

学 位 論 文 題 名

ウェーブレット変換符号化用ベクトル量子化器の汎用化に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、ウェーブレット変換を用いた画像符号化の研究・開発が盛んである。ウェーブレット変換の画像処理への応用は S. Mallat が多重解像度表現上に直交ウェーブレット基底を導入して画像符号化が可能であることを示したことから始まる。S. Mallat の後、I. Daubechies はウェーブレット変換をするためのタップ数の短い直交フィルタを設計した。

画像の変換符号化において量子化操作は復元画像の画質を決定づける最も重要な要因である。種々の信号の符号化法が提案されているが、特にベクトル量子化は原理的にレート歪み限界に近い性能を達成し得ることから注目を集めている。

これまでに提案されているウェーブレット変換を用いたベクトル量子化法には I. Daubechies らが提案した多重解像度ベクトル量子化がある。しかし、このベクトル量子化法は符号化対象画像以外の複数の実画像のウェーブレット変換係数を学習系列として用いている。この場合、学習系列の統計的性質が不明確なまま使用するので、量子化対象画像の統計的性質と大きな差異を生ずる可能性がある。この不適合性は当然量子化器の性能の劣化につながる。従ってこの方法で汎用性の高い高性能ベクトル量子化器の設計は難しい。また、量子化器の適用範囲を明確にすることができないという問題点がある。

本論文は、ウェーブレット変換符号化に使える汎用性の高いベクトル量子化を研究の目的とする。特に、汎用ベクトル量子化器設計のための学習系列の作成が汎用化のために重要なので、これに重点をおいて検討を行う。このようにして統計的理論に基づいて設計した学習系列を使い、より汎用性の高い高能率量子化器の設計法について検討する。

第 2 章ではウェーブレット変換の基本的な概念について述べた。ウェーブレット関数の定義、ウェーブレット変換を満足させるためのアドミッシブル条件、多重解像度解析などについて概説した。そして、最も簡単な Haar ウェーブレットを用いて、ウェーブレット変換の分解と再構成のアルゴリズムを説明した。また、フーリエ変換法との比較によりウェーブレットの特徴を示し、次章の理解の下準備をした。

第 3 章では、画像データ圧縮符号化に用いられてきた変換符号化やサブバンド符号化と各種ウェーブレット変換について概説した。JPEG 方式に採用されている DCT 符号化のシミュレーションを行い、低ビットレート符号化の場合に目立つ、ブロック歪みなどの問題点を指摘した。さらに、その問題点の解決法としていくつかのウェーブレット変換法によるフィルタ設計の例を挙げ、概説した。この中で、I. Daubechies の直交フィルタは有限次数で、厳密な線形位相特性を持たないが、完全再生の QMF と良く似た特性を示す。直交ウェーブレット基底の正規直交条件を緩め、双直交条件へと緩和することで、有限次数で線形位相性

と完全再合成を同時に満足する双直交ウェーブレットが設計できる。本研究ではこの双直交ウェーブレットフィルタを採用し、画像ウェーブレット変換を行う。

第4章では最近、高能率符号化法として注目を集めているベクトル量子化法について詳しく述べた。ベクトル量子化はベクトルの次元数を充分大きくしていくと、符号化性能がレート歪み限界に近づくことが知られている。しかし、実際に LBG アルゴリズムにしたがって量子化器を設計する際、計算量や学習系列の選び方などに問題点がある。この章では、これらの問題点に起因する符号化性能の劣化を低減し、汎用性を向上させるためのアプローチについて述べた。

第5章では、統計的理論に基づいて構成した擬似画像による学習系列の作成法を提案する。LBG アルゴリズムにしたがって設計したベクトル量子化器で画像の符号化を行う場合、その量子化器の代表ベクトルの生成に使われた学習系列の統計的性質は符号化結果に大きい影響を及ぼす。実画像データを学習系列として用いて生成した代表ベクトルから構成された従来方式のベクトル量子化器によるシミュレーションを行い、学習系列の統計的性質の違いが符号化特性に及ぼす影響を確認した。さらに、従来方式の問題点を補うため、無相関ガウス乱数（白色雑音）に実画像の幾つかの統計量を加えて作成した擬似画像を代表ベクトル生成の学習系列とする手法を提案する。この提案法によって作成された学習系列により生成した代表ベクトルを量子化に用いることで、適用範囲が保証できる量子化器の設計が可能であることをシミュレーションにより示した。また、このシミュレーション結果により量子化設計において重要な画像の統計量を明らかにした。

第6章では、擬似画像を学習系列に用いた汎用ベクトル量子化器の幾つかの設計法を提案した。提案手法により作成した異なるエッジを持つ複数枚の擬似画像を学習系列に用いて2種類の汎用性を目指した量子化器を設計した。複数のベクトル量子化器を用意し、符号化対象画像の相関とエッジ部の平均電力によって適当な量子化器を自動選択する汎用量子化法とエッジ量の異なる複数の擬似画像をまとめて一つの学習系列にして設計した単一の汎用量子化器を使用する方法について説明した。複数のベクトル量子化器から構成された汎用量子化器の場合、量子化器を選択するパラメータの閾値決定の問題が符号化結果に大きい影響を及ぼすことを示した。また、複数の擬似画像をまとめて一つの学習系列にして設計されたベクトル量子化器は、実画像を用いたシミュレーションで色々な符号化対象画像に対して優れた符号化結果が得られ、その有効性が立証できた。また、この場合は一つの量子化器で済むという大きな特徴がある。更に、提案手法で設計した汎用ベクトル量子化器をクラス分けウェーブレット変換に用いて低ビットレート符号化を行い、その有効性を示した。

最後に、第7章では、本研究を総括している。

以上のように本研究は、静止画像のウェーブレット変換符号化用ベクトル量子化について検討を行い、符号化対象画像の性質によらず高い符号化性能を示す汎用ベクトル量子化器の設計法を提案し、その有効性を数値実験により明らかにした。

学位論文審査の要旨

主査	教授	小川吉彦
副査	教授	北島秀夫
副査	教授	栃内香次
副査	助教授	三木信弘

学位論文題名

ウェーブレット変換符号化用ベクトル量子化器の汎用化に関する研究

高能率な画像データ圧縮に対する要求が、マルチメディアの普及と共に一段と強まっている。現在の高能率画像データ圧縮法で代表的なものはDCT(離散コサイン変換)を使用したもので、JPEGにも採用されている。しかし、この方法は低ビットレート化すると、特有のブロック歪やモスキート雑音が目立つようになる。そこで、原理的にこれらの問題を生じないウェーブレット変換を用いた画像符号化の研究が近年盛んになっている。この手法でのデータ圧縮の中心はベクトル量子化である。ベクトル量子化器の設計には学習データ系列を必要とするが、従来はこれを理論的に構築する手法が存在していなかった。そのため、幾つかの限られた実画像データを使って設計していたので、符号化対象画像の統計的性質が学習データのそれと異なると符号化特性が劣化することがあり、汎用性に劣る問題点があった。

本論文では、ウェーブレット変換符号化に使える汎用性の高いベクトル量子化器を設計することを研究の目的としており、このために特に統計的理論に基づいて構築した擬似画像によって学習系列を形成することに主眼を置いている。さらに画像の相関性とエッジ成分割合との関連性を詳細に検討して高能率な量子化器の設計法を確立している。

本論文は7章から構成され、各章の概要は以下の通りである。

第1章では、画像符号化研究の歴史的背景と本研究の意義を述べている。

第2章では、ウェーブレット変換を使用した多重解像度解析による階層画像構築で画像の分解を行い、さらに再構成により画像復元を行う手法を述べている。

第3章では、まずJPEG方式で採用されているDCT符号化について、低ビット符号化ではブロック歪やモスキート雑音が目立つことを計算シミュレーションで示している。さらに、これらの問題点を解決できる各種ウェーブレット変換法によるフィルタ設計手法を比較した。その結果、I.Daubechiesらが提案した双直交ウェーブレットを使用したフィルタが有限次数性、線形位相特性および完全再合成性の点で最も優れていると結論している。

第4章では、ベクトル量子化手法について述べており、LBGアルゴリズムに従ってベクトル量子化器を設計する際、学習系列の選び方によって符号化性能が劣化する問題があり、

汎用性を向上させるためのアプローチの仕方について述べている。

第5章では、統計的理論に基づいて構築した擬似画像による学習系列の作成法を新たに提案している。すなわち、無相関ガウス乱数(白色雑音)に実画像の相関を加味した擬似画像を作成し、更にこれを小ブロックに分割してランダムに再配列することで画像のエッジ成分を発生させる手法を提案した。エッジ成分の細かさは、分割ブロックサイズに対応させる。これをウェーブレット変換したものは、同じ相関を有する実画像のウェーブレット変換と良く一致する確率密度関数を有することを確認した。さらに、これを学習系列として採用して設計したベクトル量子化器は高性能であることを計算シミュレーションにより示した。

第6章では、種々の実画像について相関とエッジ成分との関係を克明に調べ、画像を4種の相関に分類し、更にその各々を4種のエッジ成分に分類して、合計16種類のベクトル量子化器があれば殆ど全ての画像に対応できることを調べた。その後、これを4種類に減少する手法を考案し、更にこの各々に使用する学習系列を一つに纏めて1種類のベクトル量子化器を設計することで汎用性に優れたベクトル量子化器を作成した。これによる符号化性能を、従来の実画像を学習系列に使用した量子化器と計算シミュレーションで比較し、その高性能性を確認している。また、ウェーブレット変換の各階層間の対応変換係数の相関性を利用したクラス分類によるベクトル量子化に提案量子化器を適用して、更なる低ビットレート化の手法も提案している。

第7章は結論である。

以上のように、本論文は画像のウェーブレット変換符号化に必要な汎用性の高いベクトル量子化器を初めて理論的に構築し、画像データの高能率符号化に大きく寄与したものであり、画像処理工学分野に寄与するところ大である。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。