

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 18 日現在

機関番号：33919

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560532

研究課題名(和文) ハール変換と勾配予測による高精細画像の圧縮に関する研究

研究課題名(英文) High-resolution Image Compression Using Haar Transform with Gradient Estimation

研究代表者

山谷 克 (yamatani, katsu)

名城大学・都市情報学部・教授

研究者番号：80293611

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：離散コサイン変換に基づくJPEG方式やMPEG方式は、現在、最も一般的な非可逆画像圧縮方式である。本研究では、同一の画質の下で、DCTを用いた場合よりも高い圧縮率が得られる新たな非可逆画像圧縮方式を提案し、特に、高精細デジタル画像の圧縮問題に対する応用について検討した。

提案した手法では、圧縮時に失われる入力信号の勾配情報を、画像の再構成時に周囲の情報から復元することによって、高い圧縮効率を実現している。また、ハール変換と呼ばれる非常に単純な演算から構成される周波数変換に基づいており、離散コサイン変換を用いた方式に比べ、膨大なデータの処理を要する高精細画像の圧縮・伸長により適している。

研究成果の概要(英文)：The most popular lossy image compression scheme is the JPEG standard for still images and the MPEG standard for video sequences. Although some new standards are emerging, many systems including digital cameras and image databases still use the JPEG standard, which is based on the Discrete Cosine Transform (DCT).

In this research, we proposed a new lossy image compression-decompression method that reproduces images with lower entropy (bit rates), particularly for high-resolution images, than those processed by the DCT-based method at the same PSNR values. Our approach is to predict each block using a gradient estimation, followed by applying an orthogonal transformation to the prediction error. The proposed method is based on the Haar transform that requires only $O(N)$ operations for an input signal of length N while the DCT requires $O(N \log_2 N)$ operations. This advantage is particularly significant for the high-resolution case.

研究分野：数値計算

キーワード：非可逆画像圧縮 ハール変換 予測残差 高精細画像

1. 研究開始当初の背景

近年のデジタル画像は急速に高精細、大容量化されており、画像データの表示、通信、および保存などの処理を効率よく進めるために、画像データをできるだけ低コストで圧縮するアルゴリズムの開発が緊急かつ重要な研究課題となっている。デジタル画像の圧縮には局所的な周波数変換の貼り合わせによる方法が用いられるが、本研究では、演算量が小さく、さらにその仕組みも非常に単純なハール変換に着目し、入力信号の勾配の復元処理を含めた新たな周波数変換手法を提案するとともに、高精細デジタル画像の圧縮への応用について検討する。

2. 研究の目的

本申請課題で考える高精細画像とは、フレーム毎の総画素数が数 100 万画素以上のデジタル画像を指す。数 100 万画素以上のデジタル画像は、医療・博物館・広告といった高品質な画像が要求される分野だけでなく、既に一般的なディスプレイやデジタルカメラにも用いられており、1000 万画素以上のモデルでも安価で購入可能である。このようなデジタル画像の高精細化は今後もさらに加速するものと予想され、高精細画像の効果的な非可逆画像圧縮アルゴリズムの開発は重要な研究課題である。デジタル画像の非可逆圧縮には、以下の理由により、ブロック単位の局所的な離散コサイン変換の貼り合わせによる方法が広く用いられている：入力されたデジタル画像データにブロック単位の離散コサイン変換を適用すると、ブロック内の大まかな特徴を反映する平均値のような成分と、差分値のように画素値の局所的な変化を反映する成分とに分離することができる。画像内のある画素の状態は周囲の状態との類似性が高いことから、これらの成分の統計的分布には偏りが生じるため、ハフマン・ランレングス符号化などの適切な可逆圧縮を併用することによって、大幅なデータ圧縮が可能となる。また、局所的な変化を表す成分と平均値のような成分とでは、視覚に与える影響が大きく異なるため、これらの成分を視覚に対する影響度に応じて量子化することにより、効果的なデータ圧縮が可能となる。

高精細画像にブロック単位の離散コサイン変換に基づく圧縮処理を適用した場合、一般に、各々のブロックサイズ(基底のサイズ)を大きくしたほうが圧縮効率は高くなることが知られている。しかしながら、画像のピクセル数を M 、ブロックのサイズを N とすると、離散コサイン変換の演算量はオーダー $M \log 2N$ に従い増大するため、ブロックサイズ N を大きくすることはできない。一方、本研究で着目するのは、矩形波を基底とするハール変換である。ハール変換は最も単純な離散ウェーブレット変換であり、その演算量は画像のピクセル数のみに従う。したがって、高精細画像の圧縮効率をあげるために基底の

サイズを大きくしても、変換全体の演算量への影響を問題にする必要はない。また、すべての演算は単純な加減算とビットシフトによって構成される。演算量の面でのこれらの大きなメリットは、高精細化された大きなサイズの画像圧縮において、より強く生きてくるものと考えられる。また、基底が矩形波であるため、エッジの表現に優れているという長所もある。

ハール変換は、演算量の面で、高精細画像の圧縮に大きなメリットを持つが、基底が矩形波であるため、離散コサイン変換では滑らかに表現されるグラデーションが、ハール変換では原画像の滑らかさが失われ、ギザギザした歪が発生するという問題がある。本研究では、ハール変換の基底の形状に起因する上記の課題を解決する方法を提案し、ハール変換に基づく高精細画像の圧縮に適した画像圧縮アルゴリズムの研究を行う。提案する方法のアイデアは、平均成分から入力信号の勾配を近似することによって、これらのギザギザした歪を回避することである。勾配の近似成分と差分成分との予測残差を量子化することによって、圧縮効率の改善も可能となる。

3. 研究の方法

当初の計画では、基底となる周波数変換としてハール変換のみを想定していたが、実際の研究内では、 4×4 画素サイズのアダマール変換から階層的に構成される直交変換にも着目した。この変換も、ハール変換に基づく方法と同様に、演算量が画像のピクセル数のみに従うとともに、すべての演算が加減算とビットシフトによって構成される。

研究方法としては、まず当初の計画にあったハール変換による変換係数の予測残差を用いた非可逆圧縮方式について、予測残差を量子化した後に JPEG 方式と同様のハフマン・ランレングス符号化を適用し、種々の標準的なテスト用高精細画像に対する圧縮効率を数値的に確認した。次に、提案方法の残差が入力信号の 3 階の中心差分で表されることに着目し、この 3 階の中心差分の予測残差を利用する新たな方法について研究を行った。その結果、3 階の中心差分の優れた予測残差を得るためには、基底となる周波数変換を、 4×4 画素サイズのアダマール変換から階層的に構成される直交変換にすれば良いということが分かった。新たな手法についても、ハール変換に基づく手法と同様に、種々の標準的なテスト用高精細画像に対する圧縮効率を数値的に確認した。

4. 研究成果

圧縮性能に関するテスト用の高精細画像として、画像電子学会の高精細カラーディジタル標準画像 (XYZ/SCID, JIS X 9204, 2004, <http://www.zoc.nii.ac.jp/iieej/trans/scidnew.html>) を用いた。画像サイズは、 3072×4096 および、 4096×3072 画素である。圧縮

後の画質を PSNR 値で評価するものとし、その値が 30 ~ 50 dB となる範囲で各周波数変換を適用した後に得られた係数を量子化した。圧縮率の評価には、変換係数(予測残差)を量子化した後に JPEG 方式と同様のハフマン・ランレングス符号化を適用し、その符号長を用いた。

本研究における数値実験の結果、非可逆画像圧縮において最も一般的に用いられる離散コサイン変換を用いた場合と比較し、同一の圧縮率において、ハール変換の変換係数に対する予測残差を用いた場合に 0.5 ~ 1.0 dB、 4×4 画素サイズのアダマール変換から階層的に構成される直交変換の変換係数に対する予測残差を用いた場合に 1.5 ~ 2.0 dB の画質の向上が確認できた。本研究結果については、現在、論文を執筆中である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2 件)

1 DCT と HT に基づく組み合わせ式直交変換における演算量の軽減方法とその高精細画像圧縮への応用(森田雅貴, 芦澤恵太, 山谷克), 都市情報学研究, No.19, pp. 81-92 (2014), 査読有

2 DCT とハール変換を縦横に組み合わせた新たな周波数変換方式の提案と画像圧縮におけるモスキートノイズの軽減(芦澤恵太, 山谷克), 電子情報通信学会論文誌(A), Vol.J96-A, No.7, pp.484-492(2013), 査読有

[学会発表](計 9 件)

1 DCT とハール変換を組み合わせた周波数変換方式の提案と画像圧縮への応用(芦澤恵太, 原田卓弥, 山谷克), 映像情報メディア学会 2014 年冬季大会(2014 年 12 月 17 日), 東京理科大学

2 隣接信号を用いた残差ハール変換の提案と画像圧縮への応用(立川雅弥, 丹羽剛生, 山谷克), 日本応用数理学会 2014 年度年会(2014 年 9 月 3 日), 東京(政策研究大学院大学)

3 係数の p 乗和を指標関数として用いた適応的残差ハール変換の改善(原田卓弥, 森田雅貴, 山谷克), 日本応用数理学会 2014 年度年会(2014 年 9 月 3 日), 東京(政策研究大学院大学)

4 適応的残差ハール変換による画像圧縮法(森田雅貴, 山谷克), 日本応用数理学会 2014 年度年会(2014 年 9 月 3 日), 東京(政策研究大学院大学)

5 適応的残差ハール変換に基づく高精細画像圧縮(原田卓弥, 川雅弥, 森田雅貴, 山谷克), 第 43 回数値解析シンポジウム(2014 年 6 月 12 日), 沖縄

6 適応的残差ハール変換の提案およびその画像圧縮への応用(森田雅貴, 芦澤恵太, 原田卓弥, 山谷克), 第 43 回数値解析シンポジウム(2014 年 6 月 11 日), 沖縄

7 ハール変換を利用した高精細画像圧縮における演算量の軽減に関する研究(森田雅貴, 芦澤恵太, 山谷克), 日本応用数理学会研究部会連合発表会(2014 年 3 月 20 日), 京大

8 DCT とハール変換のテンソル積を利用したモスキートノイズの軽減(芦澤恵太, 森田雅貴, 横井伸行, 山谷克), 日本応用数理学会年会(2013 年 9 月 11 日), 福岡

9 DCT とハール変換を組み合わせた周波数変換方式に基づく高精細画像圧縮(横井伸行, 芦澤恵太, 森田雅貴, 山谷克), 日本応用数理学会年会(2013 年 9 月 10 日), 福岡

[図書](計 件)

[産業財産権]
出願状況(計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山谷 克 (YAMATANI, Katsu)
名城大学・都市情報学部・教授
研究者番号: 80293611

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者
()

研究者番号：