

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：33803

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11972

研究課題名（和文）空撮画像や点群データのための可逆圧縮方式の開発

研究課題名（英文）Development of a lossless compression method applicable to orthophotos and point cloud data

研究代表者

芦澤 恵太（Ashizawa, Keita）

静岡理工科大学・情報学部・教授

研究者番号：70548073

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：ドローンによる空撮画像や測量で得られる点群データ、さらに超高精細画像など、我々の生活において近年目にする機会が増えている新しい画像の情報量圧縮に取り組んだ。当初は、それぞれの画像信号に共通する統計的性質を探したが発見には至らなかった。そこで共通の処理である符号化部に研究対象を移した。信号列を従来と異なる視点で見たことで、スライス連長符号と名付けた新たな方式の開発に成功した。結果として、通常の連長符号化を用いた方式に対して、実験を行ったすべてのテスト画像において有意な情報量の圧縮効果を確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の視覚的に不必要な成分を取捨選択する非可逆圧縮方式は、画像の品質とデータ量のトレードオフが基本となる。しかし高品質な画像に対し、圧縮のためとはいえ情報を捨てることは本末転倒な状況といえる。そこで本申請課題では、空撮画像や点群データなどの新たに登場した画像と、何も情報を捨てない可逆方式による画像圧縮に注目した。本課題において、画像の信号解析を丁寧に行ったことで、符号化部における連長符号化を置き換える方式のアイデアを得た。スライス連長符号と名付けた提案アルゴリズムは、既存の画像圧縮方式に組み入れることも可能であるため、多くの方式の効率向上に寄与できるものと考えている。

研究成果の概要（英文）：We studied on information compression of new types of images that we see more and more in our daily life, such as aerial photography by drones, point cloud data obtained by surveying, and ultra-high-resolution images. At first, we looked for statistical properties common to each image signal, but we could not find them. We then shifted our research focus to the coding part, which is a common process. By looking at the signal sequence from a different perspective than before, we succeeded in developing a new method, which we named slice run-length. As a result, we were able to confirm a significant information compression effect for all test images in which we conducted experiments, compared to a method using the Runlength coding.

研究分野：知覚情報処理

キーワード：画像処理 情報圧縮 可逆圧縮 連長符号化

1. 研究開始当初の背景

近年急激に普及したドローンによる空撮映像から生成されるオルソ画像や、レーザ計測機器による3次元点群データ、さらには8K映像などの高品質で大容量な信号が蓄積され始め、保存および通信に占める画像データの容量は爆発的に伸びている。これらはデータ量の増加に対して、従来の多くの方式では優先度の低い成分を間引くという非可逆的アプローチで解決を図っている。しかしながら、観測の結果として高品質になった画像から、再度情報を欠落させるといった状況は本末転倒である。これは生成AIの登場に沸き立ち、観測信号そのものを大切に扱う意識が研究者の中でも薄れている為に生じた不自然な状態であり修正が急務であると考えた。

測定機器の飛躍的な性能向上により観測できるようになった信号は、これまでとは異なる特性をもっていることが予想できる。ファイルサイズの大幅な削減のために信号の取捨選択は必要不可欠であるが、それぞれの画像に対してどの信号成分が重要なのかは解明されていないことが多い。観測信号が指数関数的に大容量化していく将来展望のもと、情報を損なうことなく、かつ、ファイルサイズを小さくするための新たなアプローチを發明しなければいけないという問題が学術的な背景としてあった。

2. 研究の目的

本申請課題では、以下の2項目を主な研究目的として掲げた。

- ・可逆圧縮に適用するための勾配予測付きハール変換の効果的な構成法を明らかにする。
- ・ドローンで撮影した画像、オープンデータ化されている点群データに対して、有効な可逆圧縮方式を構築し、可逆圧縮という研究分野への注目を集める。

申請者はこれまでに、ハール変換以外の周波数変換に対する勾配予測法や、ハール変換を組み合わせた新たな基底系の構成法などを開発し、画像の非可逆圧縮に応用してきた実績がある。本研究においては、新たな信号の特性に応じた適応走査法や勾配予測法の改良などの新技術の開発に取り組むこととした。これまでの研究では、高圧縮時の画質の改善に主眼をおいていたが、本申請課題では視覚的な劣化が生じない圧縮帯域での信号圧縮に新たに取り組む、すなわち可逆圧縮方式のプラットフォームを整備することを目標としている。

3. 研究の方法

数値実験による統計的性質の把握と、理論研究に基づいたアルゴリズムの構築を並行して研究を進める。上述のように、新しい画像信号としては複数の画像信号が研究対象として候補に挙がるが、まず超高精細・広色域標準静止画像(8K、各色12ビット)を対象に数値実験を行う。その後、実際にドローンで撮影した写真から生成されるオルソ画像、および、無償公開されている点群データといった実データを用いた数値実験を行う。研究分担者は配置しないが、研究協力者である名城大学山谷克教授と東海大学(期間中に神奈川大学に移籍)の藤ノ木健介准教授との情報交換を密に行い研究を進めていく。

最初に対象信号の統計的性質と勾配付きハール変換を適用する際の2つのパラメータ(信号長と走査法)の関係を検討する。効果的なブロックサイズの決定手続きを明らかにし、さらに複数の走査法の中からエントロピーを押さえる走査法の選択基準を策定する。実際の観測信号に主眼を移した後は、具体的な可逆圧縮方式の開発に取り組む。

4. 研究成果

本申請課題を通じて、既存のあらゆる画像圧縮方式で用いられている連長符号化を根底から置き換える新たな方式を開発できた。大きな研究目標としていた可逆圧縮方式のプラットフォームの整備に対して一部を担う研究成果が得られたと考えている。最終年度である2023年度に2つの国際会議で提案をするに至ったが、現時点の調査では類似のアプローチは見当たらず、新規性の観点からもインパクトは大きいと評価している。

また、可逆圧縮方式の開発に取り組む過程において、ブロック単位の画像信号に対する方位を新たに定義した。このことを用いて新たなエッジ検出方式の論文を公表することが出来た。一方、申請時から目指していた、具体的な実データに特化した可逆圧縮方式の構築については、期間内で終わることが出来なかったため継続の課題としたい。以下では、年度ごとの成果を整理するとともに、どのようにして当初予想していなかった可逆圧縮における符号化部の研究アイデアの発想に至ったのかを述べる。

初年度は、コロナ禍の影響もあり、調査研究が中心となった。主に以下3点が成果である：

- ・超高精細/広色域標準静止画像(8K、各色12ビット)の統計的性質の把握を行った。
申請者がこれまでに提案してきた非可逆圧縮方式を用いた数値実験を行うことで、画像信号としての特徴の比較を行った。
- ・方位選択性をもつ新たなウェーブレット変換の開発を行った。連携研究者である藤ノ木准教授との共同研究において、上記の信号考察がヒントを与えることとなった。

- ・3次元点群データのロスレス圧縮についての調査研究を行った。行政が公開している測量データを用いて、信号特性と圧縮効率についての考察を行った。代表的なロスレス圧縮方式である LASzip を具体的な測量信号に適用することで、本研究課題の位置付けと今後の方向性について再確認を行った。

研究機関の2年目は、1年目の調査をふまえ、以下3項目を主に実施した。

- ・デジタル画像におけるブロック単位での方位指標の定義を行った。処理ブロック内にエッジ、すなわち空間的に連続に存在する信号の急峻な変化は、高域の周波数変換成分に対応する。高周波数成分の存在は、可逆、非可逆を問わず、信号符号化の際の障害となる。この問題を回避する為に、エッジおよび視覚的にはエッジに見えないが規則的な信号の変化に対して、方位指標を新たに定義した。これを利用することで、方位に基づく情報を分離する発想を得た。
- ・方位選択性をもつ新たなウェーブレット変換のデータに適用した。前年度に開発した変換の適用事例を検討した。2次元画像のエッジ検出において有効であることを確認し、論文投稿に至った。
- ・山谷教授との情報交換の中で、エッジの幾何学的な分布を信号のソートに活用する方法の検討に着手した。

最終年度は、申請期間内に次世代の可逆圧縮方式に寄与できる成果を得るべく、前年度までに整理した方位指標を活用した符号化部の再検討に注力した。研究開始当初は、空撮画像、点群データ、または高精細画像のどれかに、これまでの研究成果を応用することを想定していたが、最終的には符号化部においてスライス連長符号と名付けた方式の開発に至った。

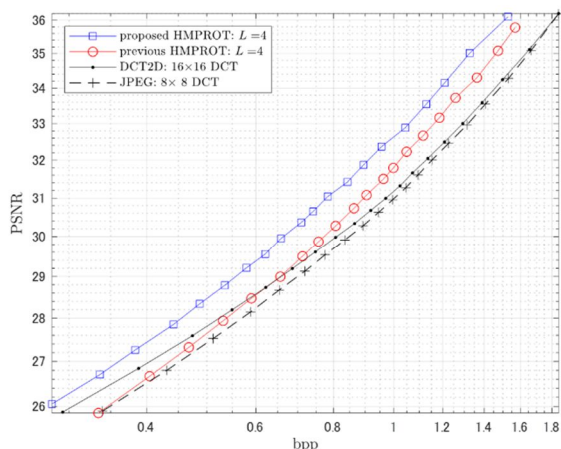
スライス連長符号化については、最終年度中の2つの国際会議で報告を行っている。スライス連長符号化のアプローチの有効性は、著者らが以前提案した Haar 変換に基づく画像圧縮法である MPROT (Multi-neighbor Predictors and Residual Orthogonal Transformations) により確認することが出来る。このアプローチでは、孤立周波数成分の除去と、周波数空間をエネルギー帯域にスライスすることで得られる分解分布図の符号化という2つの新しいアイデアを含んでいる。これらのアイデアの着想に至ったのは、研究期間の初年度および2年目に実施した多様な信号を用いた数値実験の役割が大きいと考えている。

本申請課題の成果である新しいコーディングアプローチの性能を図1(a)に示すテスト画像に対する数値実験結果を用いて報告する。ここでの比較対象は、JPEG 標準、16×16ピクセルのブロックサイズを用いた離散コサイン変換に基づく方式、4層からなる階層的ハール変換に基づく MPROT である。平均二乗誤差を入力信号のピーク値で正規化した PSNR 値を用いた評価を行っている。PSNR 値は値が大きいほど性能が高いことを意味する。図1(b)から、提案手法はすべての圧縮帯域において、PSNR 値の意味において大きく (JPEG と比較して 1dB 以上、従来手法と比較して約 0.7dB) 向上していることが確認できる。このことは、提案するプリコーディングが圧縮効率の向上に大きく寄与しているだけでなく、本申請課題のターゲットである可逆圧縮におけるコーディングに組み入れたとしても有効であることを示唆している。

上述のコーディングアプローチに関する2報の国際会議に加え、本課題から派生した成果を国際会議で1報(エッジ検出)、査読付き国際誌1報(方位選択型ウェーブレットの提案)、国内口頭発表2件(ウェーブレット係数の量子化に関する試み)で発表した。画像圧縮の基礎研究は、1992年のJPEG方式の登場以降30年が経過し、やり尽くされたといった評価を得ることがある。しかし本課題において新たに登場した画像の解析を丁寧に行い、可逆圧縮アルゴリズムを再検討する機会を与えられたことで、今後の研究の糸口を得ることが出来た。



(a) Test image (512x512, 8bpp, grayscale)



(b) Test image (512x512, 8bpp, grayscale)

図1 本研究で開発したコーディングアプローチの性能評価

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Fujinoki Kensuke, Ashizawa Keita	4. 巻 216
2. 論文標題 Directional lifting wavelet transform for image edge analysis	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Signal Processing	6. 最初と最後の頁 109188 ~ 109188
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.sigpro.2023.109188	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Keita Ashizawa, Katsu Yamatani
2. 発表標題 A new pre-coding approach for MPROT based image compression
3. 学会等名 The 42nd JSST Annual International Conference on Simulation Technology（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kensuke Fujinoki, Keita Ashizawa
2. 発表標題 Edge enhancement with directional wavelet transform
3. 学会等名 The 10th International Congress on Industrial and Applied Mathematics（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Keita Ashizawa, Katsu Yamatani
2. 発表標題 Improvement of Coding Procedures for Haar Transform-based Lossy Image Compression
3. 学会等名 The 10th International Congress on Industrial and Applied Mathematics（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山本昂汰, 芦澤恵太, 鈴木俊夫, 石渡恵美子
2. 発表標題 離散ウェーブレット変換係数の線形量子化の拡張と圧縮画像への効果について
3. 学会等名 日本応用数理学会 第20回研究部会連合発表会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 森田 雅貴, 芦澤 恵太, 山谷 克
2. 発表標題 勾配データの主成分分析によるエッジの方向予測とその画像圧縮への応用
3. 学会等名 2022年度第50回画像電子学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本昂汰, 芦澤恵太, 鈴木俊夫, 石渡恵美子
2. 発表標題 遷移域を有する階段関数によるDWT係数量子化とその圧縮画像への影響
3. 学会等名 画像電子学会第307回研究会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	山谷 克 (Yamatani Katsu) (80293611)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	藤ノ木 健介 (Fujinoki Kensuke) (80613629)		
研究協力者	斎藤 直樹 (Saito Naoki)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関