

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 5 月 29 日現在

機関番号：32714

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420342

研究課題名(和文)映像信号の非直交変換符号化方式

研究課題名(英文)Non-orthogonal transform coding method for video signal

研究代表者

羽鳥 好律(Hatori, Yoshinori)

神奈川工科大学・情報学部・客員教授

研究者番号：20361769

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、映像符号化において用いられる2大要素技術、予測符号化と直交変換処理とを統一的に「非直交変換」の関数として表現して非因果的に処理を行う符号化方式の最適化に挑戦した。非因果的符号化の設計可能性・理論的優位性を提示するとともに、現在用いられているHEVC方式以上の符号化性能の実現を目標とした。フレーム間動き補償予測符号化(Bピクチャ符号化処理)への非因果的符号化方式の拡張を実現し、その結果絵柄によっては、既存のHEVC方式より1.77dBから0.13dB程度PSNR値で優れた符号化方式が実現できることを示した。更に、多視点映像の視点間内挿に適した非直交変換符号化方式の検討を進めた。

研究成果の概要(英文)：In this research, we focus on optimization of the coding method which expresses the two major element technologies used in video coding, predictive coding and orthogonal transformation processing as a function of "non-orthogonal transformation" in a unified manner. I tried it. In addition to presenting the design possibility and theoretical advantage of non-causal coding, we aimed to realize the coding performance higher than the currently used HEVC method. By realizing extension of the non-causal coding method to inter-frame motion compensated predictive coding (B picture coding processing), depending on the picture, from 1.77 dB to 0.13 dB from the existing HEVC method with PSNR value. It is shown that an excellent encoding method can be realized. Furthermore, we investigated non-orthogonal transform coding method suitable for interpolation between viewpoints of multi-view video.

研究分野：通信・ネットワーク工学

キーワード：映像信号符号化 非直交変換符号化 非因果的符号化 ハイブリッド符号化 視点内挿

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 基本に立ち返って新規符号化方式の基本要素技術の研究を行い、次世代の映像通信・インタフェースサービスへの道を拓く技術を研究して知識を集積することは、意義深い営みであった。

(2) 当時においても、HEVC符号化方式の検討に際しては、いくつかの既存方式の枠内に収まらない方式の検討も進められていたが、残念ながら符号化技術研究領域全般に与えるインパクトはあまり大きなものとはならなかった。

(3) 故に研究開発当初における符号化方式改善の「メインストリーム」は、従来方式における諸パラメータの選択数を増やしオーバーヘッド(OH)情報が増加する負荷を甘受する方向に有った。つまり、各要素を適応的に選択する枠組みを増強して性能改善を図ろうとする方策であり、新規性と言う観点からは改良的性格が強く、また別の観点から言うと従来の全ての方式に共通する「既符号化画像の処理結果を元に次の画像の符号化を行う」という因果的符号化の考え方に依拠しており、逐次処理の「くびき」から逃れることは出来ない状況にあった。

(4) 映像符号化における主要な要素技術として現在当該研究分野で認識されているものには、予測符号化、直交変換符号化(OT)、ベクトル量子化(VQ)等がある。

(5) 本研究では、予測符号化とOTとを「非直交変換」の関数として統一的に表現することにより非因果的処理を行う符号化方式の実現と最適化に挑戦した。つまり単なる予測符号化と直交変換符号化との「掛け合わせ(ハイブリッド)」ではなく、両者の「優れた性質を併せ持った方式」を実現しうる非直交変換系の符号化方式としての非因果的符号化の設計可能性・理論的優位性を提示することを目標に掲げていた。

## 2. 研究の目的

(1) 国際標準HEVC方式は、現在最も高い符号化効率を実現できる符号化方式と認識されている。しかし近年、8K表示等超高精細映像への要望は更に高まり、符号化効率への改善要求は留まるところを知らない。またスマートフォン等において一部見られ始めているように、複数の情報コンテンツの同一表示装置上での整形多重表示への要望も高まっている。

これら新しいデマンドに対応した符号

化処理のために、新しい非直交変換系の処理を用いたアルゴリズム及びその要素技術の研究を行ない、既存標準符号化方式以上の高能率性を実現できる並列符号化を実現することを目的とした。

(2) 本研究においては、従来の枠組みを超えた、あるいは根本に立ち戻った改定を行ない得る「新規」の符号化要素技術に関連した知見の獲得・公表を行った。

具体的には、

[符号化効率の向上]: 並列符号化方式の試みにおいては、現在用いられているブロック単位の逐次直列処理を用いている標準符号化方式(H.264, HEVC等)に比べて、「符号化効率」という評価基準においてその性能が劣るものしか実現し得ていなかった。並列処理可能で、且つデブロッキングフィルタ処理等のオーバーラップした処理無しで完全並列化を行っても、従来方式を凌ぐ高い符号化性能が実現可能であることを明確にした。

[適用範囲の拡大]: 対象として、超低レート画像の符号化から超高解像度映像迄の広い応用領域、更には多視点の映像情報の蓄積・伝送までの広範囲の用途に資せる方式の開発を課題とした。

## 3. 研究の方法

(1) 本研究では映像信号の非直交変換符号化方式に関し、主にPC内によるシミュレーション実験を通じてその性能を明らかにする。従って研究目的達成のための主たる作業は、パラメータの最適化を図る解析的検討と、符号化アルゴリズムの効果を確認するシミュレーションプログラムの作成、及びそのためのPC実験装置の準備と同装置による実験の実施である。

(2) 研究計画・方法(平成26年度)

第1の課題として、今後非直交関数系の検討を進めてゆくためにもその位置づけを明確にする必要があったので、当時標準化が予定されていたHEVC符号化方式とこれら提案方式の特性上の性能比較評価を行った。特にHEVC標準で適用対象として想定されている高解像度画像に対し、提案方式を適用した場合の性能評価を先ず行った。

第2の課題として、フレーム間動き補償予測符号化(Bピクチャ符号化)への提案方式の拡張を検討した。その詳細は次年度以降の研究計画で述べるが、本節ではその前に、本課題を含めた全体に関する問題の所在を明らかにするために、研究全体を通して利用する誤差拡散率  $f_i$  という評価量について簡単

に説明する。

本研究では、予測関数及びそれと組み合わせる関数（多くの場合は直交関数）とを合成して行列  $\mathbf{C}$  で表す。従って、復号操作は逆行列  $\mathbf{C}^{-1}$  が得られれば実行できる。

実際の符号化処理においては、所要伝送ビットを削減するために量子化を行い、結果として予測誤差  $\mathbf{y}$  には量子化誤差  $\mathbf{q}$  が加わる。従って、単純に復号操作を行ったのでは符号化誤差が拡大してしまい、効率の良い符号化が行えない。そこで提案方式では帰還差分量子化と呼ぶ処理を行い符号化誤差の抑圧を行う。この結果生じる符号化誤差電力の拡大係数相当分を  $f_i$  と表記し誤差拡散率と呼ぶ。ちなみに、OT などの直交変換、DPCM 等の因果的予測を等価式により計算すると  $f_i = 1$  と成るが、今検討を行うとしている非直交関数系では一般に  $f_i > 1$  となる。

この性質を利用して、前述したフレーム間動き補償予測符号化(Bピクチャ符号化)のアルゴリズムを検討し、方式の完成度を高めることが26年度第2の課題であった。

#### (3) 研究計画・方法(平成27年度)

平成27年度における第1の課題[HEVC符号化方式と本提案方式の要素技術の特性上の比較と改良]関連の活動として、I, P, Bピクチャ(つまりフレーム内及びフレーム間の相関を利用した)トータルの符号化セットを完成させて、既存の標準方式との能率比較を行なった。

通番第2の課題[フレーム間動き補償予測符号化(Bピクチャ符号化)への提案方式の拡張]関連の活動として、提案方式の適用範囲を拡大し、カメラ間の相関を利用すべき諸問題、例えば多視点自由視点映像伝送に対しても、本方式の適用可能性及び有効性が存することを明らかにした。この検討を深めるため、後述する「新規の評価量」に関する解析を第3の課題として開始した。

#### (4) 研究計画・方法(平成28年度)

平成28年度の通番第2の課題[フレーム間動き補償予測符号化(Bピクチャ符号化)への提案方式の拡張]関連の活動として、最適帰還係数の導出式の最適化について理論的再検討を行い、再実験もおこなった。結果、従来より用いていた理論式が間違っていなかったことを再確認した。従って、当初予定していた各量子化毎に理論的に導出された係数を乗じて量子化処理を行う方式が、誤差拡散の均一化という意味でも最適であることが立証されたので、この

部分を外部発表の一部に含めた。

更に平成28年度における通番第3の課題[新規評価量]関連の活動として、これを用いた研究アプローチの可能性を検討した。

具体的には、以下に示す方法である。各種符号化方式の開発課題において、現状ではヒューリスティックに各種要素技術を組み合わせるまで良好な結果が生じるまでP-D-Cサイクルの実験を繰り返して改善を重ねている。この際、予測符号化においては、予測誤差電力が主たる評価量となり、適応制御もその最小化の実現の問題として検討されている。また、DCT等の直交変換においては各シーケンスの分散量の偏りを頼りに、量子化器のビット配分や、ゾーナルフィルタリング処理のためのパラメータが最適化される。

今回検討を行なおうとしている非直交関数系の符号化アルゴリズムの場合、これらの評価量に加え、誤差拡散率  $f_i$ 、或いは別のアプローチにより導出できる誤差集中度  $\pi_i$  を用いて、総符号化誤差量の制御や、各画素毎にのる符号化雑音量を予測関数  $\mathbf{C}$  の出力点の予測誤差ベクトル  $\mathbf{y}$  により精度良く求めることが出来るとの見通しが得られている。また、このP-D-Cサイクルの動作を迅速に進めるために、PSNRと所要伝送ビット数との関係を換算する評価量の導出も可能になった。

#### 4. 研究成果

本研究の成果は、以下の3項目の課題別に纏められる。

・第1の課題[HEVC符号化方式と本提案方式の要素技術の特性上の比較と改良]

標準化が予定されていたHEVC符号化方式と本提案方式の要素技術の特性上の比較と改良を行った。特に、HEVCに対し、Iピクチャフレーム内予測残差信号に対し非因果的内挿予測機能を追加する方式を検討し、多くの画像信号に対し符号化効率の向上を図れることが確認できた。

具体的には、因果的Bピクチャ内挿予測(HEVC)+非因果的内挿(SOP)方式の検討を進め、特にSOPを用いるか否かをブロック単位で決定するための決定式の最適化を行った。更に提案方式の実装を行い、各テストシーケンス毎に、BDレート、PSNR、エンタロピーを測定して提案方式の優位性を確認した。これらを纏めて学会誌に投稿し、掲載された。

・第2の課題[フレーム間動き補償予測符号

化(Bピクチャ符号化)への提案方式の拡張]

フレーム間動き補償予測符号化(Bピクチャ符号化)への適応方式の拡張を検討した。具体的には、非因果的内挿予測方式(IP)をBピクチャ符号化に適用した時の予測誤差電力レベルでの性能比較、帰還最適係数導出のための導出式の見直し、誤差拡散係数式の導出、このパラメータを用いた最適制御によりシーンチェンジ時の符号化画質の向上が図れる事を明らかにした。本項に関する知見の一部を纏めて、国際会議で発表した。

MC有の非因果的内挿予測の予測能力の特性の確認を行い、一部想定していたものと異なる結果が生じてしまったので原因の究明を進めた。更に、帰還差量子化後の復号後の誤差が想定していた値より大きく成っており、その原因を究明するための切り分け確認手順を設定して検査値を確定し基本実験データを収集した。実装上の問題点の解決とパラメータの最適化によりこの問題を解決した。

動き補償予測有のフレーム間非因果的内挿予測+フレーム内非因果的内挿予測を組み合わせたハイブリッド符号化方式の検討を進め、MC有りの非因果的内挿予測方式に対する、条件付き画素補充制御方式の検討を進めた。

方式パラメータの最適化を行い、提案方式の実装を行った。各テストシーケンス毎に、BDレート及びエントロピーVS. PSNRの測定を行い、既存のHEVC方式より同一伝送速度において、絵柄によって1.77dBから0.13dB程度優れた符号化効率を実現出来ることを示した。これらの結果を纏め、論文の投稿(掲載済)と国際会議での発表1件を行った。

・第3の課題[新規評価量]

多視点画像符号化方式のための予備検討項目として、焦点の異なるステレオ画像からの線形フィルタによる視点内挿法に就いて理論検討を行い、結果をまとめて学術雑誌に投稿し掲載済みと成った。

多視点映像の視点間内挿に適した非直交変換符号化方式の検討を進め、新たに導入した誤差集中度率 $p$ という評価量を制御因子として用い、視点補間された特定の画素に誤差が集中することを防止する「多視点映像用の最適量子化方式」の実現量子化係数パラメータを解析的に導出し、その実装を開始した。

最終的には実時間符号化時の制御論理としてこの考え方を利用して、(バッファ蓄積量に応じて符号化パラメータの制御をフィ

ードバック的に行っているのに加え、)フィードフォワード的な符号化制御ループの追加による性能向上の可能性が存することを示したかったが、そこまでは到達できなかった。

本項の課題に関しては有望な結果が得られ始めているが本研究助成は今年度で修了するため、引き続き検討を継続するため他の研究課題への統合を検討中である。

## 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 4 件)

Cui Wng, Yoshinori Hatori ;  
“ Non-Causal-Based Second Order Prediction for Motion Compensation Residue in HEVC ” IIEEJ

Transactions on Image Electronics and Visual Computing Vol.4 No.1(2016),Ppi-12 (2016年6月)

Cui Wang, Akira Kubota, Yoshinori Hatori ;“ A Novel Encoding Method for P-frames ” Sign. Process Syst(2015)81:1-10 (2015年10月)

久保田 彰、児玉 和也、羽鳥 好律 ;  
「焦点の異なるステレオ画像からの線形フィルタによる視点内挿法」信学論D J98- D , No.10, pp.1325-1334, No.10. 2015 (2015年10月)

野中 敬介、宮田 高道、羽鳥 好律 ;  
「ROI移動の大域最適化による任意形イメージリターゲティングの提案」信学論D J97- D , No.11, pp.1625-1640, Nov. 2014 (2014年11月)

[学会発表](計 7 件)

Cui Wng, , Yoshinori Hatori ;  
“ CODING EFFICIENCY

DISCUSSION FOR CAUSAL AND NONCAUSAL METHOD” 2017年3月 IEVC, 5A-1, Da Nang, Vietnam

羽鳥 好律 ; 「思い出の1枚: 有意と非有意の差」映像情報メディア学会誌 (2017年1月)

羽鳥 好律 ; 「PCSJ/IMPSの過去の振り返りと未来へのメッセージ: エキサイティングな未来の研究交流の場を創るために私たちにできること」 PCSJ/IMPS2015 (2015年11月19日)

修善寺

羽鳥 好律； 「サイバーワールドの10年 これまでと今後の展望」

FIT2015 第14回情報科学技術フォーラム (2015年9月15日) 愛媛

羽鳥 好律； 「「建築と画像電子」技術の領域融合を考える」2015年度画像電子学会第43回年次大会 (2015年6月29日) 姫路

羽鳥 好律； 「名誉会員からのメッセージ；学会は「真理は時の娘」を支え続ける」映像情報メディア学会誌、Vol.69, No.2, pp.101-105 (2015年2月)

Cui Wng, Yoshinori Hatori； “ THE STUDY OF INTERPOLATIVE PREDICTION HYBRID CODING METHOD IN B-PICTURE -NON-ORTHOGONAL CODING USING THE SPACE-TIME CORRELATION- ” 2014年10月 IEVC,4C-3,Koh Samui, Thailand

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等 :無し

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

羽鳥 好律 ( Hatori Yoshinori )

神奈川工科大学・情報学部・客員教授(平成26~28年度)

東京工業大学・イノベーション人材養成機構・特命教授(平成26~28年度)

研究者番号:20361769

### (2)研究分担者 :無し

### (3)連携研究者 :無し

以上