

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 27 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560361

研究課題名（和文） 理論的圧縮限界を目指した超高精細動画像信号の可逆圧縮

研究課題名（英文） Study on Lossless Coding Scheme for Super High Resolution Moving Images aimed to Theoretical Compression Boundary

研究代表者

加藤 茂夫 (KATO SHIGEO)

宇都宮大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：00143529

研究成果の概要（和文）：

本研究は、画像信号の理論的な可逆圧縮限界(ロスレス圧縮限界)を探り、その理論的境界を達成するための符号化方式の実現可能性を追求し、併せて、超高精細動画像信号を対象としたスケーラブル伝送を可能とする高圧縮なロスレス符号化方式の開発を目的として研究を行った。超高精細画像符号化伝送システムは符号化モデル部とエントロピー符号化部に分けて考えられる。符号化モデル部については、フレーム間動き補償とマルコフモデル符号化について検討し、マルチフレームを用いた動き補償の効率化及び高速化を提案した。また、エントロピー符号化については、算術符号について情報源拡大を行うことにより符号化及び復号の処理時間を短縮する手法を開発した。

研究成果の概要（英文）：

The goal of this study is to reveal the theoretical lossless compression boundary for image signals, and to develop the basic concept of scalable transmission system for super-high resolution moving images. The image coding scheme is separated into two parts, that is to say, one is a signal conversion part and another is an entropy coding part. In this study, we proposed new methods for each part. First, as a signal conversion part, we proposed an inter frame coding method with motion compensation and Markov model. Next, we proposed a fast multi-frame interpolation method. Also we studied on an entropy coding using arithmetic coding with the extension of the information source.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学，通信・ネットワーク工学

キーワード：符号化，画像データ圧縮，情報源符号化，可逆圧縮，動画像信号

1. 研究開始当初の背景

絵画や芸術作品などの文化遺産をまったくの劣化なしで後世に遺すためには、データ

ベースなどに蓄えるべきデータは、最終的には可逆符号化である必要があるが、一方では、簡易な表示や高速検索なども可能とするた

めには、低ビットレートでの表示が可能な非可逆符号化も必要である。しかしながら、非可逆符号化と可逆符号化を別々に符号化して保存することは効率的でなく、非可逆符号化から可逆符号化までをシームレスな単一符号化方式で実現可能とする、いわゆるスケラブルな符号化構成をとることが望まれていた。

この点に関し、これまで、画像符号化方式として数多くの圧縮方式が提案され、MPEG や JPEG において優れた圧縮符号化方式が国際標準化されており、不満足ながらこれらの要求を満たす方式はある程度実現されている。しかしながら、これらの方式はあくまでも現時点のハードウェア技術による実現に主眼をおいた方式であるためヒューリスティックなアプローチによるものがほとんどである。真に効果的な圧縮方式を開発するためには、基礎理論的な側面からのアプローチが重要であり、そのためにまず「画像信号ははたしてどこまで圧縮できるか？」という基本命題が解決されるべきであり、これらの基盤にたった画像符号化方式の開発が望まれている状況にあった。

2. 研究の目的

デジタル信号を圧縮符号化する場合、データ間の相関を利用して冗長度抑圧を行なうことになる。現実世界は因果律から成り立っていることはいまでもなく、したがって、動画像信号をリアルタイム圧縮符号化する場合、伝送済みの画像信号(既符号化データ)を利用して冗長度抑圧を行なうことになる。この場合、その理論的圧縮限界は、参照する既符号化データパターンの条件付確率で定まるマルコフモデルエントロピーで記述されることが証明されている。これまで、画像信号の効率的な圧縮符号化モデルとしては、予測符号化や直交変換符号化が知られており、これらは国際標準化方式に採用されるなど、汎用的に用いられている。また、実装上の問題を別にすれば、0' Neal の線形予測理論に基づく最適予測符号化や Kahrnen-Loeve による最適変換符号化も示されている。これらの方式は、いずれも誤差電力を最小にするか、あるいは、変換係数を無相関化する、という意味で最適と呼ばれているが、画像信号圧縮の最終目標は、「いかに小さなデータ量で対象を記述できるか」ということであり、前述の最適予測符号化も最適変換符号化もデータ量最小という面からは最適とはいえず、これらに源を発する DCT や Wavelet 変換も、おのずとその圧縮限界が見えている。前述のマルコフモデルエントロピーを直接圧縮目標とする符号化モデルを用い、また、そのエントロピーを実現する符号の開発をすべきであろうと考えられ

る。この点についてこれまでマルコフモデル符号化が提案されているが、本研究者らはこのマルコフモデル符号化方式の実現のためにはコンテキスト数の問題をはじめ、画像信号の非定常性の問題など多くの問題があることを明らかにした。

さらに、動画像符号化においては、効果的圧縮のためにはフレーム内符号化とフレーム間符号化の両者を用いることが前提となるが、フレーム間符号化においては、動き補償予測符号化が必須となる。このため、効率的な動き補償モデルを構築することが必要である。この点に関しては、リアルタイム符号化の面から、動き補償は高速化アルゴリズムであることが要請される。このような観点から、高速処理可能な動き補償方式およびフレーム補間方式を開発する。

さて、情報圧縮は、モデルによる系列変換と、変換された信号に対するエントロピー符号化に分けて取り扱うことができるが、前記のマルコフモデルおよび動き補償モデルに関する問題は、モデルによる系列変換における問題点である。これら問題点が解決されれば、モデルにより作成される符号化対象シンボルのエントロピーは小さくはなるが、実際に符号化を行うためには、効果的なエントロピー符号を構成してエントロピー符号化を行う必要がある。本研究では、この点について、極めてエントロピーに近いレートで符号化が可能な算術符号を取りあげ、この実現を目指す。算術符号は、その符号化及び復号過程において算術演算、特に乗算を要することから、処理時間の高速化を図る必要がある。

そこで、本研究では 3 番目の課題として、符号化対象情報源の拡大により、符号化対象シンボルを複数まとめて算術符号化を行うなど、高速算術符号の開発を目的とする。

以上の諸問題について、本研究では、符号化方式実現の立場から解決を図る。

3. 研究の方法

研究目的を達成するために、上記テーマごとに下記の課題を挙げ、年度ごとの達成計画を立てて研究に着手した。以下、研究方法について箇条書きで述べる。

(1) マルコフモデル符号化の効率化について

マルコフモデル符号化では画素値のマルコフ性を利用して符号化を行うが、一般的マルコフモデル符号化では画素単位での参照を行っているため、各画素の LSB (Least Significant Bit) などのノイズに近い値まで参照されることになり、これにより圧縮率が低下する可能性がある。そのため、画像をビットプレーンに分解した各成分(エレメント)を参照することでエントロピーを低減させる、3次元マルコフモデル符号化が提案されている。本研究では、3次元マルコフモデ

ル符号化をカラー画像の符号化に適用し、色成分画像間の参照によってエントロピーのさらなる低減を図る手法について検討する。

(2) 高速処理可能な動き補償方式およびフレーム補間方式の開発について

動画像符号化方式は、フレーム内予測符号化方式とフレーム間予測符号化に大別される。フレーム内予測符号化は、各フレームを独立した静止画像と見なし、符号化する手法である。フレーム間予測符号化は、フレーム間の高い相関を利用し、フレーム間の差分(予測誤差)を符号化する手法である。ここで、フレーム間に動きがある場合、予測誤差が増大し、圧縮効率が低下する。そこで、フレーム間の動きを動き推定により検出し、フレーム予測を行うことで、圧縮効率の改善を図る動き補償予測が用いられている。また、H.264/AVCやHEVCなどに代表される近年の動画像符号化方式では、複数の参照フレームから最適なフレームを選択するマルチフレーム動き推定が利用可能である。マルチフレーム動き推定は、圧縮効率の向上に効果がある一方、処理に必要となる計算量が膨大である問題がある。そこで、マルチフレーム動き推定の計算量を削減するため、最適な参照フレームを予測した上で動き推定を行い、あらかじめ定めた閾値以下の符号化コストを検出した場合に処理を打ち切る手法を提案する。また、標準動画像を用いたシミュレーションを行い、提案手法は圧縮効率の低下を抑えた高速化が可能であることを明らかにして、MFME(Multi Frame Motion Estimation)の高速化手法として有効であることを示す。

次に、フレーム補間法について、動き補償を用いたフレーム補間法について検討を行う。フレーム補間法は、フレームレートの低い動画像の高品質化に大きな効果があり、その中でも、アルゴリズムが単純なフレーム補間法として線形補間法が挙げられる。しかし、動画像内に動きがある場合、このような単純な処理方法では、補間フレームにぼけやジャーキネスが発生するため、必ずしも十分な画質を得られるわけではない。この問題を解決するため、動き補償を用いたフレーム補間法が注目されている。が、この手法では、フレームを一定のサイズに分割したブロック単位で動き補償補間を行うため、補間されない画素(ギャップ画素)や、ブロック境界部にアーティファクトが発生し、画質劣化が起こる可能性がある。そこで本研究では、マクロブロックの動き推定を行う際の予測誤差によって、補間するブロックサイズを適応的に切り替えて補間フレームを生成し、生成した補間フレームを基準とした動き補償を行うことで補間フレームを再度生成する手法を提案する。提案方式では、補間フレームを再度生成する際にブロックを隣接ブロックと

重複するように拡張することで、従来発生していたアーティファクトの低減を図る。提案方式を用いて種々の動画像に対してシミュレーションを行い、補間フレームの画質改善について検討する。

(3) 算術符号化の高速化について、

算術符号はシンボル生起確率の比で半開区間 $[0; 1)$ を再帰的に分割することで符号化を行い、高い符号化効率を実現可能なエントロピー符号化用符号として知られている。しかしながら、算術符号の符号化と復号過程では1シンボルごとに算術演算を必要とするため、多大な時間を要する。算術符号の高速化方式として、Langdonらのシフト型算術符号が既に提案されているが、この方式は劣勢シンボルの生起確率を2のべき乗で近似するため、乗算型2値算術符号より符号化効率が劣る。そこで本稿では、無記憶2元情報源の拡大および確率値の事前計算を利用することにより、乗算型2値算術符号と同等な符号化効率を実現しつつ、算術符号を高速化する方式を提案する。符号化および復号シミュレーションを行い、従来の乗算型2値算術符号より高速な符号化と復号が可能であることを示す。

4. 研究成果

本研究では、まず、理論的圧縮限界を達成することが期待できるマルコフモデル符号化を取り上げ、その効率化について検討した。本研究申請者らが提案している3次元マルコフモデル符号化は、多値画像をビットプレーン分解した各成分単位で扱い、着目エレメントと相関の高いエレメントを参照する手法であるが、本研究では、カラー画像を構成する成分画像間の相関を用いる手法を提案し、シミュレーションを行い良好な結果を得た。次に、超高精細画像符号化伝送システムは符号化モデル部とエントロピー符号化部に分けて考えられるが、まず、符号化モデル部については、フレーム間動き補償において、マルチフレームを用いた動き補償の効率化及び高速化を提案した。動き補償の効率化については、双方向動き補償を用いて中間のフレームを作成する手法を提案している。ここで開発した手法はフレームレート変換の一手法であるが、これを超高精細画像信号のフレーム間符号化に援用することは可能であり、効果的な圧縮が可能となった。さらに、マルチフレーム動き推定を高速化する手法として、参照フレームにおける動き推定によって得られた符号化コストが閾値を下回った場合、そのフレーム以降における動き推定処理を打ち切ることで動き補償の高速化についての提案を行い、良好な結果を得た。次に、マルコフモデル符号化に親和性のあるエ

ントロピー符号化方式として、算術符号化を取り上げ、符号化及び復号の高速化方式を開発した。提案方式は、符号化対象情報源の拡大により、符号化対象シンボルを複数まとめて符号化することとし、さらに確率値の事前計算を用いて、演算回数を削減することにより、2値算術符号の高速化を図る方式である。シミュレーションの結果、符号化処理においては従来方式よりも2倍程度高速化が図れることを明らかにした。

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 6 件)

- ① Yuichi Tanaka, Madoka Hasegawa, Shigeo Kato, "Flexible Combination of Time-Domain Lapped Transforms with Various Downsampling Factors," *IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, Vol. E95-A, No. 11, pp. 2049-2058, Nov. 2012. 査読有
- ② 長谷川まどか, 田中雄一, 加藤茂夫, "カラー画像信号の SN 比計算に関する一考察," *画像電子学会誌*, Vol. 40, No. 3, pp. 475-479, May 2011. 査読有

[学会発表] (計 62 件)

- ① Ha Vu Le, Tuan Tai Phan, Yuichi Tanaka, Madoka Hasegawa, Shigeo Kato, "Distributed Video Coding Based on Selective Data Pruning and High-order Edge-directed Interpolation," *IEVC2012*, 1P-10, Nov. Kuching, Malaysia. 査読有
- ② 蜂巢 貴弘, 長谷川 まどか, 加藤 茂夫, 田中 雄一, "参照フレーム予測を用いたマルチフレーム動き推定の高速化に関する一検討", *PCSJ/IMPS2012*, pp. 35-36, P2-14, Oct. 2012.
- ③ Shota Kanahara, Madoka Hasegawa, Shigeo Kato and Yuichi Tanaka, "A Fast Binary Arithmetic Coding Using Probability Table of Expanded Symbols," 2012 International Symposium on Information Theory and its Applications (ISITA 2012), Honolulu, Hawaii, USA, Session: Data Compression and Complexity, pp. 480-484, Oct. 2012. 査読有
- ④ 金原 翔太, 長谷川 まどか, 加藤 茂夫, "情報源拡大に基づく乗算型 2 値算術符号の高速化に関する一検討," *信学技報*, Vol. 112, No. 136, IE2012-41, pp. 31-36, July 2012.

- ⑤ 蜂巢 貴弘, 長谷川 まどか, 加藤 茂夫, "マルチフレーム動き推定の高速化に関する一検討," *信学技報*, Vol. 112, No. 136, IE2012-36, pp. 1-5, July 2012.
- ⑥ 星 勝, 長谷川 まどか, 加藤 茂夫, "双方向動き補償を利用した動画像信号の補間フレーム作成とその画質改善に関する検討," *信学技報*, Vol. 112, No. 136, IE2012-38, pp. 13-18, July 2012.
- ⑦ Masaru Hoshi, Akihiro Yoshinari, Yuichi Tanaka, Madoka Hasegawa, and Shigeo Kato, "Variable Block Size-Based MCFI with Fixed Block Size Motion Estimation," *Forty-Fifth Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers*, pp. 235-239, MA8b4-3, California, Nov. 2011. 査読有
- ⑧ Tuan Tai Phan, Yuichi Tanaka, Madoka Hasegawa, and Shigeo Kato, "Mixed-Resolution Wyner-Ziv Video Coding Based on Selective Data Pruning," *Proc. of the 13th international workshop on multimedia signal processing (MMSP2011)*, P2-6, Hangzhou, China, Oct. 2011. 査読有
- ⑨ 蜂巢 貴弘, 田中 雄一, 長谷川 まどか, 加藤 茂夫, "マルチフレーム動き推定の高速化に関する一検討," *PCSJ/IMPS2011*, P-2-11, pp. 41-42, Oct. 2011.
- ⑩ 金原 翔太, 田中 雄一, 長谷川 まどか, 加藤 茂夫, "情報源の拡大および確率値の事前計算による多値算術符号の高速化に関する一検討," *PCSJ/IMPS2011*, P-2-13, pp. 45-46, Oct. 2011.
- ⑪ 星 勝, 田中雄一, 長谷川まどか, 加藤茂夫, "補間フレームを基準とした双方向動き補償によるフレームレート変換の画質改善に関する検討," *信学技報*, CAS2011-11, vol. 111, no. 102, pp. 61-66, June 2011.
- ⑫ 金原 翔太, 田中雄一, 長谷川まどか, 加藤茂夫, "情報源拡大による算術符号の高速化について," *画像電子学会第 39 回年次大会*, S3-6, June 2011.
- ⑬ 佐藤謙伍, 田中雄一, 長谷川まどか, 加藤茂夫, "成分画像間相関を用いたカラー画像のマルコフモデル符号化に関する研究," *信学技報*, vol. 110, no. 455, CQ2010-79, pp. 69-74, Mar. 2011.
- ⑭ Yuichi Tanaka, Madoka Hasegawa, Shigeo Kato, "Improved Image Concentration for Artifact-Free Image Dilution and Its Application to Image Coding," *ICIP2010*, pp. 1225-1228, MP. PD. 3a, Hong Kong, Sept. 2010. 査読有
- ⑮ 吉成晃宏, 田中雄一, 長谷川まどか, 加藤茂夫, "動き補償を利用した動画像信号

- の補間フレーム作成とその画質改善,”
信学技報, IE2010-53, vol. 110, no. 148,
pp. 41-46, July 2010.
- ⑩ 若林朋幸, 田中雄一, 長谷川まどか, 加藤茂夫, “H. 264/AVC イントラ符号化における予測モード選択の自由度を利用した情報付加法”, 信学技報, IE2010-59, vol. 110, no. 148, pp. 83-88, July 2010.
- ⑪ 吉成晃宏, 田中雄一, 長谷川まどか, 加藤茂夫, “動き補償を利用した動画信号の補間フレーム作成とその画質改善,” 信学技報, IE2010-53, vol. 110, no. 148, pp. 41-46, July 2010.
- ⑫ 塚田靖, 田中雄一, 長谷川まどか, 加藤茂夫, “可変密度サンプリングによる非可逆画像符号化における画質劣化の軽減に関する検討,” 映像情報メディア学会技術報告 映像表現&コンピュータグラフィックス, VOL. 34, NO. 31, pp. 45-48, July 2010.

[その他]

ホームページ等

<http://williams.is.utsunomiya-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

加藤 茂夫 (KATO SHIGEO)

宇都宮大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：00143529

(2) 研究分担者

長谷川 まどか (HASEGAWA MADOKA)

宇都宮大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：80322014

田中 雄一 (TANAKA YUICHI)

宇都宮大学・大学院工学研究科・助教 (H22-23)

東京農工大学・大学院生物システム応用科学府・准教授 (H24)

研究者番号：10547029

(H23→H24 連携研究者)

(3) 連携研究者

()

研究者番号：