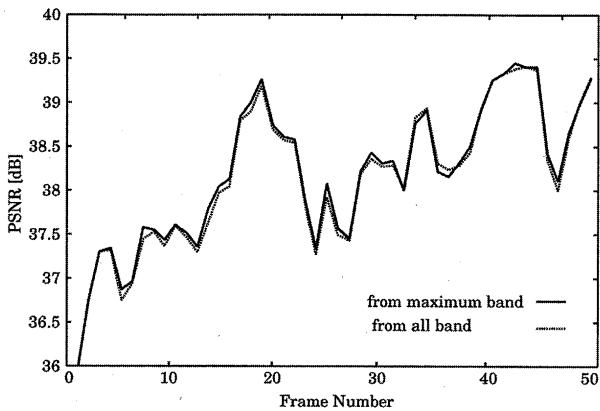


図 5 探索バンドの影響 (akiyo)
Effectiveness by searched band (akiyo).

れる信号のエネルギーが最大となる信号ブロックであるため、対象画像中のエネルギーの高い区域に存在することが多い。そのため、Matching Pursuits では、探索の前に、まず対象画像中で信号のエネルギーが最も大きいブロックを調べる。そして、その信号エネルギーが最大となるブロックを中心とした一定範囲の信号ブロックのみを探索対象とする。

また、アトム探索において、同じ対象画像で複数のアトム探索を行う場合には、前のアトム探索時に計算された各信号ブロックに対する評価値は、メモリーに記憶され、同じ評価計算が行わないように処理される。新たに評価が行われる信号ブロックは、未だ評価が行われていないブロックか、辞書による近似によって、残差信号が更新されたブロックのみとなる。アトム探索処理では、これらの計算量を抑える手法が用いられる。

この手法をサブバンド Matching Pursuits に適用する場合、対象画像が四つにサブバンド分割されるため、どのバンドを探索対象とするかを決める必要がある。

動きが大きいシーケンスにおいては、低周波バンドに信号エネルギーが集中するため、信号エネルギーがすべてのバンドで最大となるブロックが存在するバンドのみの探索で、近似効率が最大となる信号ブロックと辞書パターンの組合せを得ることができる可能性が高い。しかし、動きが少ないシーケンスの場合、ある程度のアトム割当てが行われると、すべてのバンド画像において、平均的にエネルギーが分布することになり、信号エネルギーが最大となるブロックが存在するバンドのみを探索対象としても、近似効率が最大となる組合せを得ることが難しくなる。

その影響の大きさを検証するために、サブバンド Matching Pursuits において、すべてのバンドで最大の信号エネルギーを持つブロックの周辺のみを探索範囲とした場合と、各バンドでそれぞれ最大の信号エネルギーを持つブロックを調査し、その周辺すべてを探索範囲とした場合の再生画像の品質を調べる。図 5 に、動きの小さいシーケンス “akiyo” の場合における各フレームの PSNR を示す。

図 5 より、探索範囲をすべてバンドを対象にしても、最大エネルギー ブロックが存在するバンドのみを対象としても、再生画像の品質に影響は少ない。この結果より、提案法においては、計算量の削減のために、すべてのバンド画像で信号エネルギーが最大となるブロックを予め調査し、そのブロックを中心とした一定範囲に含まれる信号ブロックを探索範囲とする。ただし、辞書は可変サイズのものを用いているため、信号ブロックの位置はすべてブロックの中心座標の位置として判定を行う。

4. シミュレーション実験

提案法であるサブバンド Matching Pursuits を用いた動画像符号化システムの評価のために計算機によるシミュレーション実験を行なう。

実験には、テストシーケンスとして “akiyo”, “car-phone”, “foreman”, “mother and daughter” (略記: mother) の (QCIF, 10fps, 50 フレーム, grayscale) を用いる。テストシーケンスにおいて、“akiyo” は、動きの小さいシーケンスであり、“foreman” は、比較的大きな動きを含むシーケンスである。提案法における予測誤差画像のサブバンド分割には、8 タップの QMF を用いる。

また比較のため、従来法としてフルバンド Matching Pursuits を用いた手法と低ビットレート動画像符号化の国際標準方式である H.263⁹⁾ についてもシミュレーションを行う。H.263 のシミュレーションには “TMNcoder version 3.2” を用いる。提案法の Matching Pursuits 部以外の部分は H.263 と同様の手法を用いる。

4.1 サブバンド Matching Pursuits におけるアトム割当て

まず、サブバンド Matching Pursuits において、各バンド画像にどのようにアトム割当てが行なわれるか検証する。

図 6 に、テスト画像 “akiyo” および “foreman” の第 24 フレームにサブバンド Matching Pursuits を適用した場合の、アトム割当て数に対する各バンド画像の信号エネルギーの減少を示す。このとき各バンド信号のエネルギーは、式 (11) のように定義する。

$$\begin{aligned}
 E_{LL} &= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \{f_{LL}(i, j)\}^2 \\
 E_{LH} &= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \{f_{LH}(i, j)\}^2 \\
 E_{HL} &= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \{f_{HL}(i, j)\}^2 \\
 E_{HH} &= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \{f_{HH}(i, j)\}^2
 \end{aligned} \tag{11}$$

ここで、 f はサブバンド信号値を示し、 M , N はバンド画像の水平および垂直サイズを示す。

図 6 において、アトム割当て数 0 の場合が、サブバンド

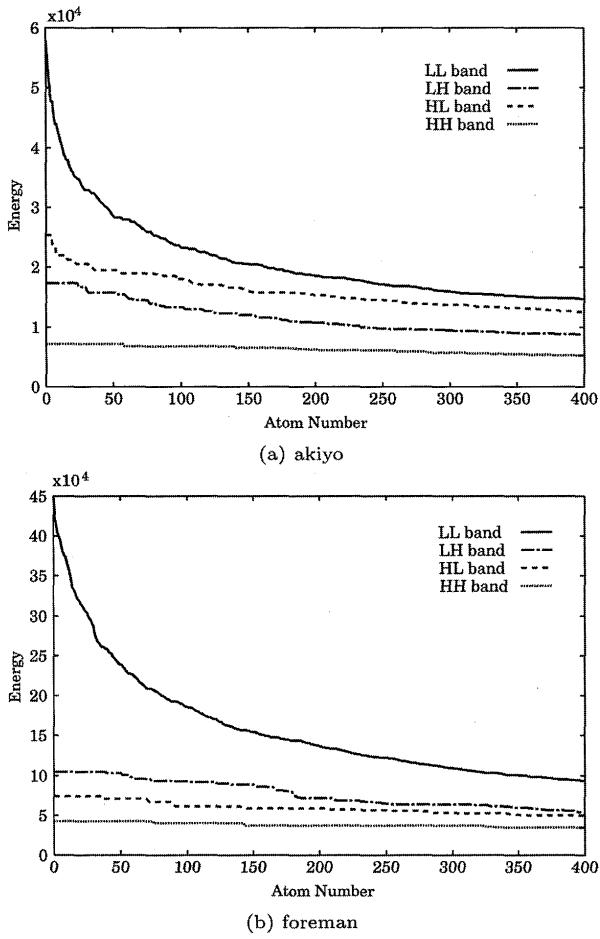


図 6 サブバンドの信号エネルギーの減少 (第 24 フレーム)
Decrease in signal energy of sub-bands (24th frame).

分割直後の各バンド画像のエネルギーを示している。図 6 に示すように、一般的に予測画像の低周波成分である LL バンド画像が、サブバンド画像の中で最も高いエネルギーを持ち、他のバンド画像についても、低周波成分を含むほど高いエネルギーを持つ傾向がある。また、アトムの割当てにより近似される信号エネルギー量も、低周波の LL バンド画像が最も高く、その減少量もアトム割当てに伴って急であるのに対し、高周波の HH バンド画像は、近似されるエネルギー量が比較的少ない。また、動きの大きいシーケンスである “foreman” のほうが、全体のエネルギー量が大きい。

表 3 に、アトム数を 100, 200, 300, 400 に設定した場合のテスト画像における各バンドへのアトム割当て比率を示す。同表より、全体の半数以上のアトムが LL バンド画像に割当てられており、割当てアトム数の増加に伴い、高周波バンドのアトム比率が増加していることがわかる。これは、まず低周波成分についてアトムが多く割当てられ、その後、高周波成分についてアトムが割当てられる傾向があることを示している。また、テスト画像で比較すると、“foreman” が最も LL バンド画像に割当てられる割合が多く、“akiyo” が少ない。これは、図 6 からもわかるように、大きな動きの含まれる画像は、予測誤差画像のエネルギー

表 3 各サブバンドに対するアトム割当て比率
Ratios of atoms assigned to each sub-band.

Number of Atoms	Band	Atom Ratio (%)			
		akiyo	carphone	foreman	mother
100	LL	62	77	91	84
	LH	17	11	7	7
	HL	20	10	1	9
	HH	1	2	1	0
200	LL	54	68	82	71
	LH	19	15	13	11
	HL	23	14	3	16
	HH	4	3	2	2
300	LL	51	63	76	64
	LH	20	17	16	14
	HL	24	15	5	19
	HH	5	5	3	3
400	LL	49	59	71	59
	LH	20	19	18	15
	HL	25	16	7	21
	HH	6	6	4	5

表 4 フルバンド MP とサブバンド MP の PSNR
PSNRs of full-band MP and sub-band MP.

Method	Number of Atoms	PSNR [dB] (Bitrate [kbps])			
		akiyo	carphone	foreman	mother
Full-band MP	100	35.7 (23.8)	31.6 (29.2)	29.0 (33.6)	34.2 (25.8)
	200	37.7 (40.1)	33.3 (46.7)	30.6 (51.9)	35.7 (43.1)
	300	39.0 (55.6)	34.4 (63.3)	31.7 (69.2)	36.8 (59.1)
	400	39.8 (71.0)	35.2 (79.1)	32.5 (85.9)	37.6 (74.6)
Sub-band MP	100	35.8 (22.6)	31.8 (27.6)	29.0 (31.3)	34.2 (23.8)
	200	38.0 (38.3)	33.6 (44.6)	30.6 (48.2)	35.8 (40.3)
	300	39.1 (53.0)	34.8 (61.0)	31.7 (64.2)	37.0 (55.8)
	400	39.9 (67.4)	35.8 (76.6)	32.6 (80.4)	37.8 (70.9)

が大きく、低周波バンド画像に、よりエネルギーが集中するためである。逆に動きの小さな画像は、ある程度のアトム割当てが行われると、信号エネルギーが全バンド画像において平均化し、割当て数も均一化する傾向がある。

以上の結果から、アトムは、高周波バンド画像より、エネルギーが高く重要な低周波バンド画像により多く割当てられており、サブバンド Matching Pursuits において、アトム割当て制御が適切に行なわれているといえる。

4.2 サブバンド Matching Pursuits における符号化特性

次に提案法における符号化特性を示す。

まず、従来法であるフルバンド Matching Pursuits と提案法であるサブバンド Matching Pursuits の比較を行う。表 4 に、適用アトム数に対する両方式の PSNR とビットレートを示す。アトム数はそれぞれ、100, 200, 300, 400 に設定している。また、PSNR は各シーケンスの平均値を示す。

表 4 より、すべてのシーケンスにおいて、適用アトムが同数の場合、サブバンド Matching Pursuits では、フルバン

ド Matching Pursuits と同等かそれ以上の PSNR が得られた。これは、サブバンド Matching Pursuits における 1 アトムあたり近似効率が、フルバンド Matching Pursuits と比較して向上していることを示しており、各バンド画像に対して周波数特性にあった辞書が設定されていることを示す。

また、ビットレートについても、すべてのシーケンスで情報量の削減が行われている。これは、高周波数成分用の辞書数を削減することで、どの辞書が適用されたかを表す辞書インデックスの情報量が削減されるためである。提案法においては、どのバンド画像の信号ブロックにアトムが適用されたかを示す情報がオーバーヘッドとなるが、その増加分以上に辞書インデックス情報を削減できることがわかる。

次に、Matching Pursuits と DCT の比較として、提案法と H.263 の比較を行う。図 7 に、サブバンド Matching Pursuits, H.263, フルバンド Matching Pursuits の Rate-PSNR 曲線を示す。

図 7 より、サブバンド Matching Pursuits は、すべてのビットレートで、フルバンド Matching Pursuits の PSNR を上回っている。また、フルバンド Matching Pursuits は、比較的低いビットレート時には、H.263 を上回る PSNR を示すが、高いビットレート時には、低い PSNR しか得られなかつた。しかし、サブバンド Matching Pursuits では、低いビットレートに加えて、高いビットレートにおいても、シーケンス “akiyo” を除いて、H.263 と同じか上回る PSNR を得ることができた。Matching Pursuits は、動きが大きいシーケンスのような、予測誤差エネルギーが大きいものを、低ビットレートで符号化を行う場合に効率が高い手法である。しかし、信号エネルギーが低く、全体に分布する場合には、符号化効率が低下するため、比較的高いビットレートで、動きが小さいシーケンス “akiyo” を符号化する場合には、Matching Pursuits では効率が低下している。結果として、提案法であるサブバンド Matching Pursuits を用いた動画像符号化法は、極めて低いビットレートでは、H.263 を上回り、高いビットレートでは、動きが大きいシーケンスで同等かそれ以上の符号化性能を得ることができた。

4.3 サブバンド Matching Pursuits における演算量

次にサブバンド Matching Pursuits における演算量について検証を行う。

表 5 に、フルバンド Matching Pursuits とサブバンド Matching Pursuits における 1 アトムあたりに評価を行なった信号ブロックの位置の数と評価を行なった画素数、そして各テスト画像における再生画像の PSNR を示す。表中の PSNR の値は、各シーケンス 50 フレームの平均値である。シミュレーションにおいて、両手法における適用アトム数は同じ 200 に設定している。また、探索については、サブバンド Matching Pursuits における範囲を ± 8

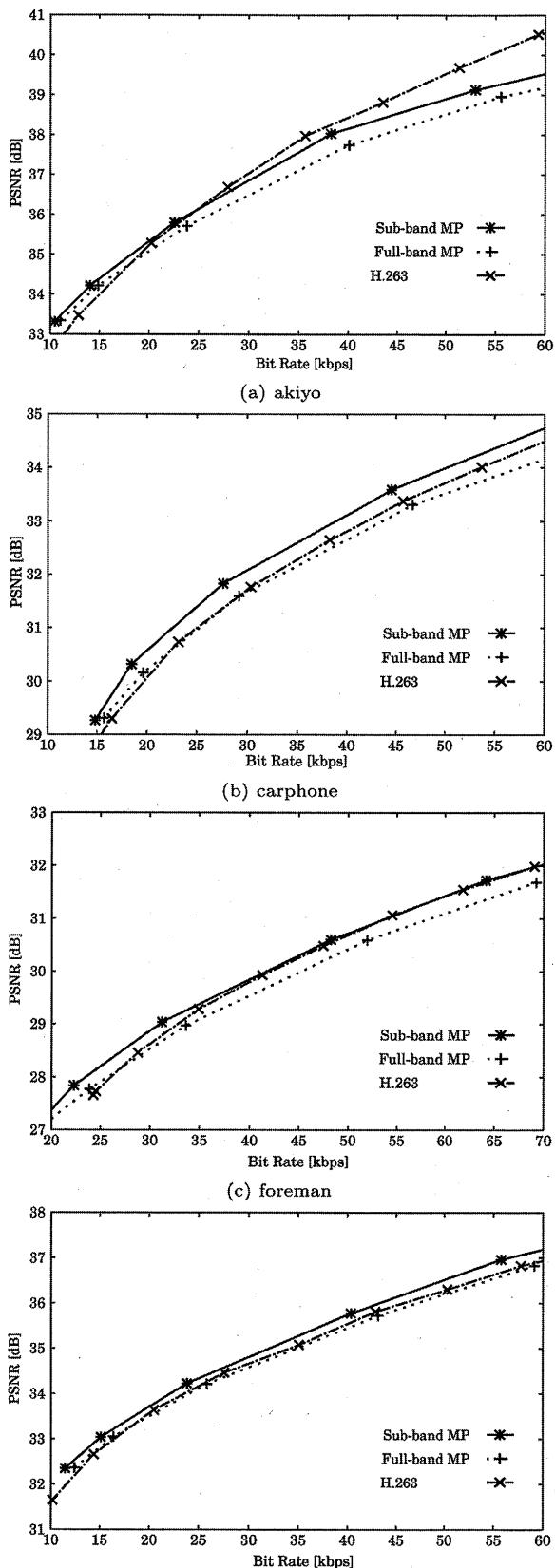


図 7 H.263, フルバンド MP, サブバンド MP の符号化特性
Coding performances of H.263, full-band MP and sub-band MP.

画素、ステップ幅 1 画素に設定し、フルバンド Matching Pursuits においては、探索条件を合わせるために、解像度に応じて、範囲を ± 16 画素、ステップ幅 2 画素に設定し

表 5 1 アトムあたりに要する内積演算の計算量
Computational complexity of inner product calculation per atom.

Method	Image	Inner product calculation	
		number of positions	number of pixels [$\times 10^5$]
Full-band MP	akiyo	217	186
	carphone	215	184
	foreman	195	167
	mother	217	186
Sub-band MP	akiyo	227	21
	carphone	224	24
	foreman	207	26
	mother	224	25

表 6 処理時間 (200 アトム, 50 フレーム)
Processing times (200 atoms, 50 frames).

Method	Image	Processing Time [sec]			
		Total	MC	MP	Others
Full-band MP	akiyo	155.13	23.65	130.77	0.71
	carphone	154.15	23.59	129.83	0.73
	foreman	143.30	23.69	118.96	0.65
	mother	155.43	23.72	130.96	0.75
Sub-band MP	akiyo	57.76	23.64	33.14	0.98
	carphone	60.37	23.60	35.78	0.99
	foreman	61.40	23.67	36.74	0.99
	mother	61.22	23.69	36.48	1.05

た。この表において、評価が行われた位置の数が、両方式の探索範囲に含まれるすべての探索位置数(289)より少ない値となっているのは、画面外の位置と以前に計算された評価値を再利用した場合を数に入れていないためである。

表5より、アトム探索処理において探索範囲内で評価が行われた信号ブロックの位置の数は、サブバンド Matching Pursuits の方が若干多い。これは、サブバンド Matching Pursuits では、符号化対象画像が複数のバンド画像に分割されており、探索範囲がフルバンド Matching Pursuits と比べて分散するため、一度計算した評価値を再利用できる頻度が少ないためである。それにもかかわらず、サブバンド Matching Pursuits の評価画素数は、対象画像の解像度とそれに対する辞書の基底長の縮小、さらに辞書数の削減により、15%以下に削減されている。これより、サブバンド Matching Pursuits では、アトム探索処理における計算量の大幅な削減を見込むことができる。

次に提案法における実処理時間を検証する。表6に各テスト画像50フレームにおけるフルバンド Matching Pursuits とサブバンド Matching Pursuits の処理時間を示す。シミュレーションは PentiumIV 2.3MHz のPCで実行した。また、両手法における適用アトム数は200に設定している。

表6より、フルバンド Matching Pursuits は、動き補償(MC)と比較して、5倍以上という非常に多くの計算量が必要であることがわかる。これは前述したようにアトム探索において、多くの内積演算が必要であるためである。それに對し、提案法であるサブバンド Matching Pursuits を用いた動画像符号化システムにおいては、Matching Pursuits

部の処理時間をフルバンド Matching Pursuits の25%～30%に削減することができ、システム全体の符号化処理時間としても半分以下に削減できた。サブバンド Matching Pursuitsにおいて、その他の部分の処理時間が増加しているが、これはサブバンド分割など付加された処理に要する時間であり、全体の削減量と比較して、わずかなオーバヘッドである。結果として、提案法を用いることで、Matching Pursuits 部の処理時間をMCの約1.5倍に抑えることができ、実時間処理の展望が開けた。

5. まとめ

本論文では、動き補償予測誤差画像をサブバンド分割し、得られた画像に Matching Pursuits を適用する動画像符号化法の提案を行った。符号化対象である予測誤差画像は、周波数によって4種類のサブバンド画像に分割され、各バンド画像の周波数特性に適するように設計された Matching Pursuits の辞書により符号化される。これにより、再生画像の品質向上を実現した。また、サブバンド分割により、対象画像と辞書の解像度をフルバンドの半分とし、加えて高周波バンドにおける Matching Pursuits の辞書パターン数の削減を行うことで、符号化処理における計算量の削減を行った。シミュレーションにより、提案法は、フルバンド Matching Pursuits の再生画像のPSNRを上回ったまま、Matching Pursuits 部の処理時間を25%～30%に削減することが可能となることを示した。Matching Pursuits がより実用的になるためには、さらなる計算量の削減が必要であるため、今後は計算量についてもDCT等の符号化技術との比較を行い、より一層の計算量削減について検討を進める。

文献

- R. Neff, A. Zakhor: "Very Low Bit-Rate Video Coding Based on Matching Pursuits", IEEE Trans. Circuits & Syst. Video Technol., **7**, 1, pp.158-171, (1997)
- R. Banham, C. Brailean: "A Selective Update Approach to Matching Pursuits Video Coding", IEEE Trans. Circuits & Syst. Video Technol., **7**, 1, pp.119-129, (1997)
- R. Neff, A. Zakhor: "Matching Pursuits Video Coding. I. Dictionary Approximation", IEEE Trans. Circuits & Syst. Video Technol., **12**, 1, pp.13-26, (2002)
- 今村 幸祐, 石崎 智範, 橋本 秀雄: "動き補償予測誤差画像に対するサブバンド Matching Pursuits 符号化", 映像学誌, **58**, 4, pp.580-583, (2004)
- S. Mallat, Z. Zhang: "Matching Pursuits With Time-Frequency Dictionaries", IEEE Trans. Signal Process., **41**, 12, pp.3397-3415, (1993)
- P. S.-Saugeon, A. Zakhor: "Dictionary Design for Matching Pursuits and Application to Motion-Compensated Video Coding", IEEE Trans. Circuits & Syst. Video Technol., **14**, 6, pp.880-886, (2004)
- K. Imamura, S. Kako, H. Hashimoto: "Matching Pursuits using Slant Patterns and Its Dictionary Design," Proc. ISCAS 2005, pp. 2080-2083, (2005)
- C. De. Vleeschouwer, B. Macq: "Subband Dictionaries for Low-Cost Matching Pursuits of Video Residues", **9**, 7, pp.984-993, (1999)
- ITU-T Study Group 15, "Draft Recommendation H.263", (1995)



今村 幸祐 いまとか こうすけ 1995年、長崎大学工学部電気情報工学科卒業。1997年、同大大学院工学研究科修了。2000年、同大学大学院海洋生産科学研究科修了。同年、金沢大学工学部情報システム工学科助手。2005年より、同大大学院自然科学研究科講師。博士(工学)。主として画像符号化に関する研究に従事。



小場 由雅 こば よしあき 2004年、金沢大学工学部情報システム工学科卒業。2006年より、金沢大学大学院自然科学研究科博士前期課程修了。同年、三菱電気株式会社入社。



橋本 秀雄 はしもと ひでお 1968年、大阪大学工学部卒業。1970年、同大大学院修士課程修了。1975年、同大大学院博士課程修了。同年、電電公社(現NTT)電気通信研究所入所。以来、画像符号化方式、画像通信方式の研究開発に従事。現在、金沢大学大学院自然科学研究科教授、工学博士、正会員。