

# 信号電力分布のバンド間相関を利用した サブバンド画像符号化の一手法

A Study of Subband Image Coding  
using Inter-band Correlation of Signal Distribution

一原 雅幸

橋本 秀雄

Masayuki ICHIHARA Hideo HASHIMOTO

金沢大学 工学部

Faculty of Technology, Kanazawa University

**Abstract :** It is one of the important problems on subband image coding how to encode high frequency subband signals efficiently as possible, under bit allocation constraints. High-frequency subbands have some features preventing from efficient coding, i.e. their signal energy is smaller than that of low-frequency band, but widely spread in local area on spacial domain.

In this paper, a subband image coding using inter-band correlation of signal distribution is described. Simulation results show the proposed method has attained good coding performance.

## 1 まえがき

ブロック歪みを避けうる、あるいは階層的手法を適用でき伝送路誤りへの耐性に優れるなどの理由から画像の高能率符号化法としてのサブバンド符号化法が注目されている[1]。サブバンド分割を行なうフィルタの構成、分割法(均等分割/オクターブ分割)など研究は多岐に渡るが、サブバンド画像符号化における最大の関心は、バンド間のビット配分問題を含め高周波サブバンド信号をいかに効率良く符号化するかという点に集約される。サブバンド間の信号に相関はないとの前提のもとに、サブバンドごとに独立に符号化する方法では信号電力の小さい高周波サブバンドには少ないビット配分がなされる。一方、高周波サブバンドでは、画像内容にも依存するが、広い範囲の画像空間に分布する信号成分をアドレス情報も含めて少ないビット数で精度よく符号化することは困難である。このため、サブバンド間に残されている相関性を

利用して、高周波サブバンドの信号成分を直接予測することにより効率改善を図る方法[2][3]が試みられている。しかし、バンド間の相関性が画像空間での局所性に依存することからサブバンド分割に用いるフィルタ特性への依存度が高いこと、およびこの局所依存性を示すアドレス情報がオーバーヘッドとして無視できないことから必ずしも高い効果をあげているとはいえない。

一方、サブバンド間の相関性を利用し、同時にビット配分問題を避ける方法として、同一画素位置に対応する各サブバンド信号をまとめて1つのベクトルを構成し、これをベクトル量子化する方法が提案されている[4]。ベクトル量子化の適用により符号化特性の改善は得られるが、高周波サブバンドにおける大半の領域には信号成分が存在しないことを考慮すると、なお符号化性能改善の余地が残されているといえる。

復号化済みの低周波バンドにLaplacian処理

を施してエッジ検出を行ない、エッジ部のみにバンド間相関を利用したベクトル量子化を行なう別の方式では、エッジの分布を示すアドレス情報を 0.23bit/pixel 軽減できるとの報告がある [5]。この方式では、Laplacian 処理を施した低周波サブバンド画像の零交差点からエッジ検出を行ない、画像の 2 値化を行なっているが、エッジ部などインパルス性の高い画像領域では信号スペクトルが広い周波数領域に拡散することが知られている。このことから、急峻な遮断特性を有するハイパスフィルタを低周波サブバンド (LL) 成分に適用すると、高周波サブバンドにおける信号分布位置だけでなく、信号電力の大きさもある程度予測できるものと予想される。

本稿では、高次の QMF (Quadrature Mirror Filter) [6] を復号化済みのサブバンド LL 信号に適用し、バンド間相関を利用してサブバンド符号化を図る方法の高能率化について検討する。

## 2 サブバンド画像における信号の分布

### 2.1 バンド間相関

サブバンド分割された画像間には基本的に相関はないとされ、実画像に対する相互相関係数も極めて小さいことがこれを裏づける結果となっている。このため、初期のサブバンド符号化ではバンドごとに独立に符号化する手法がとられたが、その後、残されているバンド間の相関を利用して符号化する目的でベクトル量子化器を適用する試みも行われている [4]。

バンド分割に用いるフィルタの特性にも依存するが、線、エッジ等にみられる”画像の局所構造はサブバンド間で保持される [3]” ことを利用した、高周波サブバンドの符号化を考える。この時、各バンドにおける信号振幅値間の相関を利用するのではなく、信号の分布する画素位置の相関性に注目する。高周波サブバンドにおける信号は原画像のエッジなど、ごく一部に局所的に分布し、平坦部においてほとんど”0”となる。低周波サブバンド画像では、尖鋭度は欠けるもののエッジ情報は保持されており、これか

ら高周波サブバンドにおける信号分布位置を予測することが可能となる。

### 2.2 高周波サブバンドにおける信号分布

テスト画像 (Salesman, 352×288 画素) を例にして、高周波サブバンドにおける信号の分布を調べる。バンド間の通過帯域のオーバーラップを小さくすることにより、低周波バンドからの予測を難しくする厳しい条件を想定して、バンド分割には急峻な遮断特性を有する 32 タップの QMF を用いた。これを画像の水平、垂直方向に適用して、4 分割のサブバンド画像 (LL, HL, LH, HH) を得る。各高周波サブバンドについて、画素単位の振幅絶対値のヒストグラムから、あるしきい値より大きい画素のみ選択した時の各高周波バンド全体に対する相対面積を横軸、相対電力を縦軸にして Fig. 1 に示す。サブバンド HL, LH はほぼ同様の信号分布の集中度を示し、またしきい値と相対面積の関係も同じ傾向となった。一方、サブバンド HH については集中度は若干落ちるが、信号電力全体が他に比較して小さく、相対面積に対するしきい値も相対的に小さくなっている。

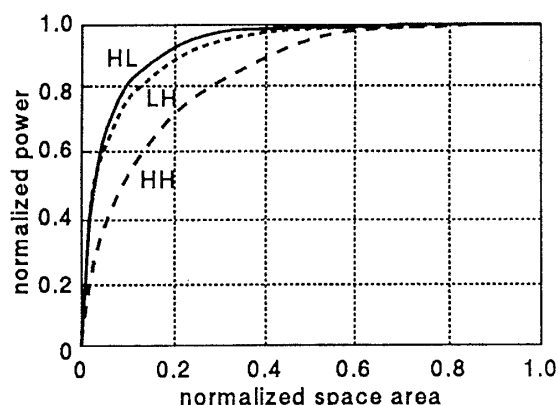


Fig. 1: Signal energy distribution of high frequency subbands

Fig. 1 よりサブバンド HL, LH については 20% の面積内に電力の約 90%、30% の面積内に 95% 以上の信号電力が集中しており、これらを選択的に符号化伝送することで全体としての効率化が図れることが期待される。特に低ビットレ

ト符号化においては、高周波バンドに割り当てられるビット数が少なくなり、精度の高い符号化は困難となるので、あらかじめ符号化対象画素を限定することが有効となる。

サブバンド HL において 30% の面積を占める振幅 (絶対) 値の大きい画素を白点表示して Fig. 2 に示す。同図より、テスト画像の主要な水平方向に対するエッジ部が含まれていることがわかる。



Fig. 2: High energy locations in subband-HL

### 3 バンド間相関を利用したサブバンド符号化

高周波バンドにおける信号は空間的に分散した特定の領域に集中して分布するため、これらの符号化にはその位置を示すアドレス情報が必要となる。一方、既に述べたように低周波 (LL) バンドと高周波バンドの間にはエッジ部分などの信号分布位置に相関があることから、復号化済みの LL バンドの画像から高周波バンドの信号分布が予測できれば、オーバーヘッドとしてのアドレス情報が不要となり符号化特性の改善が見込める。なお、サブバンド HH については信号電力が小さいことから画品質への寄与は小さいものとみなして、本稿ではサブバンド HH を無視し、サブバンド LL, HL, LH のみを符号化することを考える。

#### 3.1 高周波バンドにおける信号分布の予測

Fig. 2 より、サブバンド HL における信号分布位置は、サブバンド LL における水平方向エッジなど水平方向の高周波成分を多く含む画素位置にほぼ一致することが認められる。そこで、サブバンド LL 画像に対して水平方向にハイパスフィルタリングを行なって高周波成分を抽出、振幅の絶対値化を行なった後に (3×3) の 2 次元ローパスフィルタ処理を施した画像を予測に用いる。垂直方向エッジ成分などを含むサブバンド LH に対しても同様の処理を行なう。こうして得られた画像における振幅値の大きい位置をサブバンド HL, LH における信号分布位置と予測することの有効性を Fig. 3 に示す。

Fig. 3 では予測画像から画素単位でヒストグラムを作り、振幅の大きい画素を選択して、それに対応する位置にあるサブバンド HL の画素の電力和を求めている。その結果を Fig. 3 の実線に示す。また、同図における点線はそれぞれ Fig. 1 の HL, LH で、高周波サブバンドの信号分布位置を理想的に予測できた場合に相当する。ここで横軸  $\alpha, \beta$  はそれぞれサブバンド HL, LH の全画素に対する伝送画素数の比を表している。

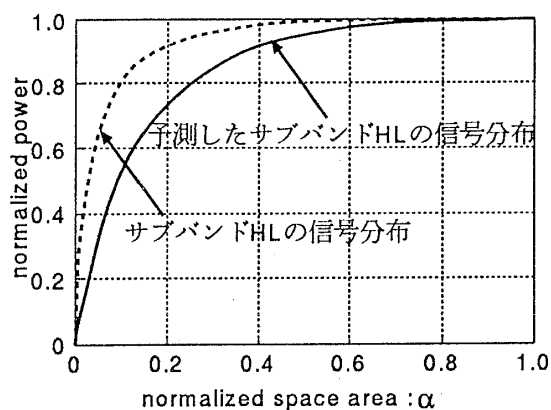
Fig. 3 にみられるように、本稿で提案する方法ではサブバンド HL, LH の信号分布位置を完全には予測できないが、約 30% の面積で高周波信号電力の 80% 程度をカバーできる。この信号の分布する位置を示すオーバーヘッド情報を必要としないことが情報量の削減につながる。

サブバンド LL からサブバンド HL の 30% の画素を選択的に予測した例を Fig. 4 に示す。Fig. 2 との比較から、予測した領域内にかなりの信号電力が集中していることから、予測が概ね妥当であるといえる。

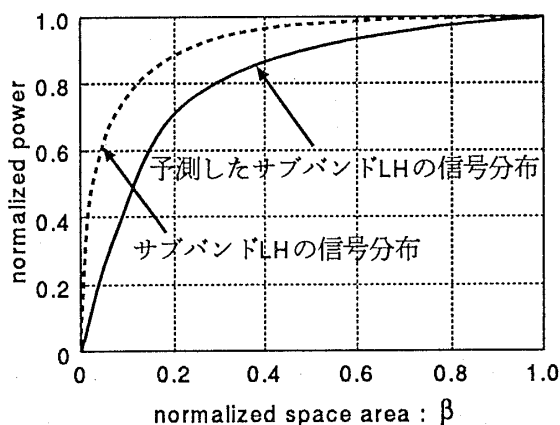
#### 3.2 サブバンド LL, HL, LH の符号化

サブバンド分割された LL, HL, LH 画像に対して、個別に以下の符号化処理を行う (信号電力が他の 3 成分に対して小さいサブバンド HH は無視して符号化は行わない)。

最も大きい信号電力を有するサブバンド LL においては、空間内相関性が高いことから近傍



(a) Subband HL



(b) Subband LH

Fig. 3: Signal energy distribution of high frequency components in the predicted image

3画素を用いた2次元予測によるDPCMを適用する。予測誤差信号は、その分布がLaplace分布で近似できることから、それに最適な非線形量子化器[7]を用いて量子化を行う。同時に、符号器側でもDPCM復号を行い、復号画像に3.1節で述べたフィルタ処理を施してサブバンドHL,LHの信号分布位置の予測に用いる予測画像を作成する。

サブバンドHL,LHでは、予測された画素位置(Fig. 4の白点に相当)における振幅値のみをPCM量子化する。それ以外の画素位置では、符号化せずに復号器側で"0"とみなす。

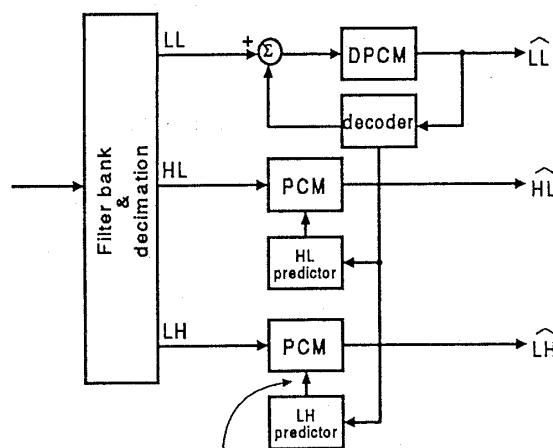
サブバンドHL,LHの信号分布もLaplace分布で近似できることが確認されており、サブバンドLLと同様の手法で最適量子化器を設計す



Fig. 4: Predicted high energy locations in sub-band-HL

る。サブバンドHL,LHにおいて符号化する画素の選択は、サブバンドLLの復号画像のヒストグラムを用い、信号分布の集中度を示す相対面積に対応する振幅しきい値を用いて行う。このしきい値はオーバーヘッド情報として復号器側に伝送され、復号時の画素位置の識別に用いられる。

これまで述べた符号化のブロック図をFig. 5に示す。



予測画像によって符号化する画素を選択する

Fig. 5: Coder structure

### 3.3 サブバンド間のビット配分

サブバンド LL,HL,LH へのビット配分は Lagrange 法を用いて行う。拘束条件

$$R = \frac{1}{4}(R_{LL} + \alpha R_{HL} + \beta R_{LH}) \quad (1)$$

のもとで

$$D = c(\sigma_{LL}^2 2^{-2R_{LL}} + \sigma_{HL}^2 2^{-2R_{HL}} + \sigma_{LH}^2 2^{-2R_{LH}}) \quad (2)$$

を最小化する  $R_{LL}, R_{HL}, R_{LH}$  が各サブバンドに割り当てられる符号化レートとなる。ここで  $R, R_{LL}, R_{HL}, R_{LH}$  はそれぞれ画像全体, サブバンド LL,HL,LH に対する平均符号化レート (bit/pixel) であり、 $D$  は画像全体の歪み、 $\sigma_{LL}^2, \sigma_{HL}^2, \sigma_{LH}^2$  は各サブバンド画像の分散、 $c$  は定数である。また、 $\alpha, \beta$  はそれぞれサブバンド HL,LH の伝送画素数の比を表すパラメータであり、あらかじめ設定しておいた上でビット配分を定めることにする。求めたビット配分から Laplace 分布に基づいて、量子化レベル数など量子化パラメータを定める。

## 4 シミュレーション結果

テスト画像 (Salesman) に対する符号化シミュレーション結果を Fig. 6 に示す。サブバンド HL,LH の伝送画素数をパラメータとし、 $\alpha = \beta = 0.15, 0.3, 0.5$  と変化させた場合の符号化特性を示している。横軸は量子化エントロピーにオーバーヘッド情報を加えた全体のビットレートである。

また、各ビットレートでのバンド間のビット割り当て結果を Fig. 7 に示す。縦軸は全ビットに対して各サブバンドに与えられたビット数の相対値をあらわしている。この図中の線より下がサブバンド LL に与えられるビット、また上がサブバンド HL,LH に与えられるビットの和の相対値である。サブバンド HL と LH の分散は同程度であり、HL,LH に配分されるビット数もほぼ同じである。

ただし Fig. 6 の実際のシミュレーションでは、3.3 節で述べたビット配分法による方法では低レート領域においてサブバンド LL の量子化レ

ベル数が極端に小さくなるため、サブバンド LL の量子化レベル数を増やすようビット割り当てを補正している。

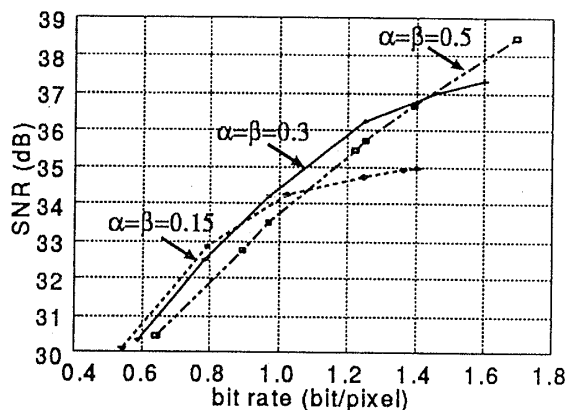


Fig. 6: SNR vs. bit rate(test image:Salesman)

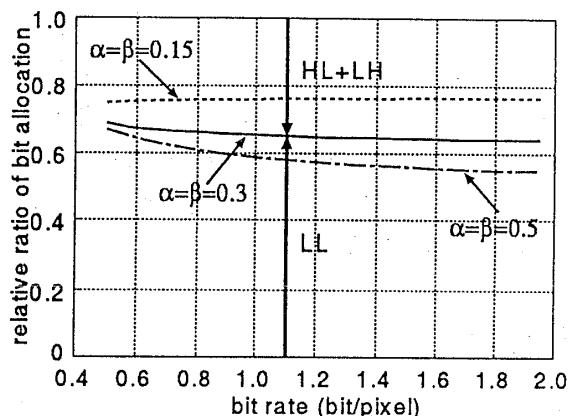


Fig. 7: Bit allocation to subbands

Fig. 6 から低レートでは伝送画素数比が小さい方が符号化効率がよく、高レートでは大きい方が S/N 比がよくなることがわかる。これは Fig. 7 より低レートでは低周波バンドに相対的に多くのビットを配分し、高レートでは低周波バンドだけでなく高周波バンドにもビット配分することで全体としての S/N 比が改善されることを示している。つまり、低レートにおいてはサブバンド LL が画品質に対して支配的であるが、サブバンド LL だけでは再生画像の S/N 比に上限があり、ビットレートが高くなると符号化性能が飽和する結果となる。高レート

においてはむしろサブバンド HL,LH の高周波成分が画品質の向上に貢献するという結果が得られている。

## 5 まとめ

バンド間にまたがる信号分布位置の相関を利用する符号化法を提案し、シミュレーションによりその有効性を確認した。振幅値を直接予測する従来のサブバンド符号化ではそれほどの効果は得られていないが、高周波バンドの信号を選択的に符号化伝送する場合、その画素位置を低周波バンドから予測することでアドレス情報を不要にでき、全体としてのS/N比を改善できることを示した。

今後の課題として、バンド分割に用いるフィルタ特性と符号化性能の関係、さらに予測の精度を上げる方法、伝送画素比をビットレートに対して一意に決定する方法の検討が挙げられる。また低レートにおいてはサブバンド LL の量子化レベル数が極端に小さくなり、性能劣化が見られるので、オクターブ分割などによって更にサブバンド LL を分割し、効率化を図る手法についての検討も行なう。

## 参考文献

- [1] J. W. Woods and Sean D. O'Neill ; " Subband Coding of Images " IEEE Trans. on Acoustics,Speech,and Signal processing, pp.1278-1288,Oct 1986.
- [2] 駄竹 健志;"バンド間予測を用いたサブバンド外挿内挿符号化"1993年画像符号化シンポジウム(PCSJ93),pp115-116,1993.
- [3] 酒澤 茂之、浜田 高宏、松本 修一;"画像の局所構造に基づくサブバンド間画像符号化方式"テレビ技報,ICS92-83,pp55-62,1992.
- [4] Peter H.Westerink,Dick E.Boekee,Jan Biemond and Jhon W.Woods ; " Subband Coding of Images Using Vector Quantization " IEEE Trans. Commun. vol.36,No.6, pp.713-719,Jun 1988.
- [5] Nader Mohsenian and Nasser M.Nasrabadi;"Edge-Based Subband VQ Techniques for Images and Video "IEEE Trans. Circuit Syst. Video Technol. vol.4,No.1 pp.55-67,Feb 1994.
- [6] N.S.Jayant and Peter Noll ;"DIGITAL CODING OF WAVEFORMS " PRENTICE-HALL, pp.486-509,1984.
- [7] 似鳥 一彦;" $\Delta$ PCM の統計的解析"電気通信学会雑誌 第48巻2号,pp192-199,1965.