画像信号の自己組織型リストを用いる ベクトル量子化法

正会員 斎藤 隆 弘[†], 正会員 小松 隆[†]
正会員 原 島 博^{††}

あらまし 従来の画像のベクトル量子化法では、量子化演算量とコードブックメモリー量との制約により、ブロックサイズの拡大が困難となり、充分な圧縮率が得られていない。本論文では、自己組織型リストをインデックスの符号化やコードブックの管理に導入することによって、ブロック間の相関や冗長性を符号化の際に利用する4種類の新たなベクトル量子化法を提案している。すなわち、まず、ベクトル量子化インデックスを自己組織型リストを用いて符号化する方式と、量子化出力ベクトルの探索および符号化に自己組織型リストを用いた自己組織ベクトル量子化法とを基本方式として提案した。さらに、自己組織ベクトル量子化法を発展させた方式として、DPCM符号化によるコードワードの追加登録機能を付加した方式と、低次元のコードワードを複数連結して高次元のコードワードを生成する機能を導入した方式とを提案した。また、これらの方式の有用性をシミュレーションにより確認している。

1. ま え が き

画像信号の高能率符号化法は画像伝送や画像蓄積を効率的に行うための重要な技術である。近年、特にベクトル量子化法を用いた画像信号の高能率符号化法に関する研究が活発に行われている¹⁾。

ベクトル量子化法 (Vector Quantization) は、ブロックサイズの拡大と共に量子化性能がレート・歪み限界に漸近することが理論的に明らかとなっている。しかしながら、実際のベクトル量子化では、ブロックサイズの拡大と共に量子化演算量とコードブックメモリー量とが指数関数的に増大するため、ブロックサイズの拡大には限界がある。現在のところ実現可能なブロックサイズは4画素×4ライン(16次元)程度であり、充分な圧縮率が得られない。一方、ベクトル量子化法では、多くの場合、量子化に先立って複数の画像をトレーニングデータとし、LBGアルゴリズム²⁾を適用し

てベクトル量子化器を設計していた。この際、トレーニングに用いたデータ系列と実際の量子化系列との統計的性質が異なると、この不適合により性能劣化を生じる。

従来の画像のベクトル量子化に関する研究の大半は、上記の問題点に関するものであるが、2つの異なる観点から研究がなされてきた。ひとつは、平均値分離 (正規化)ベクトル量子化法^{3,4)}、変換領域ベクトル量子化法⁵⁾等に代表される方式で、これらの方式の共通点は、あらかじめ画像信号から相関や冗長性を取り除いた信号系列に対して、ベクトル量子化を行う点にある。相関や冗長性の除去された信号系列のベクトル量子化では、ブロックサイズの拡大による性能改善はわずかであるため、ブロックサイズ拡大の必要性は少なく、画像毎の統計的性質の違いも量子化の前に除かれているため、汎用性の高いベクトル量子化器の設計が可能となる。もうひとつは予測ベクトル量子化法⁶⁾、Finite-Stateベクトル量子化法⁷⁾等に代表される方式で、これらの方式の共通点は、ブロックサイズの拡大が困難なことにより生じるブロック間の相関や冗長性をベクトル量子化の際に活用し、符号化効率の改善を行う点にある。ブロック間の相関や冗長性の利

[†] 神奈川大学 工学部

^{††} 東京大学 工学部

"Image Vector Quantizer Using Self-Organizing List" by Takahiro Saito, Takashi Komatsu (Faculty of Engineering, Kanagawa University, Yokohama) and Hiroshi Harashima (Faculty of Engineering, The University of Tokyo, Tokyo)

用により比較的小さいブロックサイズのベクトル量子化でも効率の良い符号化を実現できる。

本論文で提案する自己組織型リスト (Self-Organizing List) を用いるベクトル量子化法は、後者の観点に立つ符号化方式である。すなわち、自己組織型リストを用いてブロック間の相関や冗長性を利用した符号化を行い、効率の良いベクトル量子化法を実現するものである。ただし、本論文で提案する方式は、従来のベクトル量子化法とは以下の点で異なる。従来のベクトル量子化法の多くは、量子化前に汎用の量子化器を設計し、種々の画像の量子化に固定的に利用している。これに対して、本論文で提案する方式では、量子化の進行と共に量子化器を対象画像に適合するように作り変えて行く機能を組み込んでいる。

本論文では、各章で以下のことについて述べる。2章ではベクトル量子化インデックスの自己組織型リストを用いた符号化 (自己組織符号化) と、量子化過程 (量子化出力探索過程) に自己組織型リストを組み込んだベクトル量子化法 (自己組織ベクトル量子化法) について述べる。3章では、自己組織ベクトル量子化法の拡張として、DPCM 符号化により新たなコードワードを登録する機能を付加した方式と、低次元コードワードを織り込んで高次元のコードブックを自己組織化していく方式とについて述べる。

2. 自己組織型リストを用いたベクトル量子化法

自己組織型リスト (Self-Organizing List) は、最初、計算機のファイル管理の効率化を目的として提案され⁹⁾、その後、文字列の符号化に応用されるようになった⁹⁾¹⁰⁾。本章では、まず、自己組織型リストを用いる符号化算法 (自己組織符号化) について述べる。次に、自己組織型リストをインデックス符号化や、量子化過程 (量子化出力探索過程) に応用したベクトル量子化法について述べる。

2.1 自己組織符号化算法

自己組織符号化算法では、図1に示すように、送信側と受信側の双方に送信文字列を同一順序で格納したリストを持つ。送信側では、文字の送信を行う代わりに文字の格納されているリストの番地を符号化する。一方、受信側では受信した番地に格納されている文字を復号値とする。さらに、送信側と受信側双方、同一の自己組織化手順でリストの更新を行う。自己組織化の方法には、Move-to-front 法、Transpose 法、Move-ahead-k 法などがある。Move-to-front 法は、アクセスされた J 番地の文字をリストの先頭に移動

図1 自己組織型リストを用いる符号化法 (自己組織符号化法)

Encoding scheme employing self-organizing list (self-organizing coding algorithm).

図2 量子化出力インデックスの自己組織符号化
Self-organizing coding of index of quantization output.

し、先頭から $J-1$ 番地の文字を1つつ下げるものである。Transpose 法は、アクセスされた文字を1つ前の文字と入れ換えるものである。また、Move-ahead-k 法はアクセスされた文字を k 個前に移動するものである。相関や冗長性がある文字列を上記の手順で符号化すると、リストの先頭ほど利用頻度が高くなる。そこで、リストの番地は各番地の利用頻度に応じて可変長符号化する。この符号化にハフマン符号を利用する場合、あらかじめ画像ごとに求めた各番地の利用頻度に基づいてハフマン符号を設計する方法 (2-パス法) と、Dynamic Huffman 符号¹¹⁾によりハフマン符号木を更新しながら符号化する方法 (1-パス法) とがある。2-パス法では、ハフマン符号木自体を付加情報として符号化する必要があるが、この付加情報を考慮すれば、1-パス法と2-パス法とはほとんど同一の符号化特性を与える。以下では、2-パス法を用いている。

2.2 ベクトル量子化インデックスの自己組織符号化

本論文では、まず、自己組織符号化算法を用いて、ベクトル量子化インデックスの符号化を行う方式を提案する。この方式は図2に示すように、ベクトル量子

化の符号器と復号器およびリストという構成である．リストには、ベクトル量子化器のコードワードインデックスが格納されている．送信側では、入力信号ベクトル $\vec{X}$ をベクトル量子化し、量子化インデックス i に変換する．次に、リスト内で i が格納されている番地 j を受信側に伝送する．受信側では、 j 番地に格納されているインデックス i をベクトル量子化の復号器に入力し、復号値 $\vec{Y}$ を得る．さらに、送信側、受信側双方でリストを Move-to-front 法により自己組織化する．リストの番地の符号化は、1 枚の画像全体で各番地の利用頻度を求め、ハフマン符号を設計し、受信側に伝送するものとする．

2.3 自己組織ベクトル量子化法

リストの自己組織化算法は、計算機内のファイル管理の効率化を目的として提案された方式である．よって、探索を効率化する機能もある．そこで、本節では、ベクトル量子化の量子化過程（量子化出力探索過程）に自己組織型リストを導入し、探索の効率化と符号化効率の改善とを目的としたベクトル量子化法（自己組織ベクトル量子化法）を提案する．

自己組織型リストを用いたファイル管理では、頻繁にアクセスされるファイル（自己組織ベクトル量子化法のインデックス）をリストの前方に移動することにより、ファイルの探索を容易にしている．ベクトル量子化のコードワードの探索の際に、この機能を利用すれば量子化演算量の削減が得られる．

自己組織ベクトル量子化は、図 3 に示すように、従来のベクトル量子化器に自己組織型リストを加えた構成となり、リスト内にはコードワードインデックスが格納されている．量子化は以下の手順で行われる．量子化器は、入力ベクトル $\vec{X}$ に対して、リストの先頭にあるインデックスのコードワードから順に入力ベクトルとの波形歪み（平均 2 乗誤差）を算出し、あらかじめ定めた許容波形歪み以内となるか否かを調べる．も

し許容波形歪み以内であるならば波形歪み計算を終了し、そのインデックスを量子化出力インデックスとしてリストに渡す．一方、もし、許容波形歪み以内のコードワードが存在しないならば、最小の波形歪みを与えるコードワードのインデックスを、量子化出力インデックスとしてリストに渡す．次に、量子化出力インデックスが格納されているリストの番地を出力し、この番地をハフマン符号化する．また、リストを Move-to-front 法により更新する．

上記の手順では、入力ベクトルは、コードブック中で最小波形歪みを与えるコードワードに量子化されるわけではない．しかしながら、リストの前方に位置するインデックスほど、符号長の短い符号で符号化されるので、入力ベクトルは許容波形歪み条件を満たし、かつ、最短の符号長のコードワードに量子化されることになる．ここで、許容波形歪みを画像中のすべてのブロックに対して一定に設定すると、復号画像は平坦部で偽輪郭やタイル張り状のノイズが目立つものになってしまう．そこで、許容波形歪みは画像の平坦部で小さめに、エッジ部で大きめに設定する必要がある．本方式では、ブロック内の画素の標準偏差 σ とパラメータ k とにより、各ブロックごとに (1) 式で算出した許容波形歪み Th を用いている．

$$Th = \begin{cases} k\sigma & \text{if } \sigma > 1 \\ k & \text{if } \sigma \leq 1 \end{cases} \quad (1)$$

許容波形歪みを (1) 式で適応制御した場合の符号化特性は、一定にした場合の符号化特性に比べ、符号化レートの高いところで若干 SN 比が低下するが、符号化レートの低いところでは、逆にかかなりの SN 比の改善が得られる．また、画質も大幅に改善される．図 4 には、許容波形歪みの適応制御の効果を示した．ただ

図 3 自己組織ベクトル量子化法の構成
Block diagram of self-organizing vector quantization.

図 4 自己組織ベクトル量子化法における許容波形歪みの適応制御の効果
Effect of adaptive control of allowable waveform distortion in self-organizing vector quantization.

し、以降では、SN 比 $\text{SNR}(\text{dB})$ を次式で定めている。

$$\text{SNR} = 20 \log_{10}(255/\sqrt{D}) \quad (2)$$

D : 平均 2 乗誤差 (MSE)

2.4 符号化特性

ベクトル量子化インデックスに自己組織符号化を導入した方式と自己組織ベクトル量子化法との符号化特性を、計算機シミュレーションにより求めた。シミュレーションに用いた画像は、テレビジョン学会の 8 ビットモノクローム画像“ヘアーバンドの女性”と“天気予報”で、画像の中央部 512 画素×480 ラインを切り取り使用した。両方式ともブロックサイズは 2×2 とした。ベクトル量子化器は、上記のテスト画像以外の複数の画像を用いて LBG アルゴリズムにより設計した。インデックスを 1 からレベル数まで順番に並べた状態をリストの初期状態とした。リストの番地の符号

化に使用したハフマン符号の符号木の符号化のための付加ビット数は、文献 12) に基づき算出した。ベクトル量子化インデックスの自己組織符号化では、2～256 レベルのコードブックに対して符号化特性を求めた。図 5(a), (b) の VQ-SO Coding がその特性である。自己組織ベクトル量子化法は、256 レベルのコードブックに対して (1) 式のパラメータ k を変化させて種々のレートでの符号化特性を求めた。同図の VQ-SO がその特性である。なお、図中に示した VQ-Huffman Coding は、ベクトル量子化インデックスを利用頻度に応じてハフマン符号化 (2-パス方式) した場合の特性であり、4D-VQ は、4 次元ベクトル量子化法の特性である。

図 5 において、ベクトル量子化インデックスの符号化に自己組織符号化算法を導入することにより、ハフマン符号を導入した場合に比較して、大幅な特性改善が得られている。これは、自己組織符号化算法によりベクトル量子化インデックス間の相関が有効に活用されていることによる。さらに、量子化過程 (量子化出力探索過程) に自己組織型リストを用いることで (自己組織ベクトル量子化)、量子化演算量が削減されるだけでなく、符号化性能も向上している。これらの結果より、ベクトル量子化への自己組織型リストの導入が極めて有効であることがわかる。

3. 自己組織ベクトル量子化法の拡張

本論文の自己組織ベクトル量子化法は、Finite-State ベクトル量子化法⁷⁾のように種々な画像に、汎用的に適用可能なベクトル量子化器を事前に設計するのではなく、量子化の進行と共に個々の画像に適合する量子化器構造が構築されていくベクトル量子化法をねらいとしている。2 章で述べたベクトル量子化法では、量子化の進行と共に自己組織型リスト中のインデックスの並びが、量子化対象画像に適合するように構築されていく。しかし、ベクトル量子化器のコードブックは、あらかじめ設計されたものを固定的に使用していた。個々の画像への適応性という観点からすれば、コードブック自身も量子化の進行と共に対象画像に適合していく機能を有する方式が望ましい。そこで、本章では、自己組織ベクトル量子化法の拡張として、DPCM 符号化により新たなコードワードを追加登録する方式と、低次元のコードワードを織り込んで高次元コードブックを生成していく方式を提案する。

3.1 DPCM 符号化による新たなコードワードの追加登録

汎用的に設計されたベクトル量子化器では、個々の

(a) ヘアーバンドの女性

(b) 天気予報

図 5 符号化特性
Coding performance.

図 6 DPCM 符号化によるコードワードの追加登録を加えた自己組織ベクトル量子化法の構成
Block diagram of self-organizing vector quantization enhanced with codeword supplement by DPCM coding.

画像特有の鋭いエッジや特異なテクスチャ等の量子化に充分対応しきれない。特に、通常のベクトル量子化では、高レートでの符号化が困難であるため、高画質の再生画像を得にくい。そこで、より良好な復号画像を得る方式として、個々の画像に特有のベクトルは新たに DPCM 符号化し、これをコードブックに追加登録する方式について検討する。

この方式は図 6 に示す構成である。図 3 の方式との主な違いは、コードワードの追加登録のための DPCM 符号器が付加されている点である。また、リスト内にはベクトル量子化インデックスが格納されているが、DPCM 符号化のモードに移行するためのフラグ(SW)も含んでいる。符号化は、基本的には 2.3 節で述べた自己組織ベクトル量子化法と同一の手順で行う。すなわち、リストの先頭のインデックスのコードワードより順に入力ベクトル $\vec{X}$ との波形歪み計算を行い、許容波形歪み条件を満たすものが見つかった時点でそのコードワードに量子化し、そのインデックスが格納されているリスト番地を符号化する。また、リストを Move-to-front 法により更新する。一方、リスト内のどのコードワードも許容波形歪み条件を満たさない場合、リスト中のフラグ SW が格納されている番地を符号化し、DPCM 符号化のモードに移行する。このモードでは、入力ベクトル $\vec{X}$ の各要素を DPCM で符号化・伝送し、この復号ベクトルおよびそのインデックスを、送信側と受信側とでコードブックとリストとに各々登録する。なお、追加された新しいコードワードのインデックスはリストの先頭に登録し、フラグ SW をリストの 2 番目に移動する。このとき、すでに格納されているインデックスはおおの空隙を生じないように移動し、所定のリスト長を越え

図 7 先頭ブロックの量子化と 16 次元コードワードの生成
Quantization of first subblock and generation of 16-D codeword.

た場合は最下位のインデックスを削除する。

3.2 織り込みコードブックの生成

本章で述べるもうひとつの方式は、ベクトル量子化器に織り込みという構造を導入した方式である。すなわち、量子化の進行と共に低次元のコードワードを織り込んで高次元のコードブックを次第に生成していく方式である。ここで、“織り込み (Weave)”とは「低次元のベクトルを複数本連結して高次元ベクトルを生成すること」を意味している。例えば、4 次元のコードワードを 4 本連結すると、16 次元のコードワードが 1 つ生成される。高次元のコードワードとして低次元のコードワードのすべての組合せの連結を許すと、高次元コードワードを生成することは無意味となるが、一部の組合せに限定すれば次元の拡大効果が得られる。筆者らは先に文献 13) で、トレーニングにより織り込みコードブックを設計する方式を提案したが、本論文では、量子化の進行と共に織り込みコードブックを生成していく方式を導入する。

本方式は、 2×2 の量子化器と 4×4 の量子化器とを持ち、各々のインデックスを符号化するリストを持っている。 2×2 の量子化器はあらかじめ設計されたコードブックを固定的に使用するが、 4×4 のコードブックは空の状態でも量子化を開始し、量子化が進行するにつれ、 2×2 のコードワードを 4 つ織り込んだコードワードがコードブック内に生成されていく。また、各コードワードインデックスは自己組織符号化される。

本方式の量子化手順を以下に示す。まず量子化に先立ち、複数の画像データをトレーニング系列として、LBG アルゴリズムにより 2×2 のコードブックを設計しておき、コードワードインデックスを 1 から順にリストに格納しておく。 4×4 のコードブックは最初は空にしておく。量子化は次の手順で行う。まず、図 7 に示すように、画像の先頭の 4×4 ブロックを 2×2 のブロックに分割し、 2×2 のブロックを①～④の順で

ベクトル量子化し、2.2節で述べた手順でインデックスを自己組織符号化する。①～④の 2×2 のブロックの量子化が終了した後、得られた4つの 2×2 のコードワードの組みを 4×4 のコードブックに登録し、そのインデックス(図中の $ijkl$ の組み)をリストの先頭番地に格納する。先頭以外の 4×4 のブロックに対しては、まず 4×4 のコードブックで自己組織ベクトル量子化を行い、許容波形歪み以内のコードワードが見つければ、そのコードワードに量子化する。この時、 2×2 のコードブック用のリストも、現在の状態に適合させるため、 4×4 の量子化出力コードワード中の4種の 2×2 のコードワードのインデックスを次々と先頭より順に(図7の①～④の順で)、Move-to-front法により自己組織化しておく。 4×4 のブロック内で許容波形歪み以内のコードワードが見つからなかった場合、 4×4 のブロックを 2×2 のブロックに4分割し、 2×2 のコードブックでベクトル量子化し、インデックスを自己組織符号化する。さらに、得られた 2×2 コードワードの組みを新たなコードワードとして 4×4 のコードブックおよびリストの先頭に登録する。

本方式では、 2×2 のベクトル量子化器には2.2節で述べたインデックスの自己組織符号化を導入したベクトル量子化法を用い、 4×4 のベクトル量子化器には2.3節で述べた自己組織ベクトル量子化法を用いた。 2×2 と 4×4 の両方に自己組織ベクトル量子化法を用いる方式についても検討したが、本方式に勝る符号化特性は得られなかった。 2×2 のベクトル量子化は、対象ブロックの量子化と共に、 4×4 のコードワードの生成にも関係するので、より波形歪みの小さな量子化が必要なためと思われる。

3.3 符号化特性

上記の2つの方式について、テレビジョン学会のモノクローム画像を用いた計算機シミュレーションにより符号化特性を求めた。DPCM符号化によるコードワードの伝送を付加した方式は、ブロックサイズを 2×2 とした。ベクトル量子化のコードブックは、符号化に先立って256レベルを設計しておき、最初1, SW, 2, 3, ..., 256の順序でインデックスをリストに格納し、512レベルまでの増加を許すものとした。また、DPCMは図8の矢印の順で予測誤差を算出し、量子化はLaplace分布に最適な4ビット非線形スカラ量子化器を用いた。また、量子化は予測誤差を正規化して量子化する方式としたが、現在の正規化係数と量子化出力とにより、次の時点での正規化係数を決定する再帰的量子化を採用している¹⁴⁾。図9

(*対象ブロックが
画像の左端の場合
上の画素から)

図8 DPCM符号化における予測の順序
Order of prediction in DPCM.

(a) ヘアーバンドの女性

(b) 天気予報

図9 符号化特性
Coding performance.

(a), (b)のVQ-SO-DPCMがその符号化特性である。許容波形歪みは(1)式にて算出し、パラメータ k の値を変えて種々な符号化レートでの特性を求めている。また、図には比較のため、ブロックサイズ 8×8 の適応離散コサイン変換符号化法(ADCT)¹⁵⁾、ブロックサイズ 4×4 のベクトル量子化法(16-D VQ)¹⁶⁾、ブロックサイズ 2×2 のベクトル量子化法(4-D VQ)の

(a) WVQ-SO (A girl with a hairband, SNR=32.52 dB, Rate=0.434 b/pixel)

(c) WVQ-SO (Weather forecast, SNR=32.92 dB, Rate=0.434 b/pixel)

(b) ADCT (A girl with a hairband, SNR=32.87 dB, Rate=0.434 b/pixel)

(d) ADCT (Weather forecast, SNR=30.88 dB, Rate=0.411 b/pixel)

写真 1 復号画像
Reconstructed images.

符号化特性も併記した。一方、織り込みコードブックの生成を導入した方式は、 2×2 のコードブックを 256 レベル、 4×4 のコードブックのレベル数の最大値を 512 とした。 4×4 の場合、許容波形歪みは(1)式にて算出している。図 9 の WQ-SO がその符号化特性で、(1)式の波形歪みパラメータ k を変えて種々のレートの特性を求めている。

VQ-SO-DPCM の特性は、4-D VQ の特性と比較し、5～8 dB の SN 比の改善が得られており、この特性は 16-D VQ の特性と等価あるいはやや上回るものである。図 9 の VQ-SO-DPCM の特性は ADCT の特性より 1～3 dB ほど劣っているが、VQ-SO-DPCM は新たなコードワードを登録する機能を有しており、コードブック設計に用いた画像と全く性質の異なる画像にも対応できる。

WVQ-SO も同様の性質を持っている。WVQ-SO

では、16 次元のコードワードを 4 次元 256 レベルのコードワード 4 本を織り込んで生成しており、このため 16 次元コードワードは、 256^4 個の組合せの中から選択が可能となっている。したがって、多様な絵柄に対応可能である。WVQ-SO の 0.5 b/pixel 以下の特性は、ADCT の特性とほぼ同程度あるいは若干優れたものとなっているが、これは、自己組織型リストの導入による改善と、織り込みコードワードの生成による対象画像へのコードワードの適応化の効果である。

WVQ-SO と ADCT との約 0.4 b/pixel の符号化レートにおける復号画像を、写真 1 に比較して示した。WVQ-SO は平坦部では ADCT に比較し偽輪郭が目立つ。一方、エッジ部では、ADCT がエッジの走行する方向に妨害が目立つのに対し、WVQ-SO ではこの妨害は余り目立たず、より優れたエッジの再現性を与えている。

4. む す び

本論文では、ベクトル量子化法に自己組織型リストを導入し、符号化特性の改善をはかる種々の方式を提案した。ベクトル量子化インデックスを自己組織符号化する方式と、ベクトル量子化の量子化出力探索過程に自己組織型リストを用いた自己組織ベクトル量子化法とを基本方式として提案した。シミュレーションにより符号化特性の評価を行い、ベクトル量子化への自己組織型リストの導入が極めて有効であることがわかった。さらに、この拡張として提案した、DPCM符号化により新たなコードワードを追加登録する方式は、高レートでの符号化が可能な方式である。また、コードワードを追加登録する機能を有し、ミスマッチに強い方式である。WVQ-SOは、低次元のコードワードを織り込んで高次元のコードブックを生成しながら符号化を行う方式である。0.5 b/pixel以下の低レートの符号化でのWVQ-SOの符号化特性は、ADCTの符号化特性とほぼ同程度あるいは若干優れたものであった。

本論文で提案した方式の中では、WVQ-SOが最も優れた符号化特性を示したが、WVQ-SOでは高レートの符号化が実現できない。今後、WVQ-SOとVQ-SO-DPCMとを組合せることにより、高能率かつ高レートの符号化が可能な方式を実現する必要がある。また、自己組織ベクトル量子化法では波形歪みの適応制御を行っているが、この適応制御を前提としたコードブックの設計法も今後の課題である。

(1989年2月28日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) N. M. Nasrabadi and R. A. King: "Image Coding Using Vector Quantization: "A Review", IEEE Trans., COM-36, 8, pp. 957-971 (Aug., 1988)
- 2) Y. Linde, A. Buzo and R. M. Gray: "An Algorithm for Vector Quantizer Design", IEEE Trans., COM-28, 1, pp. 84-95 (Jan., 1980)
- 3) 田崎, 山田: "ベクトル量子化", 信学誌, 67, 5, pp. 532-536 (May, 1984)
- 4) 村上, 浅井: "画像信号のベクトル量子化器", テレビ誌, 38, 5, pp. 452-457 (May, 1984)
- 5) 相澤, 原島, 宮川: "離散コサイン変換ベクトル量子化 (DCT-VQ)", テレビ誌, 39, 10, pp. 920-925 (Oct., 1985)
- 6) R. M. Gray: "Vector Quantization", IEEE ASSP Mag., 1, 2, pp. 4-29 (April, 1984)
- 7) M. Dunham and R. M. Gray: "An Algorithm for the Design of Labelled-Transition Finite-State Vector Quantizers", IEEE Trans., COM-33, 1, pp. 83-89 (Jan., 1985)
- 8) R. Rivest: "On Self-Organizing Sequential Search Heuristics", Commun. of the ACM, 19, 2, pp. 63-67 (Feb., 1976)
- 9) J. L. Bentley, D. Sleator, R. E. Tarjan and V. K. Wei: "A Locally Adaptive Data Compression Scheme", Commun. of the ACM, 29, 4, pp. 320-330 (April, 1986)
- 10) P. Elias: "Interval and Recency Rank Source Coding: Two On-Line Adaptive Variable-Length Schemes", IEEE Trans., IT-33, 1, pp. 3-10 (Jan., 1987)
- 11) D. E. Knuth: "Dynamic Huffman Coding", J. Algorithms, 6, pp. 163-180 (1985)
- 12) 半田, 田中: "ハフマン符号の符号帳の記述に関する一考察", 信学論(A), J70-A, 10, pp. 1501-1503 (Oct., 1987)
- 13) 小松, 斎藤, 原島: "織り込み構造を有するベクトル量子化法を用いる画像符号化", 信学技報, IE87-50, pp. 63-70 (July, 1987)
- 14) A. Habibi: "Survey of Adaptive Image Coding Techniques", IEEE Trans., COM-25, 11, pp. 1275-1284 (Nov., 1977)
- 15) W. H. Chen and C. H. Smith: "Adaptive Coding of Monochrome and Color Images", IEEE Trans., COM-25, 11, pp. 1285-1292 (Nov., 1977)
- 16) 小松, 斎藤, 原島: "織り込み構造を有する自己組織ベクトル量子化法とその画像符号化への応用", 信学技報, SP88-136, pp. 17-23 (Feb., 1989)

はらしま ひろし
原島 博 昭和48年、東京大学大学院工学部電子工学科博士課程修了。同年、東京大学工学部電気専任講師。50年、同大学助教授となり、現在に至る。通信理論・信号理論、画像符号化等の研究に従事。工学博士。正会員。

さいとう たかひろ
斎藤 隆弘 昭和56年、東京大学大学院工学部電気工学科博士課程修了。同年、神奈川大学工学部電気専任講師。現在、同大学助教授。画像通信、信号処理、医用応用などの研究に従事。工学博士。正会員。

こまつ たかし
小松 隆 昭和60年、神奈川大学大学院工学部電気工学科修士課程修了。同年、神奈川大学工学部助手となり、現在に至る。画像信号の高能率符号化に関する研究に従事。正会員。

Image Vector Quantizer Using Self-Organizing List

by Takahiro Saito, Takashi Komatsu and Hiroshi Harashima

In spatial image vector quantization, a vector dimension cannot be made high enough to limit intervector redundancy because of its large computational complexity and storage requirement, so consequently satisfactory compression cannot be achieved. To cope with the foregoing problem, we developed new schemes of spatial image vector quantization that utilize intervector redundancy for compression by employing a self-organizing list of codeword-indices as an auxiliary data structure. We, first, propose two basic schemes: one that encodes codeword-indices by using the list and the other employs the list for encoder's search as well as index coding. We, afterwards, enhance the basic scheme with two different techniques: one that adds a new codeword to an initial codebook and the other gradually builds up a high-dimensional codebook by concatenating low-dimensional code words. The simulation results demonstrate that the proposed schemes successfully exploit intervector redundancy for compression of a sampled image.

J. Inst. TV. Engrs. of Japan, Vol. 43, No. 10 (1989) 1020~1027

A Performance Improvement of DCT-Zonal Image Coding by M-Transform

by Nobumoto Yamane, Yoshitaka Morikawa, Hiroshi Hamada and Akito Fukui

This paper proposes a method of improving performance for DCT-zonal coding of images by M-transform. In the zonal coding, efficiency is degraded due to large distortion caused by Max quantizer for DCT coefficients, because they have broad-tailed distributions. Moreover, quality of reconstructed images is deteriorated by block artifact. In the proposed method, by applying M-transform to each sample sequence of the DCT coefficient over different blocks, the distributions of the DCT coefficients are restrictively transformed to Gaussian. Consequently distortion can be reduced and mismatch of distributions between quantizer and input signal can be eliminated. Simultaneously, the block artifact becomes inconspicuous because the quantization error is scrambled into almost random noise by inverse M-transform. Simulation results for many test images show those improvements were attained as good as expected above, in both adaptive and non-adaptive coding. Evaluation of computational complexity also shows the usefulness of this method.

J. Inst. TV. Engrs. of Japan, Vol. 43, No. 10 (1989) 1028~1036

Extension of Permutation Codes with Its Application to Discrete Cosine Transform Image Coding

by Takahiro Saito, Yoichi Kishimoto, Takashi Komatsu and Hiroshi Harashima

Normalized AC transform coefficients of picture signals are well modeled as having a spherically symmetric distribution. For the distribution, quantizers whose code-words are arranged on the surface of concentric hypersphere will show excellent performance with its low encoding complexity. Permutation codes, developed by Berger and others, having this property, require no multiplication for encoding, and can directly quantize a very high dimensional input. Permutation codes, however, cannot show a satisfactory performance for high rates or low dimension, and require unfeasible operation precision for encoding a codeword's index. To cope with these problems, we developed new improved permutation codes, formed an algorithm for encoding a codeword's index, which is performed by only integer operations with limited operation precision, and incorporated improved permutation codes into discrete cosine transform image coding. The simulation results demonstrate that improved permutation codes can efficiently quantize transform coefficients of a high sequence.

J. Inst. TV. Engrs. of Japan, Vol. 43, No. 10 (1989) 1037~1045